



64  
2ej.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS IZTACALA**

**ECOLOGIA DE LA FAUNA MACROBENTONICA  
DE UN LAGO SALINO ESTACIONALMENTE  
ASTATICO, TECUITLAPA SUR, PUEBLA, MEXICO.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TITULO DE**

**B I O L O G O**

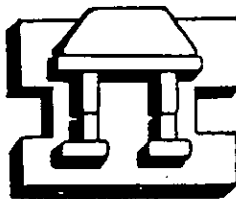
**P R E S E N T A :**

**LUCILA MARITZA LOZANO TRENADO**

**ASESOR: DR. JAVIER ALCOGER DURAND**

**TLALNEPANTLA, ESTADO DE MEXICO**

**1998**



**IZTACALA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

268069



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

### **A mis padres:**

Andrés Lozano Flores e Irene Trenado Cid del Prado por su incondicional apoyo, comprensión, confianza, dedicación, preocupación, pero sobre todo por su gran amor.

Los quiero mucho

### **A mi hermana:**

Nubia Lozano Trenado por brindarme esos momentos de alegría y compañía durante los momentos más difíciles de mi vida. T.Q.M.

Gracias "Flaca"

### **A mi hermano:**

Andrés Lozano Trenado por ser tan lindo y tierno cuando más lo he necesitado, a pesar de que a veces es un pequeño insoportable. T.Q.M.

Gracias "Flaco"

### **A mis abuelos paternos:**

Domitilo Lozano Benítez y Daria Flores Juárez, que a pesar de no estar con nosotros, son parte importante en el pilar de mi familia.

### **A mis abuelos maternos:**

Juan Trenado Noyola y Paula Cid del Prado Zuñiga por todo su amor y comprensión.

**Y en especial, a Claudia Lozano Espinosa una persona que extraño mucho, ya que es y será toda la vida mi hermana, amiga y compañera. Además por esos gratos momentos de alegrías, tristezas, pero sobre todo esos días inolvidables de aventuras.**

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Javier Alcocer Durand por su buena dirección en la realización de este trabajo, pero en especial por su amistad, confianza y por su apoyo incondicional.

A la Dra. Elva Escobar Briones, al M.C. Alfonso Lugo Vázquez, al M.C. Jorge Padilla Ramírez y al Biol. Mario Chávez Arteaga, por su apoyo, revisión y sugerencias para la realización de esta investigación.

Al Dr. D. W. Webb (Illinois Natural History Survey) y al Dr. A Contreras (Instituto de Biología de la UNAM) por la ratificación de las especies *Culicoides occidentalis* y *Tanypus (Apelopia)*, respectivamente.

Al proyecto CyMA, pero en especial a los integrantes del Laboratorio de Limnología, por su apoyo. Además, agradezco de manera muy especial a Laura Peralta y Ma. del Rosario Sánchez, por su gran ayuda en la realización de este trabajo.

A mis tíos (as): Rebeca, Margarita, Victoria, Guadalupe, Karina, Crisanta, Martha C., Juan, José, Laurencio, Antonio, Domitilo, Javier, Elena, Gilberto, Martha E.; por darme ánimos en las situaciones más difíciles de mi vida, por confiar en mi y por darme un poquito de su cariño y amor. Pero en especial a mi tío Efren Lozano, ya que es una persona muy especial para mi y a quien quiero mucho.

A mis primos: Armando, Alfredo, Erika y Paola por esos momentos tan maravillosos de mi infancia.

Alejandra y Javier por los días inolvidables de mi adolescencia, por esos reventones tan especiales .

Dora, Alicia y Edmundo por esos ratos tan agradables que hemos pasado.

Nadia, Javier, Katia, Ruben, Laura, Gabriela, Luis, Alejandro, por esos momentos de alegría.

A mis sobrinos: Abraham y Roman, por esos momentos de alegría, felicidad, pero sobre todos esos ratos de preocupación que me han hecho pasar.

A mis amigos: Mayra Hernández, Diana Juárez, Yolotzin Contreras, Luis Oseguera, Alejandro Rodríguez y Rodolfo Torrano, por esas prácticas de campo inolvidables. Espero que sigamos juntos y unidos como hasta ahora.

Al Dr. Jorge Fulgencio Lozano por ese gran impulso que siempre me ha dado, además de su apoyo incondicional para toda mi familia.

A la Dra. Guadalupe Mireles, por su amistad y apoyo.

A mi gran amigo Mario Espinoza, por apoyarme y escucharme incondicionalmente cuando más lo he necesitado.

A mis amigos: Oscar, Sergio y Marcos, por esos momentos tan lindos que hemos pasado juntos.

A mi amiga Griselda, por su amistad y sinceridad.

A mi amiga Ma. de los Angeles, por su amistad y esas pequeñas aventuras.

A Pilar y Héctor, por su amistad y por esos días inolvidables en el acuario.

A Carlos Castro, por ser un amigo latoso y a quien estimo mucho.

A José V.C., por su amistad, sinceridad, pero sobre todo por su cariño.

A Noe Alejandro Inchaustegui Aldana, porque es un amigo muy especial.

## CONTENIDO

Índice General	i
Índice de Figuras	ii
Índice de Tablas	iii
Resumen	iv
Introducción	1
Objetivo	5
Zona de estudio	5
Antecedentes	7
Metodología	8
Resultados y Discusión	9
Caracterización Ambiental	9
Salinidad y Conductividad	9
Potencial de Hidrogeniones (pH)	10
Temperatura	11
Oxígeno Disuelto	12
Potencial de Óxido-reducción (Eh)	13
Textura y Contenido de Materia Orgánica Sedimentaria	13
Clasificación y Ordenamiento Ambiental	15
Caracterización Biológica	17
Composición Faunística	17
Riqueza específica	18
Abundancia	22
Biomasa	25
Relación Abundancia-Biomasa	27
Factores estresantes	27
Conclusiones	30
Referencias	32
Anexo 1	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación geográfica de los lagos Tecuitlapa, Tecuitlapa Sur y Tecuitlapa Norte, Puebla	6
Fig. 2. Variación temporal de la salinidad en Tecuitlapa Sur, Puebla	10
Fig. 3. Variación temporal del pH en Tecuitlapa Sur, Puebla	10
Fig. 4. Variación temporal de la temperatura en Tecuitlapa Sur, Puebla	11
Fig. 5. Variación temporal del oxígeno disuelto en Tecuitlapa Sur, Puebla	12
Fig. 6. Variación temporal del potencial redox en Tecuitlapa Sur, Puebla	13
Fig. 7. Ubicación del sedimento de Tecuitlapa Sur en el triángulo de texturas	13
Fig. 8. Dendrograma de disimilaridad ambiental de Tecuitlapa Sur, Puebla	15
Fig. 9. Análisis de Componentes Principales Ambientales de Tecuitlapa Sur, Puebla	16
Fig. 10. Relación de la riqueza específica con la salinidad en diferentes cuerpos acuáticos del mundo	18
Fig. 11. Relación de la riqueza específica con la profundidad en diferentes cuerpos acuáticos someros del mundo	21
Fig. 12. Variación de la densidad de las macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur, Puebla	23
Fig. 13. Variación de la biomasa total de los macroinvertebrados bentónicos, de Tecuitlapa Sur, Puebla	25
Fig. 14. Comparación de la biomasa y la densidad de <i>Culicoides occidentalis</i> y <i>Tanypus (Apelopia)</i> de Tecuitlapa Sur, Puebla	26
Fig. 15. Factores de estrés que interactúan sobre la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur, Puebla	28

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado taxonómico de los macroinvertebrados bentónicos registrados en el lago Tecuitlapa Sur, Puebla	17
Tabla 2. Comparación de la riqueza específica de Tecuitlapa Sur, con otros cuerpos acuáticos salinos del mundo	20
Tabla 3. Comparación de la riqueza específica de Tecuitlapa Sur, con otros cuerpos acuáticos someros del mundo	22
Tabla 4. Densidad primer renglón ( $\text{org}/\text{m}^2$ ) y biomasa segundo renglón ( $\text{gC}/\text{m}^2$ ) de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur, Puebla. (D.E. = desviación estándar)	27



## RESUMEN

Se estudió la variación temporal de los macroinvertebrados bentónicos en Tecuitlapa Sur, un lago salino, alcalino-sódico de naturaleza astática temporal. Se realizaron muestreos durante un ciclo anual (diciembre/93-diciembre/94). Para cada muestreo se obtuvo una muestra compuesta, integrada por 20 núcleos ( $\varnothing = 6$  cm), con una cobertura total de  $0.057 \text{ m}^2$  y un volumen de  $0.0057 \text{ m}^3$ . A la vez, se determinaron las características ambientales más importantes para el bentos. Ambientalmente Tecuitlapa Sur es un lago somero (aproximadamente 0.5 m, en el nivel de máximo llenado) y de dimensiones reducidas, salino ( $9.40 \pm 16.04 \text{ g/L}$ ), con un pH fuertemente básico ( $9.85 \pm 0.11$ ), templado ( $25.43 \pm 1.14 \text{ }^\circ\text{C}$ ), con agua poco oxigenadas ( $3.22 \pm 0.43 \text{ mg/l}$ ), un potencial redox indicativo de dominancia de los procesos oxidativos ( $428.5 \pm 38.06 \text{ mV}$ ) y con un sedimento de tipo migajón arenoso con un elevado contenido de materia orgánica (7.95%). La riqueza específica fue reducida ya que sólo se presentaron dos especies de dípteros: *Culicoides occidentalis* (Ceratopogonidae) y *Tanypus (Apelopia)* (Tanipodinae). La riqueza específica se vio disminuida principalmente por la salinidad y el pH elevados. *Culicoides occidentalis* fue la especie dominante numéricamente y en biomasa, probablemente por su alta resistencia a las condiciones alcalino-sódicas. Los valores de densidad promedio para *Culicoides occidentalis* son  $1,141,082 \pm 2,765,878 \text{ org/m}^2$  y para *Tanypus (Apelopia)* de  $6,782 \pm 8,309 \text{ org/m}^2$ . En cuanto a la biomasa se refiere *Culicoides occidentalis* presentó  $1.22 \pm 298 \text{ gC/m}^2$  y *Tanypus (Apelopia)*  $0.06 \pm 0.15 \text{ gC/m}^2$ , considerándose elevados. Las variables ambientales, en especial la salinidad, el pH y el oxígeno disuelto -pero no su fluctuación-, definieron las especies presentes en el lago. La variación temporal de la densidad de los macroinvertebrados bentónicos presentó una relación directa con los parámetros ambientales (temperatura y nivel del agua), así como con su ciclo biológico (periodo de emergencia).

## INTRODUCCIÓN

En todos los cuerpos acuáticos se presenta una zonación biótica. La importancia y extensión de cada zona depende de la morfometría propia del lago. En un lago profundo se distinguen tres zonas o regiones: la litoral, el talud y la profunda (Olivier 1971), mientras que en los lagos someros todo el cuerpo acuático puede ser considerado como zona litoral. La zona litoral corresponde al área más somera del lago que usualmente está habitada por plantas acuáticas enraizadas emergentes y sumergidas (Ruttner 1975, Wetzel 1983). Desde el punto de vista biológico, la zona litoral de los lagos tiene un papel relevante pues la presencia de las macrofitas contribuye a la productividad general del cuerpo de agua (Margalef 1983). Además, la vegetación funciona como un trampa para los compuestos orgánicos disueltos y los nutrimentos inorgánicos (Wetzel y Hough 1973). Wetzel (1983) argumenta que en los lagos de extensión pequeña, la zona litoral se torna particularmente importante.

En este tipo de hábitats se crean las condiciones adecuadas para que se desarrolle una abundante y diversa comunidad de organismos en la cual están incluídas bacterias, protozoos, algas, invertebrados y vertebrados (Wetzel 1983). Entre estos, los macroinvertebrados bentónicos son componentes habituales de las comunidades lacustres litorales; están representados por los organismos que viven fijos en el sedimento o que permanecen enterrados en él (Odum 1984). Los macroinvertebrados bentónicos son, sin lugar a duda, una de las comunidades más abundantes de los lagos. Por convención, el macrobentos está integrado por organismos mayores de 0.595 mm, constituídos principalmente por insectos, gusanos, moluscos y crustáceos, entre otros (Weber 1973).

Los organismos bentónicos llevan a cabo una función importante en la ecología lacustre ya que están involucrados en la mineralización y el reciclaje de la materia orgánica, además de ser componentes importantes en las cadenas tróficas de las comunidades acuáticas (Lind 1979).

La composición, distribución y abundancia de los organismos bentónicos se encuentra regulada por diversos factores físicos, químicos y biológicos, los cuales pueden estar actuando en forma individual o en conjunto, para producir diferentes patrones de repuesta (Tessmer y Weffing 1981 citado en Tamayo 1993). Dentro de estos factores se encuentran la temperatura, la transparencia, el oxígeno disuelto y la velocidad de la corriente (Reid y Wood 1976, Weber 1973), así como la precipitación pluvial, el periodo de permanencia del

agua, el pH, la profundidad, el contenido de materia orgánica y el tipo de sedimento (Tessmer y Weffin 1981 citado en Tamayo 1993). Además de los anteriores, también intervienen factores biológicos como el alimento disponible y la competencia (Reid y Wood 1976, Weber 1973, Williams, D.D. 1996).

Los organismos del bentos han desarrollado mecanismos adaptativos por medio de los cuales tienen la capacidad de reaccionar y acoplarse a los cambios de la "calidad del agua" en la que habitan, hasta el reestablecimiento de condiciones fisiológicamente más favorables (Hynes 1974, Weber 1973, Wiederholm 1980). Lo anterior se debe, en gran medida, a que la mayoría de los organismos bentónicos presentan un ciclo de vida relativamente largo, lo que les permite adoptar mecanismos por los cuales reaccionan ante los cambios, entrando en estado de reposo hasta el reestablecimiento de las condiciones más favorables para la especie (Wetzel 1983).

De los parámetros ambientales mencionados anteriormente, definitivamente la presencia del agua (Williams, D.D. 1987) y la salinidad (Williams, W.D. 1972, Williams, W.D. *et al.* 1990) se pueden considerar entre los más importantes.

Hartland-Rowe (1972 citado en Cole 1979) acuñó el término "*astático*" para denominar a los lagos con niveles de superficie acuática fluctuantes y definió dos categorías: 1) aguas estacionalmente astáticas, las cuales se encuentran secas durante un período del año y 2) aguas perennemente astáticas, cuyos niveles ascienden y descienden, pero no llegan a secarse.

Los cuerpos acuáticos estacionalmente astáticos o temporales se pueden llenar con las lluvias de verano, con la precipitación de invierno y, en algunos lagos, durante ambas estaciones; los márgenes de las aguas perennemente astáticas son expuestos e inundados periódicamente durante el año.

Williams, D.D. (1987, 1996) definió a las aguas temporales como cuerpos de agua que presentan una fase seca de variación periódica la cual es constante en tiempo y duración. Wiggins *et al.* (1980 citado en Hamer y Appleton 1991) las define como la acumulación de agua superficial en una cuenca aislada en donde el agua se encuentra ausente en una época del año. Adicionalmente, Comín y Williams (1994) proponen una subdivisión de las aguas temporales: a) intermitente, que cíclicamente contienen agua o se secan en una época del año y b) episódicas, que contienen agua de forma impredecible.

Williams, D.D. (1987) clasifica a los hábitats acuáticos temporales en tres categorías con base en su tamaño: a) microhábitats (axilas de las plantas; por ejemplo, en las bromeliáceas), b) mesohábitats (arroyos y charcas temporales) y c) macrohábitats (lagos y ríos que periódicamente se inundan, lagos someros, lagos alpinos).

La mayoría de las aguas temporales pueden ser encontradas en regiones áridas y semiáridas, donde la pérdida evaporativa excede la entrada de agua por precipitación (Hammer *et al.* 1975). Consecuentemente, los ambientes temporales pueden albergar agua atalashalina (con salinidad  $\geq 3$  g/L), la cual sirve de refugio a especies particularmente resistentes (p.e. artemias, efídridos, coríxidos, etc.). Los lagos pequeños en extensión, de poca profundidad, más o menos efímeros, suelen ser salinos en las áreas endorréicas (Margalef 1983).

Sin embargo, para que se forme un lago salino deben cumplirse ciertas características climáticas y geológicas que permitan la acumulación de sales, tales como una precipitación menor que la evaporación (balance hídrico negativo), una cuenca que permita la acumulación de agua -endorréica- y, por último, la presencia de sales solubles (Hammer 1986).

Frecuentemente, los lagos salinos presentan dos tipos de agua: cloruro-sódicas y alcalino-sódicas. En ambas, el catión dominante es el sodio ( $\text{Na}^+$ ), cambiando el anión principal, cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) en el primer caso, y carbonatos y/o bicarbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  respectivamente) en el segundo (Ewald *et al.* 1994). Los lagos con agua tipo alcalino-sódico, muy comunes en México (Alcocer y Williams 1983), se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más estresantes por su elevada salinidad y pH fuertemente básico (Cole 1979).

Con relación a la biota de los lagos salinos, Colburn (1988) y Herbst (1988) hipotetizan que en la exposición a la salinidad intervienen dos mecanismos diferentes: el límite inferior de tolerancia a la salinidad es controlado biológicamente (depredación, competencia, etc.), mientras que el límite superior está regulado por factores fisiológicos. Sin embargo, cuando la especie ha resuelto el problema fisiológico inicial de la osmoregulación, es capaz de vivir en un intervalo amplio de salinidades. Dentro de este intervalo, la depredación, la disponibilidad de alimento, la competencia y otras interacciones biológicas y, probablemente otros factores físicos y químicos, incluyendo la salinidad, parecen regular la persistencia o la tasa de extinción y, por lo tanto, la diversidad biológica de ese ecosistema (Williams, W.D. *et al.* 1990).

La salinidad es uno de los factores que tienen mayor relevancia, en especial en los lagos astáticos los cuales muestran una gran variación entre la época de dilución o llenado y la concentración o secado. El número de especies en un lago tiende a disminuir mientras el contenido total de sales aumenta (Hammer 1986, Colburn 1988, Alcocer *et al.* 1993a). La salinidad es un factor muy importante en la determinación de la composición de una comunidad (Colburn 1988), por lo que muchos organismos bentónicos poseen mecanismos osmóticos adaptativos, pudiendo llegar a ser abundantes. Williams, W.D. (1985) menciona dos mecanismos por los cuales los organismos compensan el problema de la salinidad: la osmoregulación y la osmoconformidad. Sin embargo, no sólo la salinidad es importante, sino también la composición iónica predominante (Alcocer y Escobar 1993) y la temperatura (Colburn 1988). Las concentraciones iónicas tienden a elevarse significativamente en las aguas temporales afectando el pH en algunos casos. Williams, D.D. (1987) menciona que la biota de las aguas salinas temporales tiene relación con los cambios en las proporciones iónicas. Con la evaporación del agua los iones están más concentrados y quizás éste sea el factor de estrés que actúa sobre la biota.

En las aguas temporales y como una respuesta a lo breve del periodo de inundación, la fauna bentónica a menudo incluye especies que se desarrollan más rápidamente que en las aguas permanentes (Cole 1979). La fauna de las aguas salinas temporales está representada por diversos taxa como Ephemeroptera, Hemiptera, Coleoptera, Trichoptera y Diptera; dentro de este último orden se encuentran las familias Tipulidae, Culicidae, Ceratopogonidae y Chironomidae como la fauna dominante de las aguas temporales (Williams, W.D. 1985, Williams, D.D. 1996).

La biota de estas aguas transitorias está adaptada a los factores del ambiente, de los cuales los que están regidos por la fase seca son los de mayor atención. Los mecanismos de sobrevivencia para esta fase incluyen la formación de quistes de resistencia o huevos y, en el estado adulto, el ser organismos voladores o excavadores. Por ejemplo, de acuerdo con varios autores citados en Williams, D.D. (1996), los ceratopogónidos alargan su sobrevivencia a la sequía con la formación de huevos y los quirónomidos pueden estar en diapausa como larva o huevo.

Belk y Cole (1980 citado en Hamer y Appleton 1991) mencionan que la temporalidad en los lagos es considerada como un estresante y que los organismos que se encuentran en este tipo de sistemas se han adaptado a los factores físicos y químicos extremos (Hartland-

Rowe 1972 citado en Cole 1979, Williams, W.D. 1985 ) como lo demuestra el hecho de que estas especies exhiben un alto poder de dispersión, rápido crecimiento y un ciclo de vida corto (Williams, D.D. 1996).

Los cuerpos acuáticos astáticos, alcalino-sódicos son hábitats que presentan estresores múltiples para la biota que los habita. Es por ello que se esperaría que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentará una baja riqueza específica (constituida básicamente por insectos) con una elevada densidad.

## **OBJETIVO**

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue reconocer los efectos de estresores múltiples sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un cuerpo acuático atalosalino (sódico-alcalino) de naturaleza astática temporal: Tecuitlapa Sur, Puebla, México. Para cubrir este objetivo se plantearon las siguientes metas:

1. Determinar la composición y abundancia de la comunidad macrobentónica, así como su variación temporal.
2. Determinar las principales características ambientales para el bentos y su fluctuación temporal.
3. Establecer las posibles relaciones entre la composición y abundancia de los organismos y su variación temporal con las características medioambientales

## **ZONA DE ESTUDIO**

El lago donde se realizó el estudio, Tecuitlapa Sur, está ubicado en la subcuenca hidrográfica Oriental que comprende parte de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz, localizada entre los 19°08' y 19°30' de latitud Norte y 97°20' y 97°51' de longitud Oeste (Alvarez 1950) (Fig. 1 A). Es una cuenca endorréica de 4,982 km<sup>2</sup> de área (Alcocer *et al.* 1998), con una altitud promedio de 2300 m.s.n.m. (Gasca 1981). En ella se ubica la planicie conocida como la región de los Llanos, al este de Puebla. En ésta última se encuentran seis

Rowe 1972 citado en Cole 1979, Williams, W.D. 1985 ) como lo demuestra el hecho de que estas especies exhiben un alto poder de dispersión, rápido crecimiento y un ciclo de vida corto (Williams, D.D. 1996).

Los cuerpos acuáticos astáticos, alcalino-sódicos son hábitats que presentan estresores múltiples para la biota que los habita. Es por ello que se esperaría que la comunidad de macroinvertebrados bentónicos presentará una baja riqueza específica (constituída básicamente por insectos) con una elevada densidad.

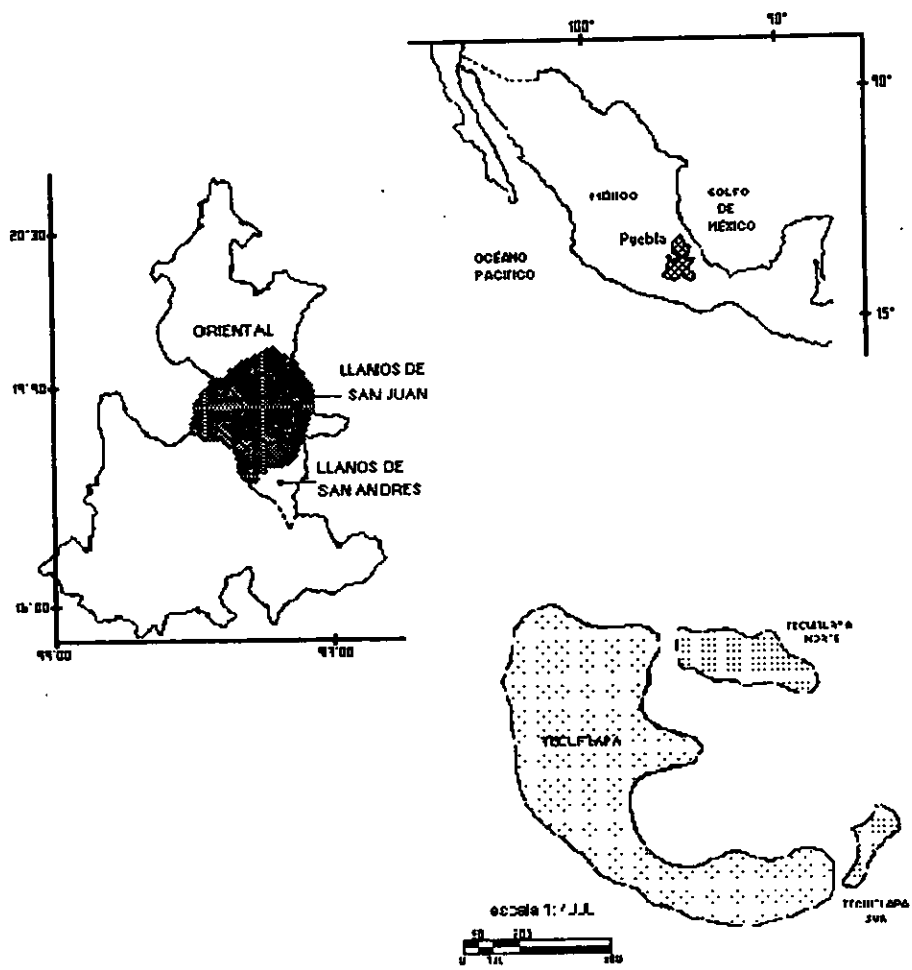
## **OBJETIVO**

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue reconocer los efectos de estresores múltiples sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en un cuerpo acuático atalosalino (sódico-alcalino) de naturaleza astática temporal: Tecuitlapa Sur, Puebla, México. Para cubrir este objetivo se plantearon las siguientes metas:

1. Determinar la composición y abundancia de la comunidad macrobentónica, así como su variación temporal.
2. Determinar las principales características ambientales para el bentos y su fluctuación temporal.
3. Establecer las posibles relaciones entre la composición y abundancia de los organismos y su variación temporal con las características medioambientales

## **ZONA DE ESTUDIO**

El lago donde se realizó el estudio, Tecuitlapa Sur, está ubicado en la subcuenca hidrográfica Oriental que comprende parte de los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz, localizada entre los 19°08' y 19°30' de latitud Norte y 97°20' y 97°51' de longitud Oeste (Alvarez 1950) (Fig. 1 A). Es una cuenca endorréica de 4,982 km<sup>2</sup> de área (Alcocer *et al.* 1998), con una altitud promedio de 2300 m.s.n.m. (Gasca 1981). En ella se ubica la planicie conocida como la región de los Llanos, al este de Puebla. En ésta última se encuentran seis



**Fig. 1. Ubicación geográfica de los lagos Tecuitlapa, Tecuitlapa Sur y Tecuitlapa Norte.**



lagos-cráter o maars ( Fig. 1 B), localmente denominados "axalapazcos"(Reyes 1979). Los axalapazcos 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, mientras que Aljojuca y Tecuitlapa se encuentran en los Llanos de San Andrés (Ramírez-García y Novelo 1984).

En el interior del cráter de Tecuitlapa se encuentran tres cuerpos acuáticos: el principal es el lago-cráter Tecuitlapa, y dos más al este, Tecuitlapa Sur, al sureste y Tecuitlapa Norte al noreste (Fig. 1 C) (Arredondo-Figueroa *et al.*, 1983). Originalmente estos cuerpos acuáticos formaban parte de Tecuitlapa pero, debido a la disminución del nivel del agua, se aislaron quedando como pequeños remanentes que actualmente se encuentran en un estado de desecación, por lo que su contenido de sales ha aumentado, volviéndose lagos salinos.

El clima de los Llanos de San Andrés, donde se localiza Tecuitlapa Sur, es templado subhúmedo, con lluvias en verano -C(W1)-big- con una temperatura promedio de 13.4°C (INEGI 1984a). La época de lluvias abarca de mayo a octubre y la de secas de noviembre a abril (García 1988). La precipitación anual promedio es de 825.5 mm (INEGI 1984a). El tipo de suelo está constituido de rocas (gneas, basalto y brecha volcánica básica (INEGI 1984b).

Tecuitlapa Sur es un lago astático temporal somero (una profundidad menor de 0.5 m), con dimensiones reducidas (aproximadamente 100 m de largo por unos 20 m de ancho, en el nivel de máximo llenado). Presenta una pendiente poco pronunciada, lo que indica su estado de desecación. Es un lago salino del tipo alcalino-sódico y carece de vegetación macrofítica.

## ANTECEDENTES

No existen estudios previos de ningún estilo en lo referente a Tecuitlapa Sur. Asimismo, los estudios de los lagos someros alcalino-sódicos de naturaleza astática, son escasos. Entre éstos se pueden mencionar los de Alcocer *et al.* (1997) para Totolcingo (El Carmen), Puebla-Tlaxcala, el de Oseguera (1997) sobre Tecuitlapa Norte, Puebla y los de Williams, W.D. (1981) y Williams W.D. *et al.* (1990) para los lagos de Western Victoria, Australia.

lagos-cráter o maars ( Fig. 1 B), localmente denominados "axalapazcos"(Reyes 1979). Los axalapazcos 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, mientras que Aljojuca y Tecuitlapa se encuentran en los Llanos de San Andrés (Ramírez-García y Novelo 1984).

En el interior del cráter de Tecuitlapa se encuentran tres cuerpos acuáticos: el principal es el lago-cráter Tecuitlapa, y dos más al este, Tecuitlapa Sur, al sureste y Tecuitlapa Norte al noreste (Fig. 1 C) (Arredondo-Figueroa *et al.*, 1983). Originalmente estos cuerpos acuáticos formaban parte de Tecuitlapa pero, debido a la disminución del nivel del agua, se aislaron quedando como pequeños remanentes que actualmente se encuentran en un estado de desecación, por lo que su contenido de sales ha aumentado, volviéndose lagos salinos.

El clima de los Llanos de San Andrés, donde se localiza Tecuitlapa Sur, es templado subhúmedo, con lluvias en verano -C(W1)-big- con una temperatura promedio de 13.4°C (INEGI 1984a). La época de lluvias abarca de mayo a octubre y la de secas de noviembre a abril (García 1988). La precipitación anual promedio es de 825.5 mm (INEGI 1984a). El tipo de suelo está constituido de rocas (gneas, basalto y brecha volcánica básica (INEGI 1984b).

Tecuitlapa Sur es un lago astático temporal somero (una profundidad menor de 0.5 m), con dimensiones reducidas (aproximadamente 100 m de largo por unos 20 m de ancho, en el nivel de máximo llenado). Presenta una pendiente poco pronunciada, lo que indica su estado de desecación. Es un lago salino del tipo alcalino-sódico y carece de vegetación macrofítica.

## **ANTECEDENTES**

No existen estudios previos de ningún estilo en lo referente a Tecuitlapa Sur. Asimismo, los estudios de los lagos someros alcalino-sódicos de naturaleza astática, son escasos. Entre éstos se pueden mencionar los de Alcocer *et al.* (1997) para Totolcingo (El Carmen), Puebla-Tlaxcala, el de Oseguera (1997) sobre Tecuitlapa Norte, Puebla y los de Williams, W.D. (1981) y Williams W.D. *et al.* (1990) para los lagos de Western Victoria, Australia.

## METODOLOGIA

El muestreo se realizó mensualmente durante un ciclo anual (diciembre/93 a diciembre/94). Se obtuvo una muestra compuesta integrada por veinte réplicas localizadas al azar en el cuerpo acuático. Para la obtención de las muestras biológicas se empleó un nucleador manual de 6 cm de diámetro y 10 cm de altura, con una cobertura total de muestreo de  $0.057 \text{ m}^2$  y un volumen de  $0.0057 \text{ m}^3$  en promedio. Las muestras fueron fijadas con formol al 10% adicionado con rosa de Bengala para facilitar la separación de los organismos (APHA *et al.* 1985). El sedimento obtenido se tamizó a través de una malla de 0.25 mm para garantizar la retención aún de los estadios juveniles de los organismos macrobentónicos. Los organismos fueron separados a nivel de grupo. Estos se transfirieron a frascos viales y se mantuvieron en alcohol glicerinado al 70 %.

En primera instancia, los organismos se determinaron con base en los criterios de Edmondson (1959) y Pennak (1953). Posteriormente se emplearon claves específicas para cada taxón (Epler 1992, Mason 1973). La ratificación específica se realizó con la ayuda de taxónomos expertos, el Dr. A. Contreras (Chironomidae) del Instituto de Biología de la UNAM y el Dr. D.W. Webb (Ceratopogonidae) del Illinois Natural History Survey.

La abundancia y la biomasa se determinaron por taxón. Se determinó la biomasa (peso húmedo en gramos) de la macrofauna bentónica y se expresó en  $\text{gC/m}^2$ , calculado de acuerdo al criterio de Margalef (1983) y Weber (1973), consideran que el 10% del peso húmedo es carbono orgánico.

Se midieron *in situ* los siguientes parámetros ambientales: pH, oxígeno disuelto, porciento de saturación de oxígeno disuelto, conductividad estandarizada a  $25^\circ\text{C}$  ( $K_{25}$ ), salinidad como sólidos disueltos totales (STD), temperatura y potencial redox (Eh) con ayuda de un equipo multisensor de calidad de agua Hydrolab Datasonde 3 / Surveyor3, previamente calibrado los valores se expresan como promedios  $\pm$  una desviación estandar.

Se tomaron muestras de sedimento para su análisis textural de acuerdo a Bouyoucos (1962 citado en Millar *et al.* 1980), contenido de materia orgánica acorde con Walkley y Black (1947 citado en Jackson 1976) y los carbonatos sedimentarios a Magstad (1945).

Con la información ambiental obtenida se caracterizó al cuerpo acuático, así como su fluctuación temporal a través de gráficos bivariados tiempo-variable. Los datos físicos y químicos (excepto el pH y Eh) se transformaron logarítmicamente  $-\log(n + 1)$  para que los valores elevados no sezgaran los análisis multivariados que se efectuaron. A los datos de pH

se les restó un valor predeterminado (9 unidades), para mantener los valores dentro de una escala de comparación aceptable. La matriz ambiental fue clasificada por medio de un análisis de cúmulos (AC), para agrupar los muestreos con base en características ambientales similares (Gauch 1982). Esta clasificación se realizó empleando el paquete estadístico CSS: STATISTICA Versión 3.0 (1991). Asimismo, la matriz de datos se ordenó (1-r de Pearson, unión simple) con base en un análisis de componentes principales (ACP), con el fin de determinar los parámetros ambientales que más influencia tienen sobre el ordenamiento. El ACP se realizó utilizando el paquete estadístico STATGRAPHICS Versión 5.0 (1991).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

Una de las características más importantes de Tecuitlapa Sur es su naturaleza estática temporal, lo cual significa que, además de presentar amplias fluctuaciones de área y volumen, tiene un período durante el cual permanece seco (diciembre a mayo). Es importante señalar que es un lago temporal de llenado regular (junio a noviembre) lo cual ha sido constatado a lo largo de un período de nueve años (Alcocer *com. pers.*). Con base en lo anterior, se pueden reconocer dos fases para Tecuitlapa Sur. Durante seis meses (diciembre-mayo) permanece seco correspondiendo a la temporada fría seca del año, mientras que en los seis meses restantes (junio-noviembre) presenta agua, correspondiendo a la temporada cálida de lluvias. Dentro de la época de llenado, se reconocen, a su vez, dos fases: a) dilución (junio a agosto) y b) concentración (septiembre a noviembre).

#### Salinidad (STD) y Conductividad ( $K_{25}$ )

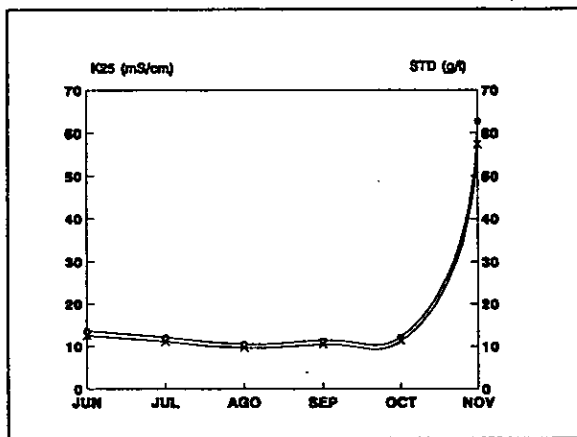


Fig. 2 Variación temporal de la salinidad ( $x = STD$ ,  $\blacksquare = K_{25}$ ) en Tecuitlapa Sur, Puebla.

La salinidad es un factor que permite diferenciar las dos fases de Tecuitlapa Sur. La salinidad (Fig. 2) al inicio de la fase de llenado (junio) es ligeramente más elevada (12.4 g/L, 13,625 mS/cm) que al final (9.6 g/L, 10,496 mS/cm) de la misma (agosto). Esto se debe a que en junio, cuando se presentan las fases iniciales de llenado se disuelven las sales depositadas en el sedimento durante la fase previa de sequía. Adicionalmente, el volumen del agua que alberga el lago en este mes

es reducido permitiendo que las sales se encuentren más concentradas. Conforme prosigue el período de lluvias, la salinidad va disminuyendo suavemente (fase de dilución) por un incremento en el volumen del lago hasta su valor mínimo (9.6 g/L, 10,496 mS/cm) en el mes de agosto, donde el lago alcanza su máximo nivel. A partir de agosto la salinidad se incrementa lentamente al disminuir las lluvias e iniciarse el período de desecación

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

Una de las características más importante de Tecuitlapa Sur es su naturaleza astática temporal, lo cual significa que, además de presentar amplias fluctuaciones de área y volumen, tiene un período durante el cual permanece seco (diciembre a mayo). Es importante señalar que es un lago temporal de llenado regular (junio a noviembre) lo cual ha sido constatado a lo largo de un período de nueve años (Alcocer *com. pers.*). Con base en lo anterior, se pueden reconocer dos fases para Tecuitlapa Sur. Durante seis meses (diciembre-mayo) permanece seco correspondiendo a la temporada fría seca del año, mientras que en los seis meses restantes (junio-noviembre) presenta agua, correspondiendo a la temporada cálida de lluvias. Dentro de la época de llenado, se reconocen, a su vez, dos fases: a) dilución (junio a agosto) y b) concentración (septiembre a noviembre).

#### Salinidad (STD) y Conductividad ( $K_{25}$ )

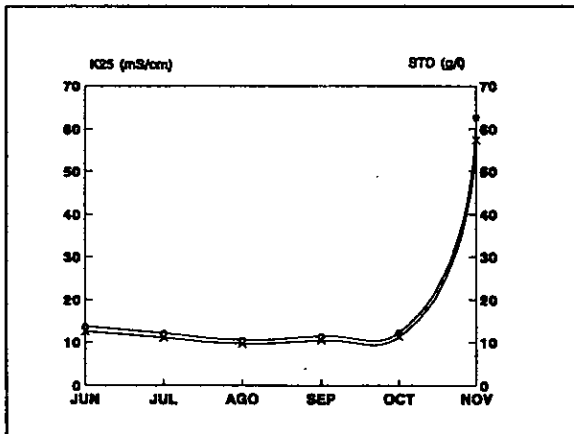


Fig. 2 Variación temporal de la salinidad ( $\times$  = STD,  $\blacksquare$  =  $K_{25}$ ) en Tecuitlapa Sur, Puebla.

La salinidad es un factor que permite diferenciar las dos fases de Tecuitlapa Sur. La salinidad (Fig. 2) al inicio de la fase de llenado (junio) es ligeramente más elevada (12.4 g/L, 13,625 mS/cm) que al final (9.6 g/L, 10,496 mS/cm) de la misma (agosto). Esto se debe a que en junio, cuando se presentan las fases iniciales de llenado se disuelven las sales depositadas en el sedimento durante la fase previa de sequía. Adicionalmente, el volumen del agua que alberga el lago en este mes

es reducido permitiendo que las sales se encuentren más concentradas. Conforme prosigue el período de lluvias, la salinidad va disminuyendo suavemente (fase de dilución) por un incremento en el volumen del lago hasta su valor mínimo (9.6 g/L, 10,496 mS/cm) en el mes de agosto, donde el lago alcanza su máximo nivel. A partir de agosto la salinidad se incrementa lentamente al disminuir las lluvias e iniciarse el periodo de desecación

(concentración) hasta el mes de octubre (10.4 g/L, 11,374 mS/cm). En noviembre se presenta un aumento drástico al disminuir sustancialmente el nivel del lago, en cuyas fases finales alcanza los valores más elevados de concentración (57.3 g/L, 62,566 mS/cm). Williams, D.D. (1983 y 1987) menciona que la disminución en el volumen del agua por la evaporación incrementan la conductividad. Es conveniente aclarar que como es un lago somero la salinidad puede ser modificada fácilmente por los fenómenos meteorológicos (Ewald *et al.* 1994). Tecuitlapa Sur es un lago con poca influencia humana, por lo cual la conductividad depende primariamente de la naturaleza de las rocas.

### Potencial de hidrogeniones (pH)

Como se aprecia en la figura 3, el pH del lago se mantiene en un intervalo fuertemente básico ( $9.8 \pm 0.1$ ) con una fluctuación reducida (9.7-10.0). Este valor elevado de pH es resultado directo de la composición química del agua que caracteriza al lago como sódico alcalino. La predominancia de bicarbonatos eleva el pH en este tipo de lagos (Alcocer y Escobar 1993, Petrovic 1980). Este fenómeno se debe a que el bicarbonato se

transforma en  $\text{CO}_2$ , liberando un  $\text{OH}^-$ , lo cual incrementa el pH (Esteves 1988). Burgis y Morris (1987) mencionan que los lagos ubicados sobre suelos y rocas ricos en carbonatos, presentan un pH elevado porque los  $\text{H}^+$  han sido neutralizados. En los lagos salinos que presentan una concentración de sodio elevada, el calcio es rápidamente precipitado, por lo que el pH elevado está asociado a la disociación del bicarbonato de sodio (Margalef 1983). Williams encontró en su estudio en Western Victoria, lagos básicos con valores mayores a los 8, algunos pocos fuertemente básicos con valores de pH 9 y sólo un lago con pH por arriba de los 10.

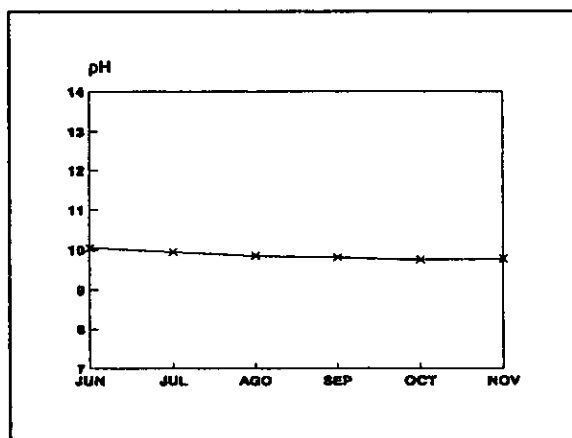


Fig. 3. Variación temporal del pH en Tecuitlapa Sur, Puebla.

(concentración) hasta el mes de octubre (10.4 g/L, 11,374 mS/cm). En noviembre se presenta un aumento drástico al disminuir sustancialmente el nivel del lago, en cuyas fases finales alcanza los valores más elevados de concentración (57.3 g/L, 62,566 mS/cm). Williams, D.D. (1983 y 1987) menciona que la disminución en el volumen del agua por la evaporación incrementan la conductividad. Es conveniente aclarar que como es un lago somero la salinidad puede ser modificada fácilmente por los fenómenos meteorológicos (Ewald *et al.* 1994). Tecuitlapa Sur es un lago con poca influencia humana, por lo cual la conductividad depende primariamente de la naturaleza de las rocas.

### Potencial de hidrogeniones (pH)

Como se aprecia en la figura 3, el pH del lago se mantiene en un intervalo fuertemente básico ( $9.8 \pm 0.1$ ) con una fluctuación reducida (9.7-10.0). Este valor elevado de pH es resultado directo de la composición química del agua que caracteriza al lago como sódico alcalino. La predominancia de bicarbonatos eleva el pH en este tipo de lagos (Alcocer y Escobar 1993, Petrovic 1980). Este fenómeno se debe a que el bicarbonato se

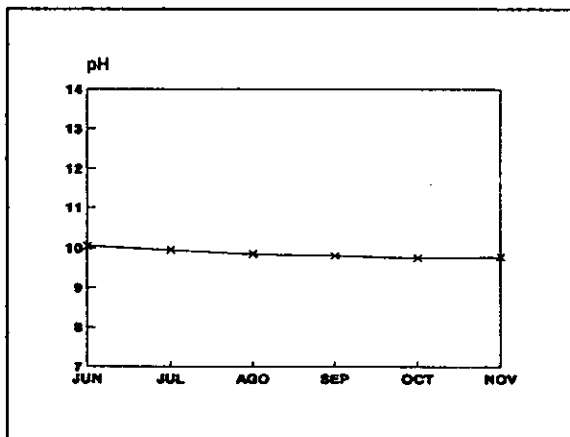


Fig. 3. Variación temporal del pH en Tecuitlapa Sur, Puebla.

transforma en  $\text{CO}_2$ , liberando un  $\text{OH}^-$ , lo cual incrementa el pH (Esteves 1988). Burgis y Morris (1987) mencionan que los lagos ubicados sobre suelos y rocas ricos en carbonatos, presentan un pH elevado porque los  $\text{H}^+$  han sido neutralizados. En los lagos salinos que presentan una concentración de sodio elevada, el calcio es rápidamente precipitado, por lo que el pH elevado está asociado a la disociación del bicarbonato de sodio (Margalef 1983). Williams encontró en su estudio en Western Victoria, lagos básicos con valores mayores a los 8, algunos pocos fuertemente básicos con valores de pH 9 y sólo un lago con pH por arriba de los 10.



## Temperatura

De acuerdo a su temperatura promedio ( $25.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ), Tecuitlapa Sur se considera como un lago cálido, registrándose el valor más alto en el mes de noviembre ( $27.0^\circ\text{C}$ ) y el más bajo en agosto ( $24.1^\circ\text{C}$ ) (Fig. 4). A pesar de lo reducida de la variación térmica ( $3^\circ\text{C}$ ), los meses "cálidos" de lluvias (junio-septiembre) presentaron una menor temperatura que los "fríos" de secas (septiembre-noviembre), debido a la presencia de un mayor volumen de agua durante la fase de llenado y un menor volumen en la fase de desecado. Por lo reducido del volumen de Tecuitlapa Sur, aún en su etapa de máximo nivel, la hora de muestreo (16-18 hrs) seguramente también tuvo influencia en la temperatura del agua. Los lagos someros se calientan y se enfrían más rápidamente que los cuerpos acuáticos con mayor volumen.

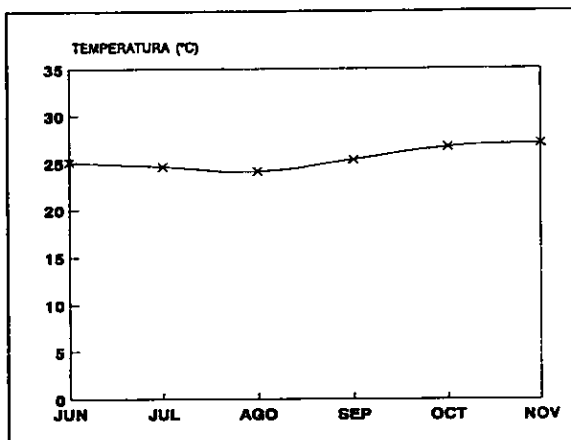


Fig. 4. Variación temporal de la temperatura en Tecuitlapa Sur, Puebla.

## Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

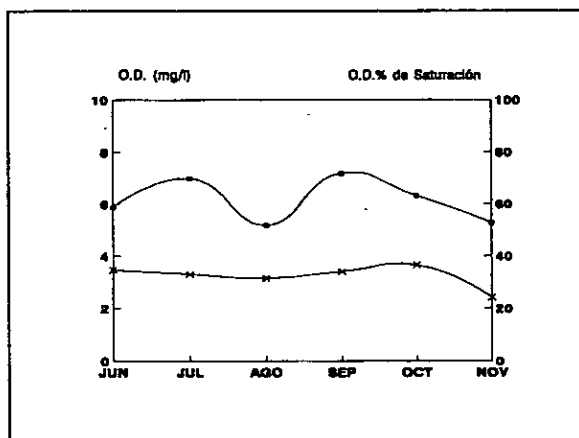


Fig. 5. Variación temporal del oxígeno disuelto en Tecuitlapa Sur, Puebla.

El oxígeno es uno de los parámetros más importantes de los lagos. Este gas disuelto es esencial para los organismos acuáticos aerobios, por lo que la distribución del oxígeno es importante para comprender la distribución y comportamiento de los organismos (Wetzel 1983). Con relación a los lagos salinos, el agua presenta una capacidad disminuída para disolver gases conforme ésta se incrementa

## Temperatura

De acuerdo a su temperatura promedio ( $25.4 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ), Tecuitlapa Sur se considera como un lago cálido, registrándose el valor más alto en el mes de noviembre ( $27.0^\circ\text{C}$ ) y el más bajo en agosto ( $24.1^\circ\text{C}$ ) (Fig. 4). A pesar de lo reducida de la variación térmica ( $3^\circ\text{C}$ ), los meses "cálidos" de lluvias (junio-septiembre) presentaron una menor temperatura que los "fríos" de secas (septiembre-noviembre), debido a la presencia de un mayor volumen de agua durante la

fase de llenado y un menor volumen en la fase de desecado. Por lo reducido del volumen de Tecuitlapa Sur, aún en su etapa de máximo nivel, la hora de muestreo (16-18 hrs) seguramente también tuvo influencia en la temperatura del agua. Los lagos someros se calientan y se enfrían más rápidamente que los cuerpos acuáticos con mayor volumen.

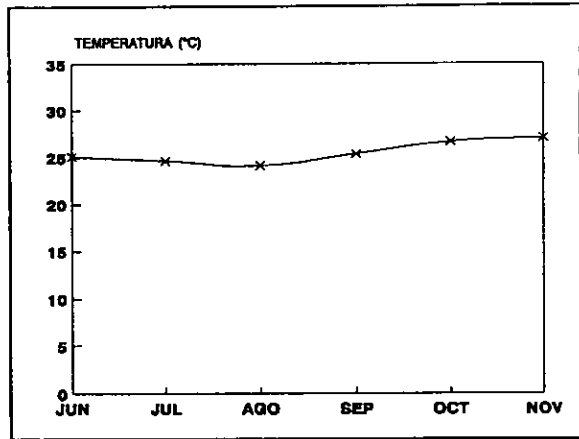


Fig. 4. Variación temporal de la temperatura en Tecuitlapa Sur, Puebla.

## Oxígeno disuelto y saturación de oxígeno

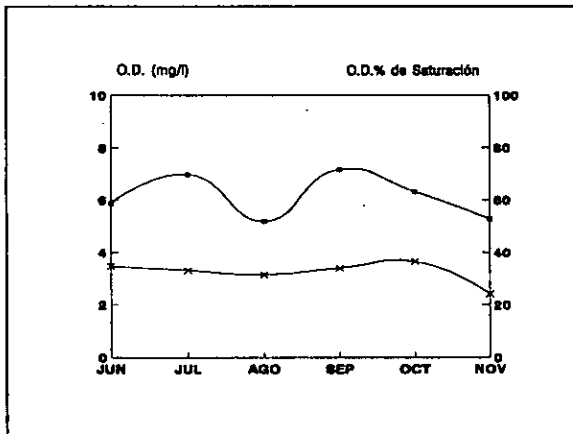


Fig. 5. Variación temporal del oxígeno disuelto en Tecuitlapa Sur, Puebla.

El oxígeno es uno de los parámetros más importantes de los lagos. Este gas disuelto es esencial para los organismos acuáticos aerobios, por lo que la distribución del oxígeno es importante para comprender la distribución y comportamiento de los organismos (Wetzel 1983). Con relación a los lagos salinos, el agua presenta una capacidad disminuída para disolver gases conforme ésta se incrementa

(Williams, D.D. 1987, Wetzel 1975 citado en Williams, W.D. 1981), es decir, la saturación del gas ocurre a concentraciones más bajas a una temperatura dada. En Tecuitlapa Sur se registraron valores reducidos de oxígeno disuelto ( $3.2 \pm 0.4$  mg/L,  $61.2 \pm 8.4\%$ ) (Fig. 5). El lago siempre se presentó subsaturado y con fluctuaciones reducidas (2.4 - 3.6 mg/L, 51.7 - 71.7%). En el mes de junio se encontró una concentración relativamente elevada (3.4 mg/L, 58.7%) debido a que inicia la etapa de inundación y el número de organismos es reducido. Conforme avanzó la fase de inundación el oxígeno disuelto disminuyó hasta un mínimo de 3.1 mg/L (51.7%). A partir de septiembre, este gas aumentó ligeramente hasta llegar a su valor máximo de 3.6 mg/L (63.1%) en octubre (etapa de concentración) para volver a disminuir hasta 2.4 mg/L (52.7%) en noviembre, debido a que el nivel del agua se encontró muy reducido, la salinidad aumentó y estuvieron presentes un gran número de organismos (incremento en los procesos de respiración y de descomposición bacteriana). Williams, D.D. (1987) menciona que el oxígeno disuelto puede fluctuar diariamente como resultado de la fotosíntesis y de la respiración. Además, este mismo autor dice que la salinidad de las aguas temporales varían de menos de 50 g/L a más de 300 g/L, por lo que estas fluctuaciones en la salinidad influyen en la respiración del organismo, ya que menos oxígeno puede ser disuelto en aguas salinas que en aguas dulces. Al igual que la temperatura, el oxígeno disuelto también varía con relación a la hora en que se realiza el muestreo.

#### Potencial de óxido-reducción (Eh)

El potencial redox varía con respecto al oxígeno disuelto que se encuentra disponible para los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este lago posee concentraciones reducidas de oxígeno disuelto, es por ello que los valores de potencial redox (Fig.6) se consideran bajos (Eh < 460 mV; promedio de  $428.5 \pm 38.0$  mV). El valor máximo (457 mV) se registró en la época de

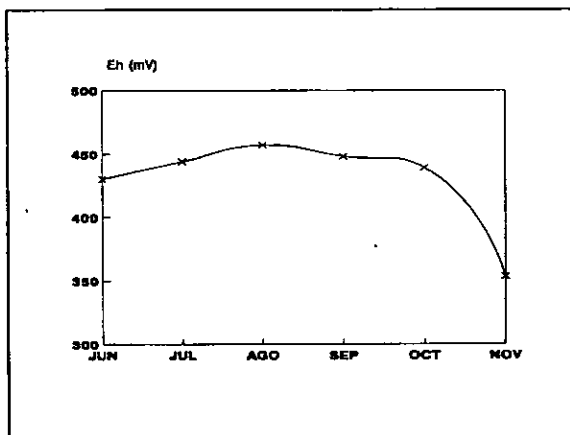


Fig. 6. Variación temporal del potencial redox en Tecuitlapa Sur, Puebla.

(Williams, D.D. 1987, Wetzel 1975 citado en Williams, W.D. 1981), es decir, la saturación del gas ocurre a concentraciones más bajas a una temperatura dada. En Tecuitlapa Sur se registraron valores reducidos de oxígeno disuelto ( $3.2 \pm 0.4$  mg/L,  $61.2 \pm 8.4\%$ ) (Fig. 5). El lago siempre se presentó subsaturado y con fluctuaciones reducidas (2.4 - 3.6 mg/L, 51.7 - 71.7%). En el mes de junio se encontró una concentración relativamente elevada (3.4 mg/L, 58.7%) debido a que inicia la etapa de inundación y el número de organismos es reducido. Conforme avanzó la fase de inundación el oxígeno disuelto disminuyó hasta un mínimo de 3.1 mg/L (51.7%). A partir de septiembre, este gas aumentó ligeramente hasta llegar a su valor máximo de 3.6 mg/L (63.1%) en octubre (etapa de concentración) para volver a disminuir hasta 2.4 mg/L (52.7%) en noviembre, debido a que el nivel del agua se encontró muy reducido, la salinidad aumentó y estuvieron presentes un gran número de organismos (incremento en los procesos de respiración y de descomposición bacteriana). Williams, D.D. (1987) menciona que el oxígeno disuelto puede fluctuar diariamente como resultado de la fotosíntesis y de la respiración. Además, este mismo autor dice que la salinidad de las aguas temporales varían de menos de 50 g/L a más de 300 g/L, por lo que estas fluctuaciones en la salinidad influyen en la respiración del organismo, ya que menos oxígeno puede ser disuelto en aguas salinas que en aguas dulces. Al igual que la temperatura, el oxígeno disuelto también varía con relación a la hora en que se realiza el muestreo.

#### Potencial de óxido-reducción (Eh)

El potencial redox varía con respecto al oxígeno disuelto que se encuentra disponible para los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este lago posee concentraciones reducidas de oxígeno disuelto, es por ello que los valores de potencial redox (Fig.6) se consideran bajos (Eh < 460 mV; promedio de  $428.5 \pm 38.0$  mV). El valor máximo (457 mV) se registró en la época de

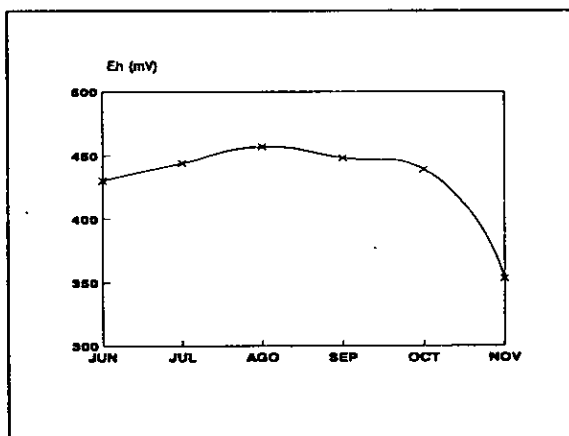


Fig. 6. Variación temporal del potencial redox en Tecuitlapa Sur, Puebla.

lluvias (agosto) lo cual indicó que los procesos de oxidación en el lago se encontraban al máximo. Su valor mínimo (353 mV) se registró al final de la época de secas (noviembre) lo que indicó un aumento en los procesos de reducción. Adicionalmente, el potencial redox está relacionado con el pH. El potencial redox disminuyó al igual que el pH; esto se explica ya que el potencial redox cambia con las variaciones en la concentración de  $H^+$ , lo cual se ve reflejado también en el pH (Wetzel 1983).

### Textura y contenido de materia orgánica sedimentaria

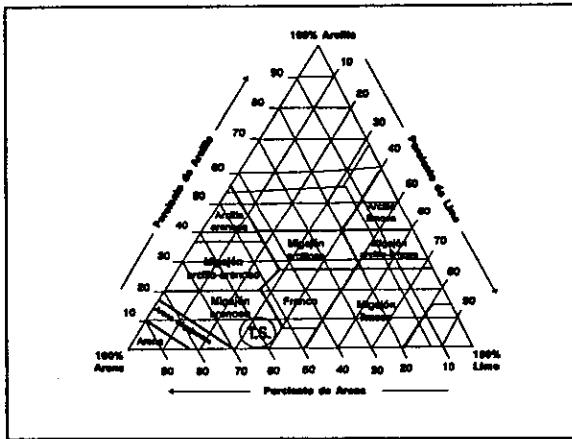


Fig.7. Ubicación del sedimento de Tecuitlapa Sur (T.S.) en el triángulo de texturas (Modificado por Ortíz y Ortíz 1980).

El sedimento de Tecuitlapa Sur es un migajón arenoso (Bouyoucos 1962 citado en Millar *et al.* 1980), compuesto en su mayor parte por arenas (58%) y en menor medida por limos (30%) y arcillas (12%) (Fig. 7). El sedimento es predominantemente arenoso como el presente en los lagos-cráter cercanos, según encontraron Ramírez-García y Novelo (1984), Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez (1989) y Aicocer (1995). Desde el punto de vista limnológico, la parte

más importante de los sedimentos es la fracción orgánica. Los organismos bentónicos dependen ampliamente de estas sustancias orgánicas para su crecimiento y manutención (Hammer 1986). El contenido de materia orgánica en los sedimentos de Tecuitlapa Sur es considerado elevado (7.9%) según Walkley y Black (1947 citado en Jackson 1976), ya que en los lagos someros el fondo es el principal sitio de descomposición, por lo que se presenta un elevado contenido orgánico (Burgis y Morris 1987). El elevado contenido de materia orgánica es atribuido, en gran parte, a los macroinvertebrados bentónicos, sus mudas o a los organismos que no salieron al medio aéreo, las bacterias y la materia orgánica vegetal que es arrastrada de los alrededores por el viento y el agua.

lluvias (agosto) lo cual indicó que los procesos de oxidación en el lago se encontraban al máximo. Su valor mínimo (353 mV) se registró al final de la época de secas (noviembre) lo que indicó un aumento en los procesos de reducción. Adicionalmente, el potencial redox está relacionado con el pH. El potencial redox disminuyó al igual que el pH; esto se explica ya que el potencial redox cambia con las variaciones en la concentración de  $H^+$ , lo cual se ve reflejado también en el pH (Wetzel 1983).

### Textura y contenido de materia orgánica sedimentaria

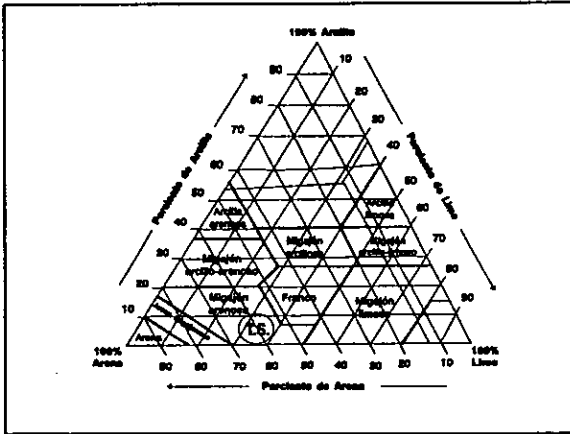


Fig.7. Ubicación del sedimento de Tecuitlapa Sur (T.S.) en el triángulo de texturas (Modificado por Ortíz y Ortíz 1980).

El sedimento de Tecuitlapa Sur es un migajón arenoso (Bouyoucos 1962 citado en Millar *et al.* 1980), compuesto en su mayor parte por arenas (58%) y en menor medida por limos (30%) y arcillas (12%) (Fig. 7). El sedimento es predominantemente arenoso como el presente en los lagos-cráter cercanos, según encontraron Ramírez-García y Novelo (1984), Ramírez-García y Vázquez-Gutiérrez (1989) y Alcocer (1995). Desde el punto de vista limnológico, la parte

más importante de los sedimentos es la fracción orgánica. Los organismos bentónicos dependen ampliamente de estas sustancias orgánicas para su crecimiento y manutención (Hammer 1986). El contenido de materia orgánica en los sedimentos de Tecuitlapa Sur es considerado elevado (7.9%) según Walkley y Black (1947 citado en Jackson 1976), ya que en los lagos someros el fondo es el principal sitio de descomposición, por lo que se presenta un elevado contenido orgánico (Burgis y Morris 1987). El elevado contenido de materia orgánica es atribuido, en gran parte, a los macroinvertebrados bentónicos, sus mudas o a los organismos que no salieron al medio aéreo, las bacterias y la materia orgánica vegetal que es arrastrada de los alrededores por el viento y el agua.

En el sedimento se presentó una coloración rojiza la cual, probablemente, es indicio de la presencia de bacterias anaerobias como lo ha registrado Borowitz (1981 citado en De Decker y Williams 1986). Williams, D.D. (1987) menciona que las bacterias cromogénicas son las responsables del color rojo en las aguas temporales. Estas bacterias son comunes de medios hipersalinos saturados (Williams, D.D. 1987), presentan un pigmento llamado bacteriorodopsina el cual da la coloración rojiza al sedimento. Estas bacterias crecen a temperaturas entre 30 y 40°C requiriendo, además, de una elevada concentración de sales para su crecimiento en superficies expuestas.

Tecuitlapa Sur es un lago somero donde la vegetación macrofítica está ausente. Este hecho es debido a tres factores ambientales que gobiernan este lago: la elevada salinidad, el periodo de permanencia del agua y la penetración de la luz. De acuerdo con varios autores citados en Wollheim y Lovvorn (1995), la riqueza específica de macrofitas declina cuando la salinidad aumenta y las macrofitas están ausentes o son insignificantes en lagos altamente salinos. Sin embargo, De Deckker y Williams (1986) mencionan que la vegetación macrofítica puede tolerar altas salinidades, porque presenta mecanismos osmoregulatorios que le permiten sobrevivir para reproducirse; sin embargo no toleran condiciones de desecado, ya que no pueden sobrevivir ni reproducirse. Es por ello que el periodo de permanencia del agua, según Zidler (citado en Williams, D.D. 1987), es el factor más importante que afecta a las macrofitas acuáticas de las aguas salinas temporales. Asimismo, la ausencia de angiospermas en los lagos salinos indica su inhabilidad para tolerar las fluctuaciones amplias dentro de su hábitat. No sólo las angiospermas sumergidas y flotantes están ausentes en Tecuitlapa Sur, sino también las algas ya que, según Burgis y Morris (1987), en lagos someros y con agua turbia, no hay crecimiento algal debido a que la penetración de la luz es casi nula, lo cual reduce la productividad fitoplanctónica (Brock 1986 citado en De Deckker y Williams 1986). Erisen (citado en Williams, D.D. 1987) menciona que la turbiedad restringe la penetración de la luz en las capas superiores que es donde se lleva a cabo la fotosíntesis. En forma adicional, el color del agua es café oscuro a negro, probablemente asociado a la presencia de sílice coloidal como lo sugiere Hammer (1986), restringiendo aún más, la penetración de la luz en el lago. Seguramente estos son los factores que restringen o impiden el crecimiento de cianobacterias como *Spirulina* la cual está presente en el cercano Tecuitlapa Norte.

### Ordenamiento ambiental

El dendrograma de disimilitud ambiental ( $1-r$  de Pearson) obtenido del análisis de conglomerados (Fig. 8), muestra dos cúmulos bien definidos, el primer grupo (A) que corresponde a los meses de junio a octubre, el cual presentó una disimilitud entre sí del 14%; el segundo grupo (B) corresponde al mes de noviembre que presenta una disimilitud total (100%) con el resto de los meses. Dentro del primer grupo (A) se forman tres subgrupos.

El primero (A1) lo conforman junio y julio con una disimilitud del 12%, considerados como el comienzo de la etapa de llenado (en la fase de dilución). El segundo subgrupo (A2) está representado por los meses de septiembre y octubre, los cuales presentan una disimilitud de 6%, correspondiendo a la fase de concentración. Estos dos subgrupos (A1 y A2) se unen entre sí, con una disimilitud de 14%. El tercer subgrupo (A3) corresponde al mes de agosto con una disimilitud de 14%, considerado como la fase de transición entre ambos períodos (la fase de dilución-concentración). Es el punto donde el lago alcanza su máximo nivel de llenado (máxima dilución), a partir del cual se inicia la fase de concentración (deseccación). El segundo grupo (B) está integrado por el mes de noviembre, el cual representa la fase más "drástica" en cuanto a los parámetros ambientales se refiere, ya que en éste último mes se encuentra la concentración máxima con un volumen mínimo de agua.

Es importante aclarar que todos los meses son parecidos entre sí, ya que la máxima distancia de unión fue de 0.0082, la cuál puede ser considerada mínima, ya que los parámetros ambientales, en general, fluctúan poco en el tiempo, durante los primeros cinco meses (junio a octubre), excepto en el mes de noviembre que es cuando se presenta la mayor salinidad (57.3 g/L), la menor concentración de oxígeno disuelto (2.4 mg/l) y la temperatura más alta (27.0°C).

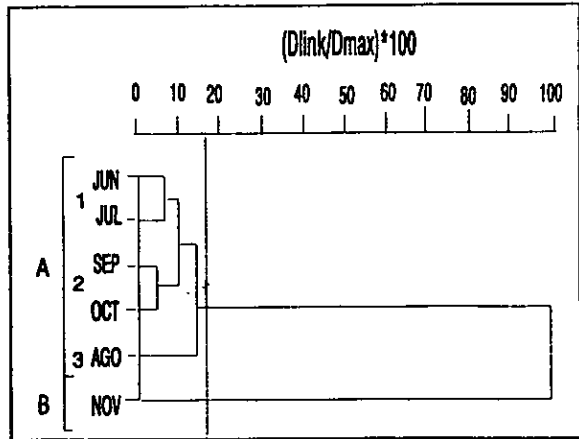


Fig. 8. Dendrograma de disimilaridad ( $1-r$  de Pearson) ambiental de Tecuítapa Sur, Puebla.



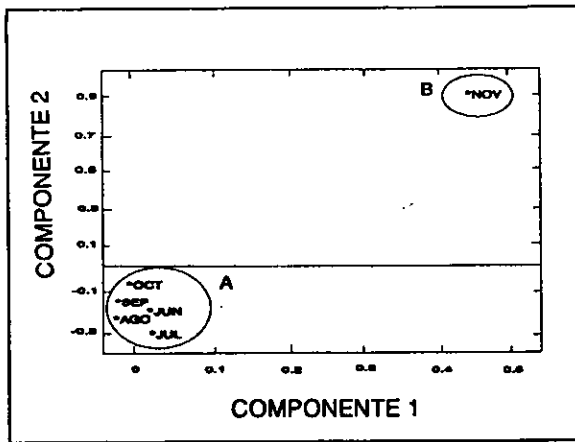


Fig. 9. Análisis de Componentes Principales ambientales de Tecuitlapa Sur, Puebla.

El ordenamiento ambiental se realizó con el objetivo de reconocer los parámetros ambientales que explican la variación máxima en Tecuitlapa Sur. Como se puede apreciar en la Figura 9 se formaron los mismos dos grupos indicados en la clasificación. Ambos grupos son separados por la salinidad (en el componente uno) y el pH (en el componente dos), representando así a los dos parámetros más importantes para el ordenamiento ambiental. Además es claro que estas características de elevada salinidad y

pH caracterizan a las aguas atalasoalinas alcalino-sódicas.

El porcentaje de varianza del primer componente es el que proporciona la mayor información (99.5%) (Anexo 1). El primer grupo (A) lo conforman los meses de junio a octubre con una menor salinidad y un pH ligeramente más elevado, mientras que el segundo grupo (B), el mes de noviembre, se separa por su elevada salinidad y su pH ligeramente más bajo. Los grupos mostrados en el ACP confirman los formados en el AC.

## CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA

### Composición faunística

Se contabilizaron un total de 12,195 organismos, todos ellos pertenecientes exclusivamente a dos especies, ambas de la Clase Insecta (Tabla 1).

Filo: Artropoda

Clase: Insecta

Orden: Diptera

Familia: Ceratopogonidae

Género: *Culicoides*

Especie: *C. occidentalis var. sonorensis* Jorgensen 1969.

Familia: Chironomidae

Subfamilia: Tanypodinae

Tribu: Tanypodini

Género: *Tanytus (Apelopia)* Meigen.

**Tabla 1.** Listado taxonómico de los macroinvertebrados bentónicos registrados en el lago Tecuitlapa Sur, Puebla. (En la familia Chironomidae no se pudo identificar hasta nivel de especie, ya que sólo se encontraron estadios larvales y no el estadio pupal).

Ceratopogónidos y tanipódinos son mencionados por Hammer *et al.* (1975, 1990) coexistiendo en un amplio intervalo de salinidades (3-370 g/l) en los lagos canadienses. Bradt y Berg (1987) los encuentran en tres lagos alcalinos de Pensilvania. Cowell y Vodopich (1981) los registran en el lago Thonosassa, Florida y también son registrados por Petridis y Sinis (1995) en el lago Mikri Prespa, Grecia.

Ceratopogónidos son registrados en tres lagos temporales de agua dulce en Ontario (Williams, D.D. 1996) y en dos arroyos temporales por Williams y Hynes (1976, 1977). Asimismo, en un lago temporal de Ontario por Williams, D.D. (1983), en cuerpos australianos de diversas salinidades (0.3 a 343 g/l) por Timms (1983) y en los lagos bolivianos (1.5-81.4 g/l) de la región de Lipez Sur por Dejoux (1993). En el Death Valley ( $2 > 25$  g/l) los encuentra Colburn (1988), en Mono Lake, California, Herbst (1988) y en el sur de Kanagan Columbia Británica McMullen (1978). Timms (1982) los reporta en dos lagos salinos de Nueva Zelanda;

el mismo autor (Timms 1983) los encuentra en tres lagos australianos (0.9-10.7 g/l); Timms (1987) los encuentra en el lago Buchanan (7.5-123.2 g/l), Dougherty y Morgan (1991) en los lagos Oswego y Nescochague, Nueva Jersey, Hayford *et al.* (1995) en Poncha Hot, Colorado.

Tanipódinos son registrados por Bass (1986) en un arroyo temporal en Beach Creek y en el lago Baldwin, Illinois, por Stahl (1986). En el lago Glubokoe, Holanda, por Sokolova e Izvekova (1986). En el lago de Alchichica, Puebla, por Alcocer *et al.* (1993a). En Montedoglio, Italia, por Di Giovanni *et al.* (1996). En el lago Arcadia, USA, por Bass (1992) y en cuatro lagos de Canadá por Walker *et al.* (1984).

### **Riqueza específica**

En Tecuitlapa Sur se presentó una riqueza específica reducida (dos especies). Ambas especies se encontraron a lo largo del ciclo de muestreo. De acuerdo a Hammer (1986), Hammer *et al.* (1990) y Alcocer y Williams (1993) la salinidad del agua influye sobre la riqueza específica, esto es, cuando la salinidad se incrementa se observa -a todo lo largo de la escala de salinidad- una tendencia a la disminución marcada de la riqueza específica. En Tecuitlapa Sur la riqueza específica es extremadamente reducida en comparación con otros sistemas lacustres salinos cercanos y de otras partes del mundo. Sin embargo, existen otros casos de riquezas específicas similares como los que se mencionan a continuación (tabla 2). Oseguera (1997) encontró cinco especies en el lago Tecuitlapa Norte con una salinidad de 13.5-35.6 g/L. Egorov (1993) encontró dos especies en el lago Ereg, Mongolia, con una salinidad de 13 g/L. Timms (1981) encontró en los lagos Bullenmerri (8 g/L) y Gnotuk (58 g/L) ocho y seis especies respectivamente. En los lagos salinos del Western District de Australia, se encontró una lista total de veintisiete especies, aunque el número de especies fluctuó entre dos y dieciséis (Williams, W.D. 1981). Williams y Kokkinn (1988) encontraron una fauna bentónica en el Lake Eyre South, Australia (25-272 g/L) representada por nueve especies. Hammer *et al.* (1990) encuentran dos especies en los lagos Manitou (103-117.9 g/L) y Aroma (111.3 -126.3 g/L). Cabe señalar que estos dos últimos lagos, al igual que Tecuitlapa Sur, carecen de vegetación macrofítica.

el mismo autor (Timms 1983) los encuentra en tres lagos australianos (0.9-10.7 g/l); Timms (1987) los encuentra en el lago Buchanan (7.5-123.2 g/l), Dougherty y Morgan (1991) en los lagos Oswego y Nescochague, Nueva Jersey, Hayford *et al.* (1995) en Poncha Hot, Colorado.

Tanipódinos son registrados por Bass (1986) en un arroyo temporal en Beach Creek y en el lago Baldwin, Illinois, por Stahl (1986). En el lago Glubokoe, Holanda, por Sokolova e Izvekova (1986). En el lago de Alchichica, Puebla, por Alcocer *et al.* (1993a). En Montedoglio, Italia, por Di Giovanni *et al.* (1996). En el lago Arcadia, USA, por Bass (1992) y en cuatro lagos de Canadá por Walker *et al.* (1984).

### **Riqueza específica**

En Tecuítlapa Sur se presentó una riqueza específica reducida (dos especies). Ambas especies se encontraron a lo largo del ciclo de muestreo. De acuerdo a Hammer (1986), Hammer *et al.* (1990) y Alcocer y Williams (1993) la salinidad del agua influye sobre la riqueza específica, esto es, cuando la salinidad se incrementa se observa -a todo lo largo de la escala de salinidad- una tendencia a la disminución marcada de la riqueza específica. En Tecuítlapa Sur la riqueza específica es extremadamente reducida en comparación con otros sistemas lacustres salinos cercanos y de otras partes del mundo. Sin embargo, existen otros casos de riquezas específicas similares como los que se mencionan a continuación (tabla 2). Oseguera (1997) encontró cinco especies en el lago Tecuítlapa Norte con una salinidad de 13.5-35.6 g/L. Egorov (1993) encontró dos especies en el lago Ereg, Mongolia, con una salinidad de 13 g/L. Timms (1981) encontró en los lagos Bullenmerri (8 g/L) y Gnotuk (58 g/L) ocho y seis especies respectivamente. En los lagos salinos del Western District de Australia, se encontró una lista total de veintisiete especies, aunque el número de especies fluctuó entre dos y dieciséis (Williams, W.D. 1981). Williams y Kokkinn (1988) encontraron una fauna bentónica en el Lake Eyre South, Australia (25-272 g/L) representada por nueve especies. Hammer *et al.* (1990) encuentran dos especies en los lagos Manitou (103-117.9 g/L) y Aroma (111.3 -126.3 g/L). Cabe señalar que estos dos últimos lagos, al igual que Tecuítlapa Sur, carecen de vegetación macrofítica.

No.	Lago/Región	Pais	S	Salinidad (g/L)	Referencia
1	Western District	Australia	142	0.3-343	Williams <i>et al.</i> (1990)
2	Buchanan	Australia	53	7.5-123.2	Timms (1987)
3	Death Valley	E.U.A.	47	3-5	Colburn (1988)
4	Alchichica	México	44	6-7	Alcocer (1995)
5	Pyramid Lake	E.U.A.	35	5-11	Galat <i>et al.</i> (1988)
6	St. Lawrence	Canadá	34	0.03-31	Williams y Williams (1976)
7	Lenore	Canadá	31	5.2-5.9	Hammer <i>et al.</i> (1990)
8	Wakan	Canadá	30	2.8-3.4	Hammer <i>et al.</i> (1990)
9	Humbold	Canadá	29	3.0-3.2	Hammer <i>et al.</i> (1990)
10	Atexcac	México	21	6	Alcocer (1995)
11	Polques	Bolivia	18	4.9	Dejoux (1993)
12	Trampin	Canadá	18	13	Hammer <i>et al.</i> (1990)
13	Deep	Australia	17	0.9	Timms (1983)
14	Killarney	Canadá	17	5.6-5.7	Hammer <i>et al.</i> (1990)
15	Abert Lake	E.U.A.	14	20-30	Herbst (1988)
16	Eyre South	Australia	9	25-272	Williams y Kokkinn (1988)
17	Death Valley	E.U.A.	8	> 25	Colburn (1988)
18	Mono Lake	E.U.A.	7	80-90	Herbst (1988)
19	Dean*	Australia	7	15.1	Timms (1983)
20	Tecuitlapa Norte*	México	5	13.35-35.6	Oseguera (1997)
21	Terang Gooswitch*	Australia	4	103.9	Timms (1983)
22	East Twin*	Australia	4	16.8	Timms (1983)
23	Totolcingo*	México	3	1.3-19.5	Alcocer <i>et al.</i> (1997)
24	Big Quill	Canadá	3	49.1-53.1	Hammer <i>et al.</i> (1990)
25	Reflex	Canadá	3	61.6-83.3	Hammer <i>et al.</i> (1990)
26	Tecuitlapa Sur*	México	2	9.61-57.3	Presente trabajo
27	Little Manitou*	Canadá	2	103.8-117.9	Hammer <i>et al.</i> (1990)
28	Aroma*	Canadá	2	111.3-126.3	Hammer <i>et al.</i> (1990)
29	West Twin*	Australia	2	14.8	Timms (1983)
30	Werowrap*	Australia	2	20.9	Timms (1983)
31	Missen*	Australia	2	82	Timms (1983)
32	Gnarlinegurk*	Australia	2	24.3	Timms (1983)
33	Cañapa	Bolivia	2	80	Dejoux (1993)
34	Ballivian	Bolivia	2	36	Dejoux (1993)
35	Chiarkhota	Bolivia	1	120	Dejoux (1993)
36	Pujio	Bolivia	1	45	Dejoux (1993)
37	Honda	Bolivia	1	35	Dejoux (1993)
38	Sutton	Nueva Zelanda	1	39.4	Timms (1982)

Tabla 2. Comparación de la riqueza específica (S) de Tecuitlapa Sur, Puebla con otros cuerpos acuáticos salinos del mundo (\* = El autor menciona la ausencia de vegetación acuática macrofítica en el lago especificado).

Timms (1983) encuentra una riqueza específica de veintisiete especies en los lagos salinos australianos. Sin embargo, la menor riqueza específica se encuentra en los lagos Missen (82 g/L), Weowrap (20.9 g/L) y West Twin (14.8 g/L) con sólo dos especies en cada uno de ellos. Estos últimos tres lagos también carecen de vegetación sumergida.

Alcocer y Williams (1993) mencionan que en lagos salinos la ausencia de manchones de vegetación macrofítica reduce, aún más, la diversidad del hábitat para el establecimiento de otros organismos, especialmente de macroinvertebrados. Lo anterior, disminuye la biodiversidad global del ecosistema por dos vías: la ausencia misma de especies vegetales que no resisten salinidades elevadas y la de los organismos asociados a éstas

(Ewald *et al.* 1994).

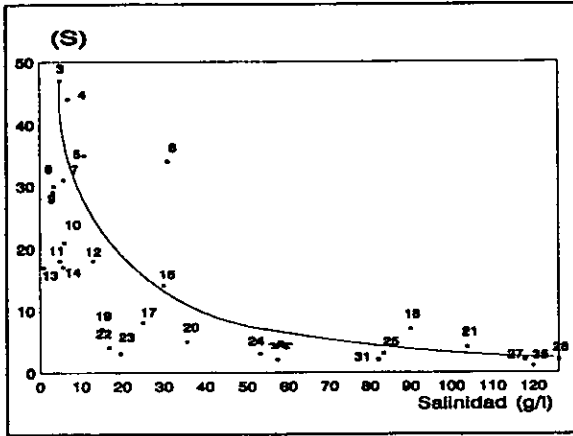


Fig. 10. Relación entre la riqueza específica (S) y la salinidad en diferentes cuerpos acuáticos del mundo (los números hacen referencia a los lagos indicados en la Tabla 2, \* = Tecuítlapa Sur).

Como se puede apreciar en la Tabla 2 y en la Figura 10, la riqueza específica (S) de Tecuítlapa Sur es comparable a la de otros cuerpos acuáticos salinos del mundo, donde la tendencia a la disminución en el número de especies con el incremento de la salinidad es clara.

Hay que considerar que no sólo la salinidad influye sobre la riqueza específica, sino también su profundidad ya que, según varios autores citados en Boulton y Suter (citado en De Deckker y Williams 1986), en aguas someras algunas de las condiciones ambientales son estresantes, por lo que la riqueza específica puede ser reducida. Muchos lagos salinos son someros y esto disminuye la heterogeneidad del hábitat y con ello la riqueza específica (Williams, W.D. 1972). Burgis y Morris (1987) mencionan que los lagos someros tienen pocas especies y que, además, éstas suelen ser oportunistas. En la Tabla 3 se comparara

la riqueza específica (S) del lago Tecuitla Sur con otros lagos someros ubicados en diferentes países (Fig. 11).

Otro factor importante asociado a la baja riqueza específica en aguas dulces es el periodo de la permanencia del agua ya que como Williams, D.D. (1987) menciona, en los lagos temporales la riqueza específica crece conforme estos permanecen con agua por más tiempo. Este hecho es apoyado con lo observado por Williams, D.D. (1996) en lagos dulceacuícolas de Ontario.

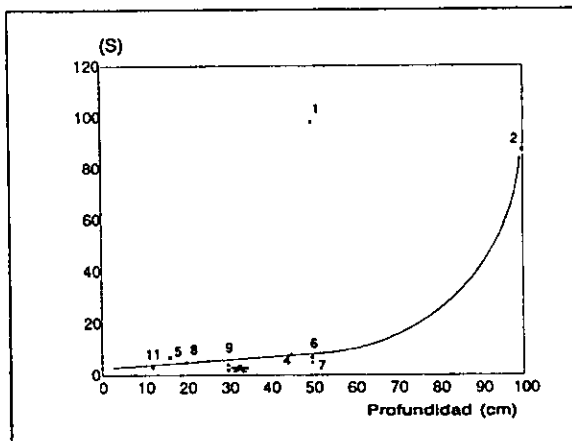


Fig. 11. Relación de la riqueza específica con la profundidad en diferentes cuerpos acuáticos del mundo.

### Abundancia

Galat *et al.* (1988) mencionan que la salinidad es el factor principal que afecta la abundancia de las especies en los lagos atalashalinos, mientras que en los lagos temporales es el volumen y la permanencia del agua (Williams, D.D. 1987). De las dos especies de macroinvertebrados bentónicos, solamente *C. occidentalis* se presentó en gran abundancia (99%), mientras que *Tanytus* resultó ser escaso (1%).

Oseguera (1997) registró *C. occidentalis* en el lago Tecuitlapa Norte con una contribución del 76% de la abundancia. Swadener y Buckler (1977 citado en Stahl 1986) registraron a *Tanytus* con un 12% en dos lagos de California. En cambio Stahl (1986) menciona a tres especies de Tanipodinae, las cuales contribuyeron con el 80% en el lago Baldwin, Illinois. De acuerdo con lo anterior, la contribución porcentual de la abundancia de *C. occidentalis* en Tecuitlapa Sur fue mayor que la presente en Tecuitlapa Norte, en cambio para *Tanytus* fue diez veces menor comparada con los lagos de California y más de setenta veces menor que el lago Baldwin, Illinois.

la riqueza específica (S) del lago Tecuitla Sur con otros lagos someros ubicados en diferentes países (Fig. 11).

Otro factor importante asociado a la baja riqueza específica en aguas dulces es el periodo de la permanencia del agua ya que como Williams, D.D. (1987) menciona, en los lagos temporales la riqueza específica crece conforme estos permanecen con agua por más tiempo. Este hecho es apoyado con lo observado por Williams, D.D. (1996) en lagos dulceacuícolas de Ontario.

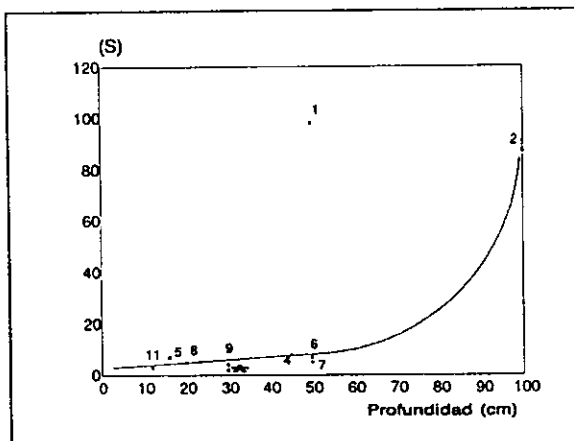


Fig. 11. Relación de la riqueza específica con la profundidad en diferentes cuerpos acuáticos del mundo.

### Abundancia

Galat *et al.* (1988) mencionan que la salinidad es el factor principal que afecta la abundancia de las especies en los lagos atalashalinos, mientras que en los lagos temporales es el volumen y la permanencia del agua (Williams, D.D. 1987). De las dos especies de macroinvertebrados bentónicos, solamente *C. occidentalis* se presentó en gran abundancia (99%), mientras que *Tanypus* resultó ser escaso (1%).

Oseguera (1997) registró *C. occidentalis* en el lago Tecuitlapa Norte con una contribución del 76% de la abundancia. Swadener y Buckler (1977 citado en Stahl 1986) registraron a *Tanypus* con un 12% en dos lagos de California. En cambio Stahl (1986) menciona a tres especies de Tanipodinae, las cuales contribuyeron con el 80% en el lago Baldwin, Illinois. De acuerdo con lo anterior, la contribución porcentual de la abundancia de *C. occidentalis* en Tecuitlapa Sur fue mayor que la presente en Tecuitlapa Norte, en cambio para *Tanypus* fue diez veces menor comparada con los lagos de California y más de setenta veces menor que el lago Baldwin, Illinois.



No.	Lago	País	S	Profundidad (cm)	Referencia
1	Sunfish	Canadá	98	50	Williams (1983)
2	Big Thicket	E.U.	87	100	Bass (1986)
3	Tjeukemeer	Holanda	9	150	Beattie (1982)
4	Makatini	Africa	8	45	Hamer y Appleton (1991)
5	Bay Park	Africa	7	16	Hamer y Appleton (1991)
6	Dean*	Australia	7	50	Timms (1983)
7	Tecuitlapa Norte*	México	5	50	Oseguera (1997)
8	Umfolozi	Africa	5	20	Hamer y Appleton (1991)
9	Mkuze	Africa	4	30	Hamer y Appleton (1991)
10	East Twin*	Australia	4	100	Timms (1983)
11	Ndumu	Africa	3	12	Hamer y Appleton (1991)
12	Totolcingo*	México	3	150	Alcocer <i>et al.</i> (1997)
13	Tecuitlapa Sur*	México	2	30	Este Trabajo

Tabla 3. Comparación de la riqueza específica (S) de Tecuitlapa Sur, Puebla, con otros cuerpos acuáticos someros del mundo (\* = El autor menciona la ausencia de vegetación acuática macrofítica en el lago especificado).

En Tecuitlapa Sur se conjuntan diversos factores ambientales que seguramente contribuyen a la reducción en la densidad de los organismos, estos factores son: la elevada salinidad ( $13.0 \pm 13.2$  g/L), la baja concentración de oxígeno ( $3.2 \pm 0.4$  mg/L), el pH fuertemente básico ( $9.8 \pm 0.1$ ), la alta temperatura del agua ( $25.4 \pm 1.1$  °C) y los cambios en el nivel del agua llegando a su ausencia por espacio de seis meses. Cowell y Vodopich (1981) encontraron que no sólo la salinidad como factor abiótico es importante en la reducción del número de especies y su densidad, sino también otros parámetros que actúan en forma conjunta como lo son el elevado pH y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Dougherty y Morgan 1991). Aunque Parkin y Stahl (1981) mencionan que las bajas concentraciones de oxígeno no eliminaron a *Tanytus stellatus* en el lago Baldwin, Illinois, si se presentó una reducción en la densidad poblacional.

La densidad presentó un patrón claro de incremento a lo largo del tiempo (Fig. 12); la densidad mínima se presenta en junio con  $1,705$  org//m<sup>2</sup> y la máxima en noviembre con  $6,793,093$  org/m<sup>2</sup>. Las densidades más bajas se presentan en los meses de dilución (junio-

agosto) y se disparan bruscamente en los de concentración (septiembre-noviembre).

La especie más abundante fue *C. occidentalis* con un promedio de  $1,141,082 \pm 2,765,879 \text{ org/m}^2$ . Su densidad siguió un patrón similar a lo descrito en el párrafo anterior por ser la especie dominante. Es claro que *C. occidentalis* es capaz de resolver el problema de regulación osmótica impuesto a estas salinidades elevadas, disminuyendo los problemas de competencia interespecífica y depredación, lo cual les permite un buen desarrollo poblacional (Colburn 1988, Dejoux 1993 y Williams, W.D. *et al.* 1990).

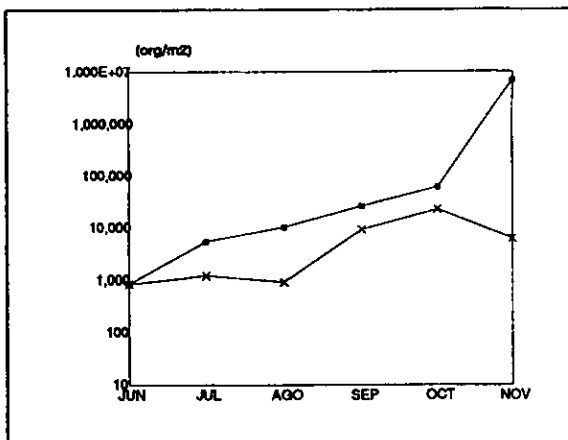


Fig. 12. Variación de la densidad de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur, Puebla.

*Tanypus* presentó una menor abundancia con un promedio de  $6,782 \pm 8,309 \text{ org/m}^2$ . Las mayores densidades se presentaron en la segunda mitad del ciclo, esto es, en la fase de concentración. Durante la fase de dilución las densidades fueron considerablemente más bajas (Fig. 12). En este caso la densidad máxima ( $22,222 \text{ org/m}^2$ ) se presentó en octubre, disminuyendo en noviembre. La presencia creciente de pupas entre ambos meses sugiere que ésta disminución es debida a la emergencia del organismo.

La variación temporal de la densidad de *Tanypus* presenta relación con dos factores: la salinidad y el periodo de inundación. La densidad de *Tanypus* fue creciente durante los primeros meses (junio-octubre), se infiere que ésto pudo haber sido por la baja salinidad presente en el lago (promedio de  $9.4 \pm 16.0 \text{ g/L}$ ) en comparación con el mes de noviembre donde ésta se disparó hasta  $57.3 \text{ g/L}$ . Aunado a lo anterior, la cantidad de agua presente en el lago, también influyó en la densidad de esta especie, ya que durante los primeros meses (junio-octubre), la especie fue aumentando conforme al tiempo, pero en el mes de noviembre, el lago comenzó su desecación y este organismo presentó una etapa pupal, lo que seguramente indica que una parte de la población había pasado a su estado adulto aéreo fuera del lago. La emergencia de los adultos está influenciada por varios factores ambientales como lo son la temperatura, la luz o una combinación de ambos (Pinder 1986) y también la

deseccación del lago, ya que los cambios en el nivel del agua conllevan a que el organismo utilice sus estrategias de crecimiento para complementar su ciclo de vida antes de que el agua desaparezca (Williams, W.D. 1981). La variación temporal de la densidad de *Tanytus* al parecer está asociada con su biología.

La densidad promedio de *C. occidentalis* fue de  $1,141,082 \pm 2,765,878$  org/m<sup>2</sup>, la cual es casi 10 veces mayor a la encontrada por Oseguera (1997) de 119,760 org/m<sup>2</sup> para el lago Tecuitlapa Norte. Hayford *et al.* (1995) reporta 1,365 org/m<sup>2</sup> en un arroyo termal con un pH básico (8.6). Esta densidad es casi 800 veces menor a la encontrada en este estudio. Hammer *et al.* (1990) obtuvieron una densidad promedio de 720 org/m<sup>2</sup> para el ceratopogónido *Bezzia magnisetula* en el lago Killarney, ésta comparada con la máxima densidad encontrada en Tecuitlapa Sur es muy reducida. De las comparaciones hechas anteriormente se puede decir que la densidad de *C. occidentalis* en Tecuitlapa Sur es elevada. *C. occidentalis* es común de áreas con litorales someros en lagos salinos tipo sódico (Hammer 1986), es por ello que esta especie es un verdadero habitante de este tipo de aguas y por lo tanto es dominante.

La densidad promedio de *Tanytus* en Tecuitlapa Sur ( $6,782 \pm 8,309$  org/m<sup>2</sup>) es similar a la encontrada para *Tanytus stellatus* en el lago Baldwin, Illinois por Stahl (1986) con 8,380 org/m<sup>2</sup>. Charles *et al.* (1975 citado en Stahl 1986) registraron 3,100 org/m<sup>2</sup> en Loch Leven. Shiozawa y Barnes (1977 citado en Stahl 1986) obtuvieron una densidad máxima de 5,139 org/m<sup>2</sup> para el lago Utah. La densidad de *Tanytus* para Tecuitlapa Sur es considerada muy semejante al compararse con estos cuerpos acuáticos.

### **Biomasa**

El promedio anual de la biomasa de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur fue de  $1.2 \pm 2.9$  gC/m<sup>2</sup>. La mayor biomasa se presentó en el mes de noviembre (7.3 gC/m<sup>2</sup>), que es el mes donde el lago se encuentra en su etapa final de desecación. Al igual que con la abundancia, las mayores biomásas se presentan en la fase de concentración, mientras que en la de dilución éstas son consideradas más bajas.

De las dos especies encontradas, *C. occidentalis* fue la que aportó mayor biomasa (95%), mientras que *Tanytus* contribuyó tan sólo con un 5%. El aporte de *C. occidentalis* fue mucho mayor al encontrado por Oseguera (1997) para Tecuitlapa Norte (26.9%) y también por el registrado por Hammer *et al.* (1990) para los lagos Redberry, Basin y Killarney

deseccación del lago, ya que los cambios en el nivel del agua conllevan a que el organismo utilice sus estrategias de crecimiento para complementar su ciclo de vida antes de que el agua desaparezca (Williams, W.D. 1981). La variación temporal de la densidad de *Tanytus* al parecer está asociada con su biología.

La densidad promedio de *C. occidentalis* fue de  $1,141,082 \pm 2,765,878$  org/m<sup>2</sup>, la cual es casi 10 veces mayor a la encontrada por Oseguera (1997) de 119,760 org/m<sup>2</sup> para el lago Tecuitlapa Norte. Hayford *et al.* (1995) reporta 1,365 org/m<sup>2</sup> en un arroyo termal con un pH básico (8.6). Esta densidad es casi 800 veces menor a la encontrada en este estudio. Hammer *et al.* (1990) obtuvieron una densidad promedio de 720 org/m<sup>2</sup> para el ceratopogónido *Bezzia magnisetula* en el lago Killarney, ésta comparada con la máxima densidad encontrada en Tecuitlapa Sur es muy reducida. De las comparaciones hechas anteriormente se puede decir que la densidad de *C. occidentalis* en Tecuitlapa Sur es elevada. *C. occidentalis* es común de áreas con litorales someros en lagos salinos tipo sódico (Hammer 1986), es por ello que esta especie es un verdadero habitante de este tipo de aguas y por lo tanto es dominante.

La densidad promedio de *Tanytus* en Tecuitlapa Sur ( $6,782 \pm 8,309$  org/m<sup>2</sup>) es similar a la encontrada para *Tanytus stellatus* en el lago Baldwin, Illinois por Stahl (1986) con 8,380 org/m<sup>2</sup>. Charles *et al.* (1975 citado en Stahl 1986) registraron 3,100 org/m<sup>2</sup> en Loch Leven. Shiozawa y Barnes (1977 citado en Stahl 1986) obtuvieron una densidad máxima de 5,139 org/m<sup>2</sup> para el lago Utah. La densidad de *Tanytus* para Tecuitlapa Sur es considerada muy semejante al compararse con estos cuerpos acuáticos.

### **Biomasa**

El promedio anual de la biomasa de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitlapa Sur fue de  $1.2 \pm 2.9$  gC/m<sup>2</sup>. La mayor biomasa se presentó en el mes de noviembre (7.3 gC/m<sup>2</sup>), que es el mes donde el lago se encuentra en su etapa final de desecación. Al igual que con la abundancia, las mayores biomásas se presentan en la fase de concentración, mientras que en la de dilución éstas son consideradas más bajas.

De las dos especies encontradas, *C. occidentalis* fue la que aportó mayor biomasa (95%), mientras que *Tanytus* contribuyó tan sólo con un 5%. El aporte de *C. occidentalis* fue mucho mayor al encontrado por Oseguera (1997) para Tecuitlapa Norte (26.9%) y también por el registrado por Hammer *et al.* (1990) para los lagos Redberry, Basin y Killarney

(1.4, 2.9 y 4.9%, respectivamente). El aporte de *Tanypus* fue menor que el encontrado por Stahl (11.4%) para *Tanypus stellatus* en el lago Baldwin, Illinois.

El promedio de biomasa de *C. occidentalis* fue de  $1.2 \pm 2.9 \text{ gC/m}^2$ . La biomasa para *C. occidentalis* fue aumentando a lo largo del tiempo, por lo que su mayor biomasa se presentó en el mes de noviembre ( $7.3 \text{ gC/m}^2$ ) (Fig. 13). Aunque no se encontró la etapa pupal para *C. occidentalis* se infiere que este organismo pupó justo antes de que el lago se secase totalmente ya que, como Linley y Adams (1972)

encontraron para *Culicoides mellus*, la formación de pupas y su posterior emergencia se da en respuesta al descenso en el nivel del agua. Oseguera (1997) reporta que *C. occidentalis* en el lago Tecuitlapa Norte pupa en septiembre y octubre al iniciarse el descenso paulatino en el nivel del agua. Sin embargo, también existe la posibilidad de que

el organismo no haya podido terminar su ciclo de vida quizás debido a que el cambio drástico en algunos parámetros ambientales (p.e., salinidad) en el último mes de inundación (noviembre) no se lo permitieron.

El promedio de aporte de biomasa de *Tanypus* en Tecuitlapa Sur fue de  $0.068 \pm 0.153 \text{ gC/m}^2$ . La mayor biomasa se presentó en el mes de octubre ( $0.3815 \text{ gC/m}^2$ ) (Fig. 13), ya que en este mes se

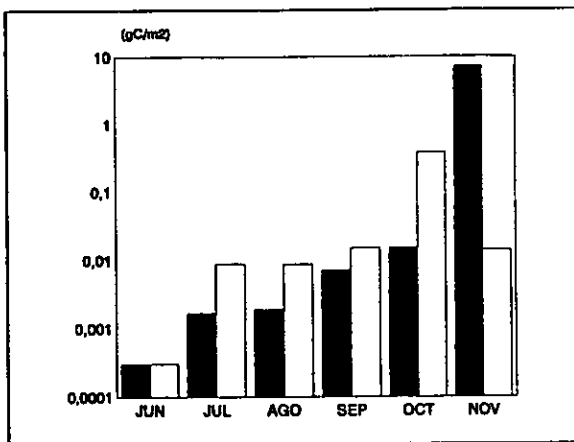


Fig. 13. Biomasa total de los macroinvertebrados bentónicos, *Culicoides occidentalis* (negro) y *Tanypus (Apelopia)* (blanco) de Tecuitlapa Sur, Puebla.

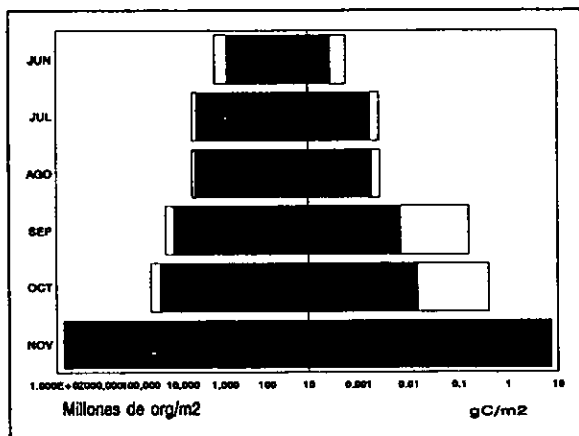


Fig. 14. Comparación de la biomasa y la densidad de *Culicoides occidentalis* (color negro) y *Tanypus (Apelopia)* (color blanco) en Tecuitlapa Sur, Puebla.

registró la máxima densidad (22,222 org/m<sup>2</sup>), además de que se presentó el último estadio larval y, por lo tanto, una mayor talla. Le sigue el mes de mes de septiembre (0.0151 gC/m<sup>2</sup>) y noviembre (0.0142 gC/m<sup>2</sup>); en éste último mes el organismo presentó su etapa pupal. Estos últimos tres meses pertenecen a la época de llenado (concentración). Los meses con menor aporte de biomasa fueron junio, julio y agosto (0.00029, 0.00088 y 0.00087 gC/m<sup>2</sup>, respectivamente), éstos corresponden a la época de llenado (dilución). Existe una relación entre el estadio de desarrollo del organismo, su talla y la época, es decir, los estadios de desarrollo iniciales (huevo y larva) se encontraron en los primeros meses, mientras que los estadios de desarrollo finales se encontraron en los últimos meses (último estadio larval y pupa).

#### Relación abundancia-biomasa

En la tabla 4 se aprecia que *C. occidentalis* presentó una densidad promedio (1,141,082 org/m<sup>2</sup>) casi ciento setenta veces mayor a la de *Tanypus* (6,782 org/m<sup>2</sup>). En cuanto al aporte de biomasa, *C. occidentalis* presentó una biomasa promedio de (1.2 gC/m<sup>2</sup>) que es casi veinte veces mayor a la de *Tanypus* (0.06 gC/m<sup>2</sup>), lo anterior se debe a que *C. occidentalis* se encontró en un número mayor que *Tanypus*. A pesar de la mayor talla de *Tanypus*, su aporte de biomasa fue insignificante comparado con la especie dominante. De la relación entre la abundancia y la biomasa (Fig. 14) es claro que *C.occidentalis* domina numéricamente y también en biomasa.

Especie		Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
<i>C. occidentalis</i>	D	1,141,082	2,765,878	6,786,857	853
	B	1.22	2.98	7.30	0.00029
<i>T. (Apelopia)</i>	D	6,782	8,309	22,222	853
	B	0.06	0.15	0.38	0.00029
TOTAL	D	1,147,864	2,774,187	6,809,079	1706
	B	1.28	3.13	7.68	0.00058

Tabla 4. Densidad (org/m<sup>2</sup>) y Biomasa (gC/m<sup>2</sup>) de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitapa Sur, Puebla. (D.E. = desviación estándar).

registró la máxima densidad (22,222 org/m<sup>2</sup>), además de que se presentó el último estadio larval y, por lo tanto, una mayor talla. Le sigue el mes de mes de septiembre (0.0151 gC/m<sup>2</sup>) y noviembre (0.0142 gC/m<sup>2</sup>); en éste último mes el organismo presentó su etapa pupal. Estos últimos tres meses pertenecen a la época de llenado (concentración). Los meses con menor aporte de biomasa fueron junio, julio y agosto (0.00029, 0.00088 y 0.00087 gC/m<sup>2</sup>, respectivamente), éstos corresponden a la época de llenado (dilución). Existe una relación entre el estadio de desarrollo del organismo, su talla y la época, es decir, los estadios de desarrollo iniciales (huevo y larva) se encontraron en los primeros meses, mientras que los estadios de desarrollo finales se encontraron en los últimos meses (último estadio larval y pupa).

#### Relación abundancia-biomasa

En la tabla 4 se aprecia que *C. occidentalis* presentó una densidad promedio (1,141,082 org/m<sup>2</sup>) casi ciento setenta veces mayor a la de *Tanypus* (6,782 org/m<sup>2</sup>). En cuanto al aporte de biomasa, *C. occidentalis* presentó una biomasa promedio de (1.2 gC/m<sup>2</sup>) que es casi veinte veces mayor a la de *Tanypus* (0.06 gC/m<sup>2</sup>), lo anterior se debe a que *C. occidentalis* se encontró en un número mayor que *Tanypus*. A pesar de la mayor talla de *Tanypus*, su aporte de biomasa fue insignificante comparado con la especie dominante. De la relación entre la abundancia y la biomasa (Fig. 14) es claro que *C.occidentalis* domina numéricamente y también en biomasa.

Especie		Promedio	D.E.	Máximo	Mínimo
<i>C. occidentalis</i>	D	1,141,082	2,765,878	6,786,857	853
	B	1.22	2.98	7.30	0.00029
<i>T. (Apelopia)</i>	D	6,782	8,309	22,222	853
	B	0.06	0.15	0.38	0.00029
TOTAL	D	1,147,864	2,774,187	6,809,079	1706
	B	1.28	3.13	7.68	0.00058

Tabla 4. Densidad (org/m<sup>2</sup>) y Biomasa (gC/m<sup>2</sup>) de los macroinvertebrados bentónicos de Tecuitapa Sur, Puebla. (D.E. = desviación estándar).

## Factores estresantes

Las interacciones entre los factores físicos y químicos como los biológicos pueden determinar la extinción o permanencia de un organismo en un lago salino (Williams, W.D. *et al.* 1990). Los parámetros químicos (periodo de inundación, salinidad, pH y oxígeno disuelto) se consideraron como los de mayor importancia de estrés para los macroinvertebrados bentónicos de este lago (Fig. 15).

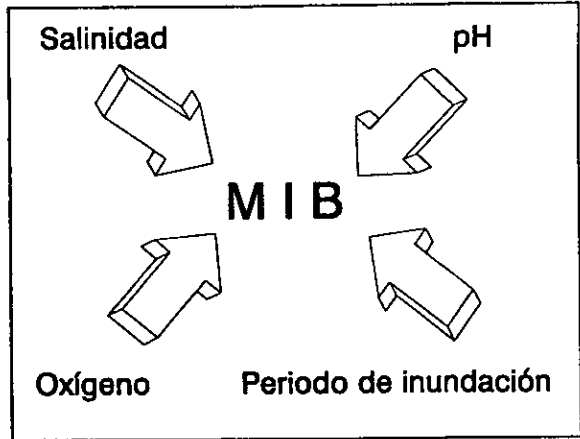


Fig. 15. Factores de estrés que interactúan sobre la comunidad de los macroinvertebrados bentónicos (MIB) de Tecuitlapa Sur, Puebla.

1.- El agua en los ambientes acuáticos es, sin duda, el factor

fundamental. En las aguas temporales donde el período de desecación es cíclico y predecible, las comunidades consisten principalmente de especies de ambientes temporales, las cuales están bien adaptadas al estrés ambiental del período de inundación (Williams, D.D. 1987). Wiggins (1980 citado en Williams, D.D. 1987) menciona que en aguas temporales de hábitats dulces en las que existe una fase seca, ésta impone condiciones ambientales fuertes en donde solamente un número limitado de especies pueden vivir. Wrubleski (1987) menciona que en condiciones de desecación hay un límite en cuanto al número y especies de macroinvertebrados que pueden sobrevivir en hábitats temporales. En forma similar, Driver (1977) observó un aumento en el número y diversidad de macroinvertebrados bentónicos con el incremento en la profundidad y permanencia del lago. También Petridis y Sinis (1995) observaron que la comunidad de macroinvertebrados declina en aguas someras (2 m) y se incrementa en aguas más profundas. Williams, D.D. (1987) menciona que quizás el parámetro que más afecta a la biota es la poca agua que exista en un cuerpo acuático. Las especies de aguas temporales pueden sobrevivir a las fases secas por medio de "estrategias de sobrevivencia" como, por ejemplo, los quironómidos tienen mecanismos como tener una larva resistente, a veces capullos de seda y/o mucosos; los mosquitos presentan huevos, larva resistente y, en algunas especies pupas (Williams, D.D. 1987). Otro factor que



posiblemente influyó en el bajo número de tanipódinos es la baja transparencia, ya que como Williams, W.D. (1985) y Hamer y Appleton (1991) mencionan, que este factor es estresante en los lagos temporales. Asimismo, Burgis y Morris (1987) mencionan que las especies que se encuentran en lagos someros con aguas turbias sólo pueden ser aquellas que puedan nadar en la capa superficial o que se encuentren en el sedimento. Tanto *C. occidentalis* como *Tanytus* se desarrollan en el fondo del lago para después emerger del agua como adultos aéreos. Por otra parte existe una relación entre la cantidad de plantas sumergidas y la abundancia de macroinvertebrados, es decir, cuando existen plantas acuáticas en la zona litoral se incrementa la diversidad y abundancia de los macroinvertebrados bentónicos. Wrubleski (1987) menciona que la diversidad y abundancia de plantas acuáticas disminuye en habitats homogéneas.

Aunado a estos factores, el tipo de sustrato es importante en la composición y abundancia de los grupos bentónicos, ya que éste juega un papel importante en la distribución de las especies (Pligin 1979).

2.- La salinidad es uno de los factores más importantes en los lagos salinos, ya que según Colburn (1988), la salinidad es uno de los factores abióticos más importantes, porque limita la diversidad específica. Williams, W.D. *et al.* (1990) mencionan que los organismos de los lagos salinos, una vez que han resuelto el problema fisiológico de osmoregulación, son capaces de ocupar un amplio rango de salinidad. Las larvas de la subfamilia Tanypodinae tolera un amplio intervalo de condiciones ambientales. Son predominantes en lagos someros (Parkin y Stahl 1981), según Hammer *et al.* (1975), *Tanytus* es común en lagos salinos. Asimismo, también *C. occidentalis* es un habitante común de ambientes altamente salinos (Tabachnik 1996) así como *C. variipennis* que se ha encontrado en salinidades de hasta 220 g/l en lagos salinos temporales (Williams, W.D. 1985). Mullens y Rodríguez (1992), McMullen (1978), Wirth y Jones (1957 citado en Tabachnick 1996) lo reportan en ambientes salinos y/o básicos.

3.- El pH es importante en los lagos salinos ya que si este es elevado (básico), sólo los organismos adaptados a un amplio rango podrán reproducirse y por lo tanto sobrevivir (Edmonson 1992 citado en Ewald *et al.* 1994, Pinder 1986). En Tecuítlapa Sur, se obtuvo un promedio de  $9.85 \pm 0.11$ , por lo que se considera que este factor influyó en la baja riqueza específica.

4.- El oxígeno disuelto es otro factor abiótico importante para los organismos, ya que las fluctuaciones en la salinidad pueden influir en la respiración del organismo, ya que menos oxígeno puede ser disuelto en aguas salinas que en aguas dulces (Williams, D.D. 1987). Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, según Cantrell (1988), reducen la movilidad de los organismos bentónicos mientras que Wrubleski (1987) menciona que interrumpen su crecimiento larval. Stahl (1986) menciona que esta especie puede tolerar una baja concentración de oxígeno disuelto sin causar una disminución numérica importante.

## CONCLUSIONES

Tecuitlapa Norte es un lago ástatico temporal somero, caracterizado por presentar un área y volumen reducidos. Este lago presenta una elevada salinidad, un pH fuertemente básico con aguas cálidas y pobremente oxigenadas.

Ambientalmente, Tecuitlapa Sur presentó dos etapas en la época de inundación: a) dilución (junio a agosto) y b) concentración (septiembre a noviembre).

La fauna macrobentónica de Tecuitlapa Sur estuvo compuesta por dos especies de dípteros: *Culicoides occidentalis* (Ceratopogonidae) y *Tanypus (Apelopia)* (Tanypodinae).

Esta riqueza específica reducida es debida, principalmente, a la salinidad, a la falta de vegetación macrofítica, al tipo de sustrato, a los cambios en el nivel del agua y, por ende, a la permanencia del agua en Tecuitlapa Sur.

*Culicoides occidentalis* fue la especie dominante, ya que se encontró en su medio ideal debido a las condiciones alcalino-sódicas presentes en Tecuitlapa Sur. *Tanypus (Apelopia)*, al parecer, no encontró las condiciones más adecuadas por lo que estuvo en menor número.

La variación temporal de la densidad de *Tanypus (Apelopia)* se asoció, principalmente, a su ciclo de vida (período de emergencia). *Tanypus (Apelopia)* presentó su temporada de emergencia en noviembre, quizás como respuesta a la disminución en el nivel del agua e incremento de la salinidad.

4.- El oxígeno disuelto es otro factor abiótico importante para los organismos, ya que las fluctuaciones en la salinidad pueden influir en la respiración del organismo, ya que menos oxígeno puede ser disuelto en aguas salinas que en aguas dulces (Williams, D.D. 1987). Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, según Cantrell (1988), reducen la movilidad de los organismos bentónicos mientras que Wrubleski (1987) menciona que interrumpen su crecimiento larval. Stahl (1986) menciona que esta especie puede tolerar una baja concentración de oxígeno disuelto sin causar una disminución numérica importante.

## CONCLUSIONES

Tecuitlapa Norte es un lago ástatico temporal somero, caracterizado por presentar un área y volumen reducidos. Este lago presenta una elevada salinidad, un pH fuertemente básico con aguas cálidas y pobremente oxigenadas.

Ambientalmente, Tecuitlapa Sur presentó dos etapas en la época de inundación: a) dilución (junio a agosto) y b) concentración (septiembre a noviembre).

La fauna macrobentónica de Tecuitlapa Sur estuvo compuesta por dos especies de dípteros: *Culicoides occidentalis* (Ceratopogonidae) y *Tanypus (Apelopia)* (Tanypodinae).

Esta riqueza específica reducida es debida, principalmente, a la salinidad, a la falta de vegetación macrofítica, al tipo de sustrato, a los cambios en el nivel del agua y, por ende, a la permanencia del agua en Tecuitlapa Sur.

*Culicoides occidentalis* fue la especie dominante, ya que se encontró en su medio ideal debido a las condiciones alcalino-sódicas presentes en Tecuitlapa Sur. *Tanypus (Apelopia)*, al parecer, no encontró las condiciones más adecuadas por lo que estuvo en menor número.

La variación temporal de la densidad de *Tanypus (Apelopia)* se asoció, principalmente, a su ciclo de vida (periodo de emergencia). *Tanypus (Apelopia)* presentó su temporada de emergencia en noviembre, quizás como respuesta a la disminución en el nivel del agua e incremento de la salinidad.

La variación temporal de la densidad para *Culicoides occidentalis* no presentó relación alguna con los parámetros ambientales, ya que ésta fue mayor conforme al tiempo. Se infiere que esta larva pupó al final del mes de noviembre antes de que el lago se secará totalmente.

La variación temporal de la biomasa para *Tanypus (Apelopia)* fue mayor en el mes de octubre ( $0.38155 \text{ gC/cm}^2$ ) y el valor más bajo en junio ( $0.00029 \text{ gC/cm}^2$ ).

La variación temporal de la biomasa para *Culicoides occidentalis* presentó una relación igual que la variación temporal de la densidad, alcanzando su mayor biomasa en noviembre ( $7.3 \text{ gC/cm}^2$ ), que es el último mes que el lago presenta agua y la menor biomasa ( $0.00029 \text{ gC/cm}^2$ ) en junio.

Tanto la densidad como la biomasa fueron mayores para *Culicoides occidentalis* en más del 90% con respecto a *Tanypus (Apelopia)*.

De los factores de estrés de mayor importancia para los macroinvertebrados bentónicos en este estudio fueron: el periodo de inundación, la elevada salinidad y pH y la baja concentración de oxígeno disuelto.

## REFERENCIAS

- Alcocer, J. 1995. Análisis holístico de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos litorales de seis lagos-cráter con un gradiente de salinidad. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 106pp.
- Alcocer, J. y E. Escobar. 1993. Athalassohalinity. (On the concept of salinity in inland waters). *Hidrobiológica* 3(1-2): 81-88.
- Alcocer, J. y W.D. Williams. 1993. Lagos salinos mexicanos. pp 849-865. In: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds). *Biodiversidad marina y costera de México*. Comisión Nacional de Biodiversidad y CIQRO. México.
- Alcocer, J., A. Lugo, S. Estrada, M. Ubeda, y E. Escobar. 1993. La macrofauna bentónica de los axalapazcos mexicanos. *Actas VI Congreso Español de Limnología* 33: 409-415.
- Alcocer, J., A. Lugo, E. Escobar y M. Sánchez. 1997. The macrobenthic fauna of a former perennial and now episodically filled Mexican saline lake. *International Journal of Salt Lake Research* 5: 1-14.
- Alcocer, J., A. Lugo, M-R. Sánchez, M. Chávez y E. Escobar. 1998. Threats to the saline lakes of the Oriental Basin, Mexico, by human activities. *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie* 26: 1383-1386.
- Alvarez, J. 1950. Contribución al conocimiento de los peces de la Región de los Llanos, estado de Puebla (Méx.). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 6(1-4): 81-107.
- APHA, AWWA y WPCF. 1985. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Nueva York. 1193pp.
- Arredondo-Figueroa, J.L., L.E. Borrego-Enríquez, R.M. Castillo-Domínguez, y M.A. Valladolid-Laredo. 1983. Batimetría y morfometría de los lagos "maars" de la cuenca d e Oriental, Puebla, México. *Biótica* 8(1):37-47.
- Bass, D. 1986. Larval Chironomidae (Diptera) of the Big Thicket streams. *Hydrobiologia*. 135: 271-285.
- Bass, D. 1992. Colonization and succession of benthic macroinvertebrates in Arcadia Lake, a South-Central USA reservoir. *Hydrobiologia*. 242: 123-131.
- Beattie, D.M. 1982. Distribution and production of the larval chironomid populations in Tjeukemeer. *Hydrobiologia* 95: 287-306.
- Bradt, P.T. y M.B. Berg. 1987. Macrozoobenthos of three Pennsylvania lakes: responses to acidification. *Hydrobiologia* 150: 63-74.

- Burgis, M.J. y P. Morris. 1987. *The natural history of lakes*. Cambridge University Press. Cambridge. 218pp.
- Cantrell, M.A. 1988. Effect of lake level fluctuations on the habitats of benthic invertebrates in a shallow tropical lake. *Hydrobiologia* 158: 125-131.
- Colburn, A.E. 1988. Factors influencing species diversity in saline waters of Death Valley, USA. *Hydrobiologia* 158: 215-226.
- Cole, G.A. 1979. *Textbook of Limnology*. Mosby. San Luis. 426pp.
- Comín, F.A. y W.D. Williams. 1994. Parched continents: our common future?. pp.473. In: R., Margalef (ed.) *Limnology now: a paradigm of planetary problems*. Elsevier, Amsterdam.
- Cowell, B.C. y D.S. Vodopich. 1981. Distribution and seasonal abundance of benthic macroinvertebrates in a subtropical Florida lake. *Hydrobiologia* 78: 97-105.
- De Deckker, P y W.D. Williams. 1986. *Limnology in Australia*. CISRO/Junk. Melbourne. 671pp.
- Dejoux, C. 1993. Benthic invertebrates of some saline lakes of the Sud Lipez region, Bolivia. *Hydrobiologia* 267: 257- 267.
- Di Giovanni, M.V., E. Goretti y V. Tamanti. 1996. Macrobenthos in Montedoglio Reservoir, central Italy. *Hydrobiologia*. 321: 17-28.
- Dougherty, J.E. y M.D. Morgan. 1991. Benthic community response (primarily Chironomidae) to nutrient enrichment and alkalization in shallow, soft water humic lakes. *Hydrobiologia* 215: 73-82.
- Driver, E.A. 1977. Chironomid communities in small prairie ponds: some characteristics and controls. *Freshwater Biology* 7: 121-133.
- Edmondson, W.T. 1959. *Freshwater biology*. John Wiley & Sons. Nueva York. 1248pp.
- Egorov, A.N. 1993. Mongolian salt lakes: some features of their geography thermal patterns, chemistry and biology. *Hidrobiologia* 267: 13-21.
- Epler, J.H. 1992. *Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of Florida*. State of Florida Department of Environmental Regulation. Orlando. s/pp.
- Esteves, F.A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Interciencia/FINEP. Rio de Janeiro. 575pp.
- Ewald, U., E. Seele y J. Alcocer. 1994. Tequezquite -A story with Loose ends (the occurrence of natural soda in Mexico). *Journal of Salt-Hystory* 2: 71-100.

- 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. Génesis de los lagos-cráter de la cuenca de Oriental. *Colección Científica Prehistoria* 98. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 57pp.
- Gauch, H.G. 1982. *Multivariate analysis in community ecology*. Cambridge University Press. Cambridge. 298pp.
- Hamer, M.L. y C.C. Appleton. 1991. Physical and chemical characteristics and phyllopod fauna of temporary pools in north-eastern Natal, Republic of South Africa. *Hydrobiologia*. 212: 95-104.
- Hammer, U.T. 1986. *Saline lake ecosystems of the world*. Junk. Dordrecht. 616pp.
- Hammer, U.T, R.C. Haynes, J.M. Heseltine y S.M. Swanson. 1975. The saline lakes of Saskatchewan. *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie* 19: 589-598.
- 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.
- Hayford, B.L., J.E. Sublette y S.J. Herrmann. 1995. Distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) and ceratopogonids (Diptera: Ceratopogonidae) along a Colorado thermal spring effluent. *Journal of the Kansas Entomological Society* 68(2): 77-92.
- Herbst, D.B. 1988. Comparative population ecology of *Ephydra hians* Say (Diptera: Ephydriidae) at Mono Lake (California) and Abert Lake (Oregon). *Hydrobiologia* 158: 145-166.
- Hynes, H. 1974. *The biology of polluted waters*. Univ. Toronto Press. Ontario. 199pp.
- INEGI. 1984a. Carta Topográfica. E14B45. Veracruz. SPP. 1:50 000.
- INEGI. 1984b. Carta Geológica. E14B45. Veracruz. SPP. 1:250 000.
- Jackson, M.L. 1976. *Análisis químicos del suelo*. Omega. España. 662pp.
- Lind, O.T. 1979. *Handbook of common methods in limnology*. Mosby. San Luis. 199pp.
- Linley, J.R. y G.M. Adams. 1972. Ecology and behaviour of immature *Culicoides mellus* (Coq.) (Dipt., Ceratopogonidae). *Bulletin of Entomological Research* 62: 113-127.
- Mason, W.T. Jr. 1973. *An introduction to the identification of chironomid larvae*. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati. 90pp.

- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010pp.
- McMullen, R.D. 1978. *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) of the south Okanagan Area of British Columbia. *The Canadian Entomologist* 110(2): 1053-1057.
- Millar, C.E., L.M. Turk. y H.D. Foth. 1980. *Fundamentos de la ciencia del suelo*. CECSA. México. 527pp.
- Mullens, B. A. y J.L. Rodríguez. 1992. Survival and vertical distribution of larvae of *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae) in drying mud habitats. *Journal of Medical Entomology* 29(5): 745-749.
- Odum, E. 1984. *Ecología*. Interamericana. México. 640pp.
- Olivier, S.R. 1971. *Elementos de ecología*. Hemisferio Sur. Argentina. 174pp.
- Ortiz, V.B. y C. Ortiz. 1980. *Edafología*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 331pp.
- Oseguera, L.A. 1997. Ecología de los macroinvertebrados bentónicos de un lago salino sujeto a fluctuaciones ambientales amplias. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM. México. 43pp.
- Parkin, R.B. y J.B. Stahl. 1981. Chironomidae (Diptera) of Baldwin, Illinois, a cooling reservoir. *Hydrobiologia* 76: 119-128.
- Pennak, W.R. 1953. *Fresh-water invertebrates of the United States*. Ronald Press. Nueva York. 769pp.
- Petridis, D. y A. Sinis. 1995. Benthos of Lake Mikri Prespa (North Greece). *Hydrobiologia* 304: 185-196.
- Petrovic, G. 1980. Physico-chemical aspects of alkaline ponds in Yugoslavia. *In: Shallow Lakes*. Contributions to their limnology.
- Pinder, L.C.V. 1986. Biology of freshwater Chironomidae. *Annual Review Entomology* 31: 1-23.
- Pligin, Yu. V. 1979. Ecological groups of macrozoobenthos in the shallows of the Emenchung reservoir. *Hydrobiological Journal* 15(1): 22-25.
- Ramírez-García, P. y A. Novelo. 1984. La vegetación acuática vascular de seis lagos-cráter del estado de Puebla, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 46: 75-88.



- Ramírez-García, P. y F. Vázquez-Gutiérrez. 1989. Contribución al estudio limnobotánico de la zona litoral de seis lagos cráter del estado de Puebla. *Anuario del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología Universidad Nacional Autónoma de México* 16(1): 1-16.
- Reid, G.K. y R.D. Wood. 1976. *Ecology of inland waters and estuaries*. D. Van Nostrand Co. Nueva York. 485pp.
- Reyes, C.M. 1979. Geología de la cuenca de Oriental. Estados de Puebla, Veracruz y Tlaxcala. *Colección Científica Prehistoria 71*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. México. 50pp.
- Ruiz, B.A. y E.T. Ortega. 1958. *Prácticas de laboratorio de química de suelos*. Universidad Autónoma de Chapingo. 76 pp.
- Ruttner, F. 1975. *Fundamentals of limnology*. University of Toronto Press. Toronto. 307pp.
- Stahl, J.B. 1986. A six-year study of abundance and voltinism of Chironomidae (Diptera) in an Illinois cooling reservoir. *Hydrobiologia* 134: 67-79.
- Sokolova, N. Yu. y E.I. Izvekova. 1986. Benthos of Lake Glubokoe. *Hydrobiologia* 141: 89-93.
- Tabachnick, W.J. 1996. *Culicoides variipennis* and bluetongue-virus epidemiology in the United States. *Annual Review Entomology* 41: 23-43.
- Tamayo, V.M. 1993. Contribución al conocimiento de la comunidad bentónica del lago Nabor Carrillo Texcoco. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM. México. 60pp.
- Timms, B.V. 1981. Animal communities in three Victorian lakes of differing salinity. *Hydrobiologia* 81: 181-194.
- Timms, B.V. 1982. A study of benthic communities of twenty lakes in the South Island, New Zealand. *Freshwater Biology* 12: 123-138.
- Timms, B.V. 1983. A study of benthic communities in some shallow saline lakes of western Victoria, Australia. *Hydrobiologia* 105: 165-177.
- Timms, B.V. 1987. Limnology of lake Buchanan, a tropical saline lake, and associated pools, of North Queensland. *Journal of Marine Freshwater Research Australia* 38: 877-884.
- Walker, I.R., C.H. Fernando y C.G. Paterson. 1984. The chironomid fauna of four shallow, humic lakes and their representation by subfossil assemblages in the surficial sediments. *Hydrobiologia* 112: 61-67.
- Weber, C.I. (ed.). 1973. *Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface waters and effluents*. Macroinvertebrates. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati. 38pp.

- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. Saunder. Florida. 767pp.
- Wetzel, R.G. y R.A. Hough. 1973. Productivity and the role of aquatic macrophytes in lakes. An assessment. *Hydrobiologia* 20: 9-19.
- Wiederholm, T. 1980. Use of bentos in lake monitoring. *Journal WPCF* 52(3): 537-547.
- Williams, D.D. 1983. The natural history of a nearctic temporary pond in Ontario with remarks on continental variation in such habitats. *Internationalis Revue gesamtent Hydrobiologie* 68(2): 239-253.
- Williams, D.D. 1987. *The ecology of temporary waters*. Timber Press. Oregon. 205 pp.
- Williams, D.D. 1996. Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. *Journal the North American Benthological Society* 15(4): 634-650.
- Williams, D.D. y H.B.N. Hynes. 1976. The ecology of temporary streams. I. The faunas of two Canadian streams. *Internationalis Revue gesamtent Hydrobiologie* 61(6): 761-787.
- Williams, D.D. y H.B.N. Hynes. 1977. The ecology of temporary streams. II. General remarks on temporary streams. *Internationalis Revue gesamtent Hydrobiologie* 62(1): 53-61.
- Williams, W.D. 1972. The uniqueness of salt lake ecosystems. pp. 349-361. In: Z. Kajak y A. Hillbricht-Ilkowska (eds.). *Productivity problems in freshwaters*. IBP-UNESCO. Polonia.
- Williams, W.D. 1981. The limnology of saline lakes in Western Victoria: a review of some recent studies. *Hydrobiologia*. 82: 233-259.
- Williams, W.D. 1985. Biotic adaptations in temporary lentic water, with special reference to those in semi-arid and arid regions. *Hydrobiologia*. 125: 85-110.
- Williams, W.D. y M.J. Kokkinn. 1988. The biogeographical affinities of the fauna in episodically filled salt lakes: A study of Lake Eyre South, Australia. *Hydrobiologia* 158: 227-236.
- 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.
- Wollheim, W.M. y J.R. Lovvorn. 1995. Salinity effects on macroinvertebrate assemblages and the waterbird food webs in shallow lakes of the Wyoming High Plains. *Hydrobiologia* 310: 207-223.
- Wrubleski, D.A. 1987. Chironomidae (Diptera) of peatlands and marshes in Canada. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 140: 141-161.

### ANEXO 1

No. COMPONENTE	VARIANZA (%)	% ACUMULATIVO	PESO DE COMPONENTE
1	99.52237	99.52237	8.55317
2	0.36331	99.88568	0.03122
3	0.09275	99.97843	$7.9147 \times 10^{-3}$
4	0.01887	99.99730	$1.6216 \times 10^{-3}$
5	0.00270	100	$2.3196 \times 10^{-3}$
6	0.00000	100	$4.7907 \times 10^{-3}$

Anexo 1. Ejes valores del análisis de Componentes Principales ambiental de Tecuitapa Sur, Puebla.