



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES IZTACALA

400282  61060

TITULO

Estudio de la calidad del agua en los ríos Apatlaco
Cuautla y Yautepec, Edo. de Morelos, utilizando
indicadores planctónicos de contaminación.

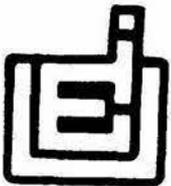
T E S I S

Que para obtener el título de:

B I O L O G O

presenta

JOSEFINA SOLIS CRUZ



BO 1215/96
E^o. 3

Los Reyes Iztacala.

Mayo 1996



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

DEDICATORIAS

A tí Señor: Por la alegría que me das de vivir día con día.

A mis padres:

Roberto, Elena, Hilda y Dionisio.

Con amor y respeto. Por darme
siempre su cariño y confianza.

Agradeciendoles eternamente
la oportunidad que me dieron
de superarme.

A la pequeña Tatiana:

Porque tu corta existencia
me hizo valorar aún mas la vida.

"Siempre viviras en mi corazón"
(QPD).

A mis hermanos.

tíos,

primas,

sobrinos y

amigos,

por el apoyo que me han

dado y recordando siempre que

"LA UNION HACE LA FUERZA"

Con todo mi amor a mi esposo José:

A quién tengo gran admiración y me
siento orgullosa de tener a mi lado.

Gracias por el amor y apoyo que siempre
me has brindado. Espero nunca defraudarte.

A mi hijo Egil Iván

Porque tu existencia, es una bendición
de dios y una motivación más a mi vida.
Espero que sea una aliciente para tu
realización.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el P. de Dr. Jesús García Cabrera, por creer en mí, ser un ejemplo de superación y hacerme sentir que todo se puede lograr esforzándose.

A la P. de M. en C. Guadalupe Oliva Martínez, por su paciente revisión y sugerencias. Por abrirme las puertas de su laboratorio y ayudarme en la identificación de las especies que fueron de gran utilidad en este trabajo. Por ser tan optimista y contagiar su alegría. ¡Nunca cambie!

A la P. de Dr. Gloria Vilaclara Fatjo, por el análisis crítico y acertados comentarios a este estudio. Así como por sus enseñanzas y consejos que ayudaran a mi realización futura.

Al P. de M. en C. Mario Chávez Arteaga, por su paciencia en la revisión, sus observaciones, enseñanzas y atinados comentarios que hicieron enriquecer más el presente trabajo.

Al Biol. Salvador Rodríguez Zaragóza, por su revisión y acertadas sugerencias.

Con especial agradecimiento al P. de Dr. José López Collado por la realización del programa de cómputo, usado en este estudio, para calcular los índices de diversidad, el cual fue de gran utilidad para agilizar el análisis.

A mis amigos: el P. de Dr. Joel Lara Reyna y a la Biol. Laura B. Rivera Rodríguez, por toda su ayuda y apoyo que me brindaron para la realización de este trabajo y especialmente por esa bonita amistad que siempre me han brindado en todo momento. Espero nunca defraudarlos.

A mis amigos del laboratorio en donde se realizó este estudio: la Biol. Isabel Alba, el Biol. Ernesto Uribe, el P. de M. en C. Rúben Huerto, Jaime y Daniel, gracias por su ayuda, su amistad y por todos los momentos que pasamos juntos.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), por permitirme la realización de este trabajo en su Coordinación. Así como por haberme brindado una beca económica.

A los profesores de la ENEP Iztacala, por todas sus enseñanzas.

P R E F A C I O

EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZO EN LAS INSTALACIONES DE LA COORDINACION DE TECNOLOGIA HIDRAULICA URBANO-INDUSTRIAL PERTENECIENTE AL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA (IMTA) DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA (CNA).

BAJO EL ASESORAMIENTO DE EL P. DE DR. JESUS GARCIA CABRERA.

CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
PREFACIO.....	V
INDICE DE CUADROS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XII
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
3. OBJETIVOS.....	9
4. AREA DE ESTUDIO.....	10
4.1 Aspectos socioeconómicos.....	10
4.2 Localización geográfica.....	11
4.3 Fisiografía.....	11
4.4 Vegetación.....	11
4.5 Clima.....	12
4.6 Hidrografía.....	12
4.7 Localización y descripción de las estaciones.....	16
5. METODOLOGIA.....	21
5.1 Análisis fisicoquímicos.....	21
5.2 Análisis biológico.....	22
5.2.1 Análisis cualitativo de plancton.....	22
5.2.2 Análisis cuantitativo de plancton.....	22
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
6.1 Río Apatlaco.....	26
6.1.1 Análisis fisicoquímico.....	26
6.1.2 Análisis biológico.....	37
6.2 Río Cuautla.....	53
6.2.1 Análisis fisicoquímico.....	53
6.2.2 Análisis biológico.....	60
6.3 Río Yautepec.....	76
6.3.1 Análisis fisicoquímico.....	76
6.3.2 Análisis biológico.....	81
6.4 Análisis general de los tres ríos.....	97
7. CONCLUSIONES.....	102
8. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.....	103
9. BIBLIOGRAFIA.....	105

INDICE DE CUADROS

Cuadro No:	Página:
1.- Calidad requerida para la protección de la vida acuática en agua dulce	27
2.- Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Apatlaco, Edo de Morelos, 1990	28
3.- Resultados promedio y desviación estándar de fisicoquímicos determinados en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos, 1990	31
4.- Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos identificados en el río Apatlaco, Edo de Morelos, 1990	38
5.- Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos identificados en el río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	39
6.- Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	43
7.- Resultados del índice TU en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	43
8.- Resultados del Índice Secuencial de Comparacion (ISC), obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	47
9.- Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos, 1990	49
10.- Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	50
11.- Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el período de muestreo en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990	51
12.- Especies de algas identificadas en el río Apatlaco, asociadas a diferentes contaminantes según Loez y Salibián (1990)	52
13.- Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Cuautla, Edo de Morelos, (1990)	54
14.- Resultados promedio y desviación estandar de fisicoquímicos determinados en las estaciones del río Cuautla, Edo de Morelos, 1990	56

Cuadro No.**Página:**

15 - Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos identificados en el río Cuautla, Edo de Morelos, 1990	63
16.- Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos identificados en el río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	64
17.- Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	67
18 - Resultados del índice TU en las estaciones del río Cuautla, Edo de Morelos, 1990.....	67
19.- Resultados del Índice Secuencial de Comparacion (ISC), obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	70
20.- Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	73
21 - Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	74
22.- Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el período de muestreo en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990...75	
23 - Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Yautepec, Edo de Morelos, 1990.....	77
24.- Resultados promedio y desviación estándar de fisicoquímicos determinados en las estaciones del río Yautepec, Edo de Morelos, 1990.....	79
25.- Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos identificados en el río Yautepec, Edo de Morelos, 1990.....	83
26 - Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos identificados en el río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	84
27.- Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	89
28.- Resultados del índice TU en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	89

Cuadro No:**Página:**

29 - Resultados del Índice Secuencial de Comparación (ISC), obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990	92
30 - Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	94
31.- Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	95
32 - Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el período de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	96
33.- Clasificación taxonómica total de organismos fitoplanctónicos identificados en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	99
34 - Clasificación taxonómica total de organismos zooplanctónicos encontrados en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.	100

INDICE DE FIGURAS

Figura No:	Página:
1a. Región Hidrológica No.18 (parcial) Cuenca del río Amacuzac, Morelos.....	13
1b. Cuenca del río Amacuzac.....	13
2. Principales ríos en la Cuenca del Alto Amacuzac.....	14
3. Localización de las estaciones de muestreo en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, Edo. de Morelos.....	17
4. Resultados de temperatura ambiente, del agua, pH y oxígeno disuelto en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	29
5. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	32
6. Resultados de conductividad, alcalinidad y dureza en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	35
7. Resultados de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales, en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	36
8. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	41
9. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	42
10. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	44
11. Valor acumulado del índice TU en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos, 1990.....	46
12. Resultados promedio del Índice Secuencial de Comparación (ISC), las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.....	48
13. Resultados de temperatura ambiente, del agua, pH y oxígeno disuelto en la estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	55
14. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	57

Figura No.	Página:
15. Resultados de conductividad, alcalinidad y dureza en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	59
16. Resultados de sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos totales, en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos.....	61
17. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	65
18. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos 1990.....	66
19. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	68
20. Valor acumulado del índice TU en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990.....	69
21. Resultados promedio del Índice Secuencial de Comparación (ISC), en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos 1990.....	71
22. Resultados de temperatura ambiente, del agua, pH y oxígeno disuelto en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	78
23. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	80
24. Resultados de conductividad, alcalinidad y dureza en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	82
25. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	87
26. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	88
27. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	90
28. Valor acumulado del índice TU en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	91
29. Resultados promedio del Índice Secuencial de Comparación (ISC), en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.....	93

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua en catorce estaciones de recolecta, comprendiendo un periodo de seis meses, desde abril a septiembre de 1990, en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yauatepec, ubicados en el Estado de Morelos. Se utilizó la comunidad planctónica como indicadora de contaminación, con base en su evaluación cualitativa, cuantitativa y complementada con el análisis y evaluación de parámetros fisicoquímicos, se determinó dicha calidad.

Los resultados fisicoquímicos en general indican una buena calidad. Los valores promedio encontrados fueron: para temperatura del agua entre 22 y 30° C. El pH es básico, esta entre 7.3 y 8.2. El oxígeno disuelto se encontró entre 2.8 y 6.8 mg/mL. La conductividad presentó valores entre 370 y 1825 μ hmhos/cm. La alcalinidad estuvo entre 95 y 423 mg/mL. Los sólidos suspendidos oscilaron entre 10 y 78 mg/mL. Los sólidos disueltos estuvieron entre 315 y 979 mg/mL y los totales entre 371 y 1017 mg/mL. En general se encontraron dentro del límite permisible a excepción de la dureza la cual en promedio se encontró entre 122 y 716 mg/mL, clasificándose según Arrignon (1979) como aguas incrustantes (con frecuencia magnésicas), que según el autor se localizan en aguas contaminadas.

En los resultados biológicos, se observó, que la comunidad ha disminuido de acuerdo a estudios anteriores, en estos cuerpos de agua. En general, los grupos más frecuentes fueron: Chromophyta, Chlorophyta y Protozoa. Las poblaciones para fitoplancton a lo largo del muestreo fueron distintas según la prueba de Z, mientras que para zooplancton fueron iguales. En general, se presenta una contaminación de tipo orgánico. Las especies identificadas en el río Apatlaco fueron: *Anabaena sp.*, *Oscillatoria tenuis*, *Spirulina major*, *Navicula cryptocephala*, *Synedra ulna*, *Euglena acus* y *Scenedesmus quadricauda*, las cuales indican el tipo de contaminación anterior.

1. INTRODUCCION

El agua es el componente natural más importante en la tierra, ya que en cualquiera de sus formas es esencial para el mantenimiento de la vida. Sin embargo, a pesar de su importancia, el hombre ha empezado a afectarla por un fenómeno conocido como contaminación.

Cualquier alteración de la calidad física, química o biológica del agua que provoque un efecto inaceptable de su utilidad o de su valor ambiental es conocido como contaminación y un contaminante es el factor o la sustancia que provoca dicha alteración (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. SARH, 1983).

El progreso industrial, la explosión demográfica y los escurrimientos de agua en terrenos rociados con plaguicidas y fertilizantes han ocasionado el aumento de la contaminación y una paulatina alteración del medio ambiente, amenazando con la posible desaparición de algunas especies, alterando consecuentemente y quizás de manera irreversible los sistemas ecológicos (SARH, s/f). Por lo anterior, es necesario realizar estudios enfocados a evaluar la calidad del agua, la cual se define como la condición analítica cualitativa y cuantitativa en que se encuentra la misma en determinado momento para ser usada con un fin específico. Estos proyectos deben tender a prevenir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua del país, controlar las descargas de aguas residuales y, por lo tanto, de los daños que causen, además de tener un control en su calidad de acuerdo al uso para el que se destine y mantener un equilibrio ecológico (SARH, 1983).

En aguas contaminadas, es posible evaluar el grado de la contaminación con organismos indicadores. Estos organismos pueden servir como detectores de condiciones ambientales. Al estudiar la contaminación en cursos de agua se ha encontrado que una disminución en el número de especies (diversidad) a menudo

indica contaminación, antes de que el número total de individuos o la productividad sea afectada en una cantidad mensurable (Odum, 1983).

Se reconoce como especie indicadora aquella cuya presencia en un ecosistema denote las características particulares del medio, que en algunas ocasiones son difíciles de determinar por otros métodos. Para que los organismos sean utilizados como indicadores biológicos de contaminación en agua, deben presentar características particulares que permitan interpretar de manera confiable los resultados que de su estudio se obtengan (SARH, 1983). Estas son:

- Deben ser abundantes en sus hábitats preferidos.
- Exhibir aproximadamente el mismo grado de tolerancia a un fenómeno particular o ser indicativos de las mismas condiciones dentro de su ambiente.
- Estar asociados con una cierta calidad del agua.
- Deben ser manejados con facilidad.
- Presentar un período de vida relativamente largo, el cual permita estudiar los efectos en los organismos.
- Que tengan una reproducción rápida y elevada.
- Tener un mecanismo de dispersión eficiente, asegurando así una inoculación y repoblación rápida, y
- Presentar un ámbito de tolerancia limitado para ciertos agentes (esteno).

Para describir la calidad del agua, se puede utilizar la comunidad planctónica como indicador biológico, debido a su ciclo de vida corto y a su rápida respuesta a los cambios ambientales. Esta comunidad está formada por fitoplancton y zooplancton, quienes usualmente se encuentran flotando en el agua, pudiendo ser inmóviles o con una movilidad tan insuficiente que no pueden ir en contra de la corriente.

El fitoplancton está constituido por algas, de las cuales las más características de agua dulce son: Phyrrophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Chlorophyta y Cyanophyta. El zooplancton de agua dulce está formado generalmente por protozoarios (con tres clases típicas de vida libre: Mastigophora, Rhizopoda y Ciliata), rotíferos (géneros

más comunes: *Keratella*, *Brachionus*, *Rotaria*, *Filinia*, *Conochilus* y *Lecane*), artrópodos (grupos más sobresalientes: Cladóceros y Copépodos), larvas de dípteros (género *Chaoborus* principalmente) y algunos organismos ocasionales en el plancton (*Hydra*, Nemátodos y Anostracos) (Rossell, 1982 ; González, 1988).

Dadas estas características, el presente estudio tuvo como objetivo utilizar la comunidad planctónica para determinar la calidad del agua aplicando análisis cuantitativos y cualitativos que ayudaron a establecer dicha calidad, respaldada por la determinación del cuadro ambiental fisicoquímico.

2. ANTECEDENTES

A medida que el progreso industrial y la población humana han aumentado, la cantidad de desechos agrícolas, domésticos, ganaderos e industriales también se ha incrementado en los cuerpos de aguas superficiales y algunas aguas subterráneas. La calidad del agua afecta la abundancia, composición, diversidad, productividad, condición fisiológica y la estabilidad de los organismos acuáticos. Por lo tanto, una expresión de la salud y naturaleza de las comunidades acuáticas es una expresión de la calidad del agua.

Algunos métodos biológicos para medir esta calidad incluyen el muestreo, la identificación de organismos acuáticos, conteo, mediciones de biomasa, bioensayos, bioacumulación de los contaminantes y el proceso e interpretación de los datos biológicos (Rossell, 1982).

Los organismos vivos constituyen verdaderos elementos integradores de la calidad del agua, a diferencia de los análisis fisicoquímicos que son más precisos en valor absoluto, pero no son significativos sino en el momento y el lugar de toma de la muestra (puntuales).

James (1979) reporta que la contaminación es un fenómeno biológico que debe medirse con esta base. Sugiere la utilización de indicadores biológicos ya que éstos muestran el grado de desequilibrio causado al ecosistema, mientras que los métodos químicos solamente miden la concentración de los contaminantes responsables. Así mismo, otros autores señalan que la clase y variedad de organismos presentes en un río son a menudo indicadores más sensitivos de la contaminación que los métodos físicos y químicos. El plancton se ha utilizado como indicador de la calidad del agua, por su ciclo de vida corto, responde rápidamente a los cambios ambientales, por su tamaño pequeño y su gran número. (SARH, 1981).

Algunos de los trabajos en donde se ha empleado con éxito a esta comunidad como indicadora de contaminación, son los siguientes: Villegas y De Giner (1972), Patrick (1973), Boyle (1984), Trainor (1984), García, (1985,1991), SARH, (1989), Guzkowska y Gasse (1990), Loez y Salibián (1990) y Vázquez (1991), entre otros.

La cuenca del río Amacuzac, en el estado de Morelos, representa aproximadamente el 85% de la superficie estatal y tiene el mayor índice de contaminación. Las principales fuentes de contaminación industrial en el estado son : Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC), el ingenio Emiliano Zapata y la tenería Morelos.

Para considerar el orden de importancia de la contaminación, se han realizado estudios de la calidad del agua con el fin de detectar las principales fuentes contaminantes. Las investigaciones se iniciaron en la parte alta de la cuenca del río Amacuzac. Se estudiaron las corrientes de los ríos Apatlaco, Tetlama, Yautepec, Cuautla y Amacuzac, llegando a la conclusión de que el río Amacuzac se encuentra completamente exento de oxígeno debido a las descargas del ingenio Emiliano Zapata. En forma particular, el río Apatlaco recibe la afluencia de las barrancas de Puente Blanco, Rastro Municipal y la Gachupina que llevan las descargas de la zona industrial de CIVAC. Esta zona industrial transporta sus desechos líquidos por medio de tres colectores, dos de los cuales van a la barranca de Puente Blanco y el tercero a la Gachupina, que se une a las aguas residuales municipales de la población de Tejalpa. El agua colectada por dichas barrancas se utiliza con fines de riego, produciendo efectos nocivos en algunas zonas.

Se ha observado que el rendimiento de los cultivos regados con esas aguas ha disminuido en un 20% aproximadamente. Además, debido a la descomposición anaeróbica en algunas zonas, se producen olores desagradables (SARH, 1972).

Otra investigación hecha por la misma Secretaría (1973) consideró la determinación

de la calidad del agua del río Apatlaco, del manantial San Gaspar, del lago de Tequesquitengo, de las descargas residuales de CIVAC, de la tenería Morelos, del ingenio Emiliano Zapata y del municipio de Zacatepec. Se concluyó que el río Apatlaco se encuentra exento de oxígeno entre el área comprendida en los poblados de Zacatepec y Jojutla, hasta la unión con el río Amacuzac. Las principales fuentes de contaminación son las descargas municipales de Zacatepec, Jojutla de Juárez y las industriales del ingenio Emiliano Zapata. Las aguas residuales de este ingenio, las de la tenería Morelos y de CIVAC, han sobrepasado los límites máximos de tolerancia, las cuales si fueran tratadas debidamente se podrían aprovechar para uso agrícola o como fuente de abastecimiento industrial y podrían descargarse en cuerpos receptores sin causar contaminación. Haciendo pruebas de bioensayos con peces, se ha determinado que la tenería Morelos es la que causa daños graves, ya que en concentraciones mayores de un 10% en volumen, reduce el oxígeno disuelto provocando la muerte de los peces.

García (1985) realizó un estudio en la cuenca del Alto Amacuzac, utilizando el plancton como indicador de contaminación. Menciona que la contaminación orgánica tiene predominancia en las 10 estaciones estudiadas, siendo peligrosa para la salud humana, ya que presenta un alto índice de bacterias coliformes fecales presentes en los diferentes ríos. Detectó también contaminación industrial sobre el río Apatlaco, causada por la descarga del ingenio Emiliano Zapata y en el río Cuautla debida a la tenería Morelos. En general, la cuenca se dividió en 3 zonas de contaminación: 1) Aguas ligeramente contaminadas, que incluyen los ríos Amacuzac y Cuautla en su tramo sur, en donde existe autodepuración en las corrientes, lo que disminuye el grado de contaminación que sufre en sus partes altas, 2) Aguas medianamente contaminadas, en la zona central de la cuenca y que comprende a los ríos Apatlaco y Yautepec, 3) Aguas fuertemente contaminadas, que comprende un tramo del río Cuautla, cerca de la descarga de la tenería Morelos. El mismo investigador propone la asociación autótrofos (diatomeas de los géneros *Navicula* y *Nitzschia*) heterótrofos (protozoarios

de los géneros *Centropyxis* y *Prorodon*) como indicadores biológicos de contaminación en esta cuenca.

En otro estudio realizado por Cubillas *et al.* (1986) se abordó el problema de la zona fuertemente contaminada del río Cuautla. Establecieron 6 estaciones de muestreo a lo largo de 21 km río abajo a partir del resurgimiento de dicho río en los manantiales "Los Sabinos", localizados en la ciudad de Cuautla; se hicieron tanto análisis fisicoquímicos como biológicos del agua. Estos últimos abarcaron plancton, bentos y necton, se realizaron además pruebas de bioensayos con *Oreochromis urolepis hornorum* (mojarra africana) en la descarga de la Tenería Morelos. Se llegó a la conclusión que la contaminación orgánica que predomina en el río Cuautla es originada por los habitantes de la zona y por la Tenería Morelos.

Otro estudio realizado en la cuenca del Alto Amacuzac efectuado por la SARH (1989), comprendió la determinación de la calidad del agua a través de las comunidades de organismos planctónicos y bentónicos en 14 estaciones, en los ríos: Apatlaco, Cuautla y Yautepec. Dentro de la comunidad planctónica los géneros más abundantes encontrados fueron: *Synedra*, *Navicula*, *Oscillatoria*, *Nitzschia*, *Anabaena*, *Melosira*, *Sunrella*, *Arcella*, *Epistylis* y *Brachionus*. Se concluyó que estos ríos se encuentran en condiciones de contaminación, en fase mesosaprobia.

Además, detectaron la presencia de géneros indicadores de contaminación por metales pesados de los cuales se mencionan *Coelastrum*, *Ankistrodesmus*, *Cosmarium*, *Cymbella*, *Melosira*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pediastrum*, *Spirogyra*, *Closterium*, *Euglena*, *Microspora* y *Chlorococcus*, los cuales denotan la existencia de metales (Zn y Cr), pero no su concentración. Según los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión que el plomo es el principal tóxico que puede causar severos problemas a la biota de los ríos Apatlaco y Cuautla, pues ocurre un aporte de este metal que asciende a 15.16 kg/día en el río Cuautla y 1.50 kg/día en el Apatlaco. Además, concluyeron que el utilizar indicadores biológicos de contaminación (plancton y bentos) sirvió para determinar

segmentos en los ríos estudiados en los cuales se deben de realizar análisis más detallados.

García (1991) realizó una evaluación de la calidad del agua de los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, utilizando el plancton como indicador de contaminación. Menciona que la zona de la Ciudad de Cuautla, a la altura de San Pedro Apatlaco, se encuentra deteriorada por las descargas de la Tenería Morelos, pues ésta desecha plomo, cobre, zinc y cromo hexavalente. Estos metales afectan las comunidades presentes en el río, en un transecto de 0.1 a 1.5 km, cuando esta planta no funciona bien, por lo tanto propone una constante vigilancia de la Tenería Morelos. El mismo investigador encontró que el río Apatlaco se encuentra expuesto a una descarga de origen principalmente municipal y parcialmente por la descarga de aguas tratadas de la Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (ECCACIV), arrastrando tóxicos en su cauce, principalmente entre las estaciones de Xochitepec y Tlatenchi. Los ríos Apatlaco y Cuautla presentan una cantidad considerable de plomo en forma disuelta y éste al ser bioacumulado por la biota, causaría severos problemas

Además encontró que la evaluación preliminar de riesgo por contaminación de tóxicos (metales pesados) indica que el plomo es el principal factor de riesgo en los ríos Cuautla y Apatlaco; propone que se deben analizar más detalladamente los puntos críticos determinados por biomonitores y parámetros fisicoquímicos.

Por todo lo anterior nos podemos dar cuenta que la calidad del agua en el estado de Morelos se está convirtiendo en un serio problema para el uso del recurso. Es necesario realizar estudios enfocados en la calidad del agua, ya que ésta es un recurso primordial para la vida y se podría llegar a impedir su aprovechamiento.

3. OBJETIVOS

- Con base en la evaluación biológica y en los parámetros fisicoquímicos, establecer la calidad del agua de los 3 ríos en estudio, utilizando al plancton como indicador de contaminación.
- Determinar las características fisicoquímicas del agua en 14 estaciones, ubicadas en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec Edo. de Morelos.
- Evaluar cuantitativa y cualitativamente la comunidad planctónica, presente en las 14 estaciones.

4. AREA DE ESTUDIO

4.1 Aspectos socioeconómicos.

El estado de Morelos está integrado por 33 municipios, de los cuales existen varios que son de importancia turística. Entre éstos destacan: a) Cuautla, con balnearios de aguas termales y medicinales perfectamente acondicionados, como el de Agua Hedionda y Los Limones, b) Oaxtepec en Yautepec, c) Las Estacas en Tlaltizapán, d) El Rollo en Tlalquitenango. e) San Ramón en Xochitepec y f) antiguas haciendas como Temixco, Real del Puente, Vista Hermosa y Cocoyoc principalmente (Secretaría de Programación y Presupuesto SPP, 1981). El grueso de la oferta hotelera se concentra en Cuernavaca y Cuautla, donde se localizan el 71% del total de establecimientos

La actividad agrícola juega un papel de primer orden en el estado. Los productos que destacan son: el azúcar, el arroz y la caña de azúcar. Con menor importancia se produce: maíz, frijol, tomate, lechuga, haba, avena, chícharo, papa, pera, manzana y ciruela. Dentro de la actividad pecuaria, los productos de mayor importancia son: la carne de aves, el huevo, la leche de vaca, la carne de cerdo y el ganado bovino (SPP, op cit).

El estado ha tenido un notable crecimiento en su población, principalmente en la ciudad capital. Las causas de este crecimiento son básicamente la cercanía con la Ciudad de México, las actividades económicas de la capital y las condiciones geográficas del lugar. El crecimiento también ha sido notorio en Cuautla, la cual ha tenido en los últimos años un alza demográfica (SPP, 1988). La población del estado es de 1,288,630 habitantes según datos preliminares del anuario estadístico del estado de Morelos 1990.

4.2 Localización geográfica.

El estado de Morelos se localiza entre las coordenadas 18°19' 54" y 19°07'30" de latitud norte y 98°37'42" y 99°33' 30" de longitud oeste, limita al norte con el Estado de México y el Distrito Federal, al sur con el estado de Guerrero, al este con el Estado de Puebla y al oeste con el Estado de México. Su superficie total es de 4,958,222 km². Su principal elevación es el Chichinautzin con 3450 msnm (SPP, 1990).

4.3 Fisiografía

El territorio del estado de Morelos se ubica dentro de dos provincias fisiográficas: la provincia del eje Neovolcánico y la provincia de la sierra Madre del Sur.

La provincia del eje Neovolcánico se caracteriza por ser una enorme masa de rocas volcánicas de todos tipos. La integran grandes sierras volcánicas, coladas lávicas y conos dispersos.

La provincia de la Sierra Madre del Sur cuenta con diferentes eventos tectónicos. Las formaciones geológicas que la comprenden presentan una variada gama de litologías donde se distinguen sedimentos de origen marino (SPP, 1988).

4.4 Vegetación

El territorio estatal se encuentra cubierto por diversos tipos de vegetación, entre los que sobresalen, los bosques mixtos y latifolcados de coníferas pino-encino, encino-pino, encino, así como bosques de montaña al norte y noroeste (en los límites con el estado de Puebla y Estado de México). Al centro, al sur y al oeste del estado predomina la selva baja caducifolia y en una pequeña porción del noroeste se encuentran bosques de Oyamel (SPP, 1988).

4.5 Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1988), en el área de estudio se distinguen tres tipos de climas: Para la zona norte de los ríos Cuautla y Yautepec predomina el clima A(C)w(w) igw, correspondiente a los tropicales y templados lluviosos, con temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C, con época seca, lluvias en verano, clima con oscilaciones mayores entre 5 y 7°C, con cambios anuales de temperatura.

En la zona norte del río Apatlaco y la parte sur de los tres ríos, se presenta el clima Aw (w)(i)g que corresponde al clima caliente subhúmedo, con lluvias en verano, es el más seco de los subhúmedos, con oscilaciones parecidas al anterior. No hay época seca.

En la parte media de los tres ríos predomina el clima Aw (w)(i)gw la descripción es igual al anterior pero con la diferencia de que sí hay época seca.

4.6 Hidrografía

La cuenca del río Amacuzac (Región Hidrológica No.18) tiene una superficie de 4303.39 km² y comprende casi la totalidad del estado (Fig. 1a). Se asemeja a un triángulo y es una de los principales afluentes del río Balsas (SARH, 1970) (Fig. 1b). Está formada principalmente por los ríos Tetzama, Apatlaco, Yautepec, Cuautla y Amacuzac. Los ríos en donde se realizó este estudio pertenecen a esta cuenca y son: Apatlaco, Cuautla y Yautepec (Fig. 2).

En el estado de Morelos, el agua ha ejercido un papel muy importante en la integración social de la población y su disponibilidad ha sido un soporte básico del desarrollo económico. Aunque el estado cuenta con un volumen suficiente de agua, existen problemas por su irregular distribución geográfica, por la sobreexplotación en algunas áreas y por la contaminación; la calidad del agua en Morelos se está convirtiendo en un



Fig. 1a. Región hidrológica No. 18 (parcial) Cuenca del río Amacuzac, Mor.

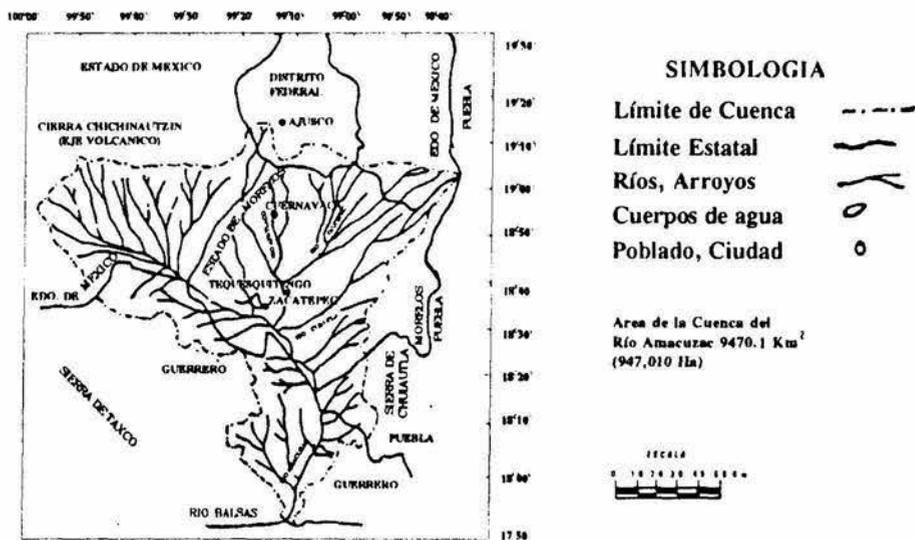


Fig. 1b. Cuenca del río Amacuzac (Tomado de SARH 1970, Boletín Hidrológico No. 47)



Fig. 2. Principales ríos en la Cuenca del Alto Amacuzac.

serio problema para el uso del recurso. Se ha detectado contaminación en los principales acuíferos de la entidad, causada sobre todo, por organismos patógenos en zonas urbanas y por sustancias químicas de carácter industrial en áreas puntuales como CIVAC y Cuautla. Actualmente existen niveles de contaminación urbana e industrial en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec (SARH, 1988).

En este estudio se eligieron estos ríos debido al uso potencial del agua en la zona, ya que básicamente se utilizan en actividades domésticas y en irrigación agrícola. El río Apatlaco sigue una trayectoria de norte a sur corriendo por las zonas de cultivo de varios poblados. Los aportes más importantes que recibe en su trayectoria son los ríos Tetlama, Palo Escrito y Yautepec. Su principal uso es para riego agrícola así como receptor de las descargas municipales de Zacatepec, aguas tratadas de CIVAC y la descarga del Ingenio Emiliano Zapata.

El río Cuautla es afluente directo del río Amacuzac por su margen izquierda y corre de noroeste a suroeste, regando en su parte alta varios poblados. Sus principales afluentes son el río Agua Hedionda junto con las aguas de la barranca Papayo y el río de la Cuera por la margen izquierda; sus aguas se utilizan para el riego agrícola. Actúa como receptor de desechos municipales de la ciudad de Cuautla (Barranca Ayala) y descargas de pequeñas industrias aledañas.

El río Yautepec corre en dirección sureste, cambiándola hacia el sur a la altura de los balnearios Oaxtepec y Huatecaico. Las principales corrientes que recibe son las del río Dulce por la margen derecha y por la izquierda las aguas del manantial Las Estacas. Sus aguas se emplean principalmente para el riego y alimentación de los dos balnearios citados anteriormente. Se utiliza como receptor de descargas domésticas, principalmente del pueblo de Yautepec y numerosas descargas dispersas de campos agrícolas (SARH, 1970).

4.7 Localización y descripción de las estaciones.

Tomando como base los trabajos realizados en el Estado de Morelos (SARH, 1972, 1973, 1989), (García, 1985, 1991), (Cubillas *et al*, 1986) y tratando de obtener un estudio más completo a lo largo de los ríos, se eligieron 14 estaciones distribuidas en los mismos. (Fig 3).

RIO APATLACO

-Temixco:

Situada dentro del municipio de Cuernavaca, al NE del poblado de Temixco y en dirección SE de la ciudad de Cuernavaca (a 5 km aproximadamente sobre la carretera Federal No 95 (libre) México-Acapulco). Se encuentra ubicada a 1200 msnm y a 4 km del origen del río.

-Xochitepec :

Se encuentra en el kilómetro 19.3 de la carretera federal No. 95 México-Acapulco (libre) al NW del poblado del mismo nombre, a 100 m de la margen izquierda en sentido N-S (Cuernavaca-Iguala) y bajo el puente denominado "Xochitepec" a espaldas de la Unidad Deportiva Mariano Matamoros y dentro del municipio de Xochitepec. Está a una altura de 1050 msnm aproximadamente a 13 km aguas abajo del origen del río.

-Descarga Ingenio:

Ubicada dentro del municipio de Jojutla a 200 m de la carretera a Jojutla-Zacatepec, a espaldas del Centro para el Desarrollo de la Cultura, la Recreación y el Deporte "La Perseverancia", al NW de la ciudad de Jojutla de Juárez. Se encuentra a 850 msnm y a 34 km del origen del río.



Fig. 3. Localización de las estaciones de muestreo en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec. Edo. de Morelos.

-Confluencia Apatlaco Yautepec:

Está hacia el SW de la ciudad de Jojutla de Juárez, entrando por la calle de Prolongación de Leyva, yendo hacia el sur del rastro municipal, en el paraje conocido como "El Panteón". A 800 msnm y a 36 km del origen del río

RIO CUAUTLA

-San Pedro:

Está bajo el puente denominado "San Pedro" Apatlaco, a 3.5 km al sur del resurgimiento del río (manantiales "Los Sabinos"), en la colonia Francisco I Madero, hacia el SE de la ciudad de Cuautla, dentro del municipio del mismo nombre. A 1300 msnm y a 6 km aguas abajo del resurgimiento.

-Barranca Ayala:

Se encuentra en la esquina de las calles de Aquiles Serdán y Rodrigo Avelar, en el lado SE del poblado de Ciudad Ayala en el municipio de Ayala. A 1175 msnm. Este afluente entra al río Cuautla a 11 km aguas abajo del punto de resurgimiento del río.

-San Rafael:

Está aproximadamente a la mitad del área que comprenden los campos agrícolas del DDR-095, en el kilómetro 14 de carretera Cuautla-Chinameca, bajo el puente denominado "San Rafael" en el poblado del mismo nombre al SE de Ciudad Ayala, dentro del municipio de Tlaltizapán. A 1050 msnm y a 28 km aguas abajo del resurgimiento del río

-Mezquitera:

Ubicada en el lugar conocido como "El Astillero" dentro del ejido "La Mezquitera", sobre la carretera Jojutla-Chinameca, dentro del municipio de Jojutla, a 10 km

aproximadamente de su confluencia con el río Amacuzac A 1200 msnm y a 48 km aguas abajo del resurgimiento del río.

-Nexpa:

Se encuentra al NW del pueblo de Nexpa en el lugar conocido como "La Peña", en donde el río Cuautla se une al Amacuzac. Dentro del municipio de Tlalquitenango A 700 msnm y 59 km aguas abajo y en el sitio de confluencia con el Amacuzac.

RIO YAUTEPEC

-Pantitlán:

Ubicada al NE del poblado de Yautepec, en las afueras del pueblo de Pantitlán, dentro del municipio de Yautepec. A 1350 msnm y a 2 km aguas abajo del origen del río.

-Puente Ticumán:

Se encuentra bajo el puente situado a 0.5 km de la desviación a Yautepec, sobre la carretera Yautepec-Jojutla al SE del poblado de Ticumán y a 3.5 km de la colonia Alejandra, dentro del municipio de Tlaltizapán. A 950 msnm y a 27 km del origen del río.

-El Rollo:

Situada en el poblado de Tlalquitenango, entrando por la Av. Lorenzo Vázquez, bajo el puente "La Cantora" en el barrio del mismo nombre en el lado SE del poblado. A 850 msnm y a 44 km aguas abajo del nacimiento del río.

-Confluencia Yautepec-Apatlaco

Está al SW de la ciudad de Jojutla de Juárez, entrando por la calle de Prolongación de Leyva, yendo hacia el sur del rastro municipal, en el paraje conocido como "El Panteón". A 800 msnm y a 46 km del origen del río.

-Tlatenchi:

Ubicada a espaldas del templo Adventista de Tlatenchi en la calle de Josefa Ortiz de Domínguez y al SE de Jojutla, en el municipio de Tlaquitenango A 800 msnm y a 49 km aguas abajo del nacimiento del río.

5. METODOLOGIA

Se realizaron muestreos mensuales durante un período de seis meses, comprendiendo desde abril a septiembre de 1990. Se tomaron muestras de agua en cada una de las estaciones a las cuales se les determinaron análisis fisicoquímicos y biológicos aplicando las técnicas establecidas por los Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas de deshecho (American Public Health Association APHA, 1980) y SARH, 1982.

Los análisis fisicoquímicos se efectuaron en campo y en el laboratorio de Sustancias Tóxicas en la Coordinación de Tecnología Hidráulica Urbano-Industrial perteneciente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Los análisis biológicos se llevaron a cabo en esa misma Coordinación y en el laboratorio de Botánica de la Unidad de Morfofisiología de la ENEP-Iztacala.

5.1 Análisis fisicoquímicos.

Los parámetros fisicoquímicos determinados y las técnicas utilizadas fueron:

- Parámetros efectuados en el campo:	Método de análisis:
Oxígeno disuelto (mg/L)	Oxímetro (YSI-Modelo 58)
Temperatura (°C)	Termómetro de mercurio
pH	Potenciómetro (pH meter 610A Corning)
Conductividad (μ mhos/cm)	Conductímetro (YSI-Modelo 33)
- Parámetros efectuados en el laboratorio:	
Alcalinidad total (CaCO_3) (mg/L)	Volumétrico por neutralización con H_2SO_4
Sólidos suspendidos (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos disueltos (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos totales (mg/L)	Gravimétrico
Dureza total (mg/L)	Volumétrico por titulación de EDTA

5.2 Análisis biológico.

Para el muestreo de plancton, se utilizó una red de plancton No. 25 con una abertura de malla de 54 micras. Se realizó un arrastre superficial a contracorriente a una profundidad aproximada de 20 cm durante 5 minutos. Las muestras se colectaron y almacenaron en frascos de vidrio de boca ancha con capacidad de 125 mL, fijándolas inmediatamente con formol (4%).

5.2.1 Análisis cualitativo de plancton.

Los organismos planctónicos se identificaron de acuerdo con: Tilden (1910), Jahn (1949), Smith (1950), Desikachary (1959), Edmonson (1959), Curds (1970), Prescott (1970), Tiffany y Britton (1971), Hartmut (1972), Benson (1975), Palmer (1975), Hustedt (1976), Kudo (1982), Rivera *et al* (1982), SARH (1982), Ortega (1984) y González (1988).

5.2.2 Análisis cuantitativo de plancton.

Para el análisis cuantitativo se aplicó el método de conteo de Lackey, (APHA, 1980) el cual es un método simple de conteo de considerable precisión para contar muestras de poblaciones de plancton. Este método consistió en tomar con una pipeta 0.1 mL de muestra, se colocó en un portaobjetos y se cubrió con un cubreobjetos de 22 X 22 mm, deslizando el cubreobjetos sobre el portaobjetos. Se hizo el conteo de organismos en 6 transectos a lo ancho del cubreobjetos. Se calculó el número de organismos por mL con la siguiente fórmula

$$\text{No. de org /mL} = (C A_1) / (A_2 SV)$$

Donde:

C = No. de organismos contados.

A_1 = Area del cubreobjetos (mm^2).

A_2 = Area de una franja (mm^2).

S = No. de franjas

V = Volumen de la muestra analizada

Además se determinó la abundancia relativa y se calcularon los siguientes índices de diversidad:

- Índice Secuencial de Comparación (ISC)

Este Índice fue propuesto por Cairns *et al*, (1968) como un índice biológico usado en la calidad de agua, es especialmente útil para personal no especializado, proporciona una medida limitando la identificación de las especies (taxonómicamente) Se basa en la teoría de las corridas (Run Theory) (Cairns y Dickson, 1971) Con este índice se aplica sólo el criterio del investigador para el registro de diferencias en forma, tamaño y color de los organismos. Se considera que esto es suficiente para establecer la cantidad presente de los mismos en la muestra. Este índice refleja el concepto de diversidad, es simple, no exige un reconocimiento taxonómico a nivel de especie y los resultados son considerados estadísticamente confiables según los autores. Ha sido utilizado en varios trabajos para la evaluación de la calidad del agua como García (1985-1991), Huerto (1988), y Vázquez (1991)

El ISC es igual al número de comparaciones entre el número de individuos por el número de taxa presentes, esto se determina de la siguiente manera se corre un análisis cuantitativo, asignando símbolos diferentes para cada organismo que se contemple. Se determina la forma, el tamaño y color del primer organismo observado y se le asigna un símbolo, se examina un segundo organismo y se compara con el anterior, basándose en las mismas características anteriores, si son iguales se le asigna el mismo símbolo, si son diferentes se le asigna otro símbolo. Se realiza el recorrido de organismos comparando cada uno con el observado anteriormente y se le asigna el símbolo correspondiente La cantidad de veces que se comparen por el número de organismos contemplados, dará la diversidad biológica de la comunidad observada. La

fórmula del ISC es la siguiente:

$$\text{ISC} = (\text{No de comparaciones} / \text{No de individuos}) (\text{No de Taxa})$$

El número de taxa es determinado al final de las comparaciones entre los individuos (Cairns y Dickson op cit; Persoone y De Pauw, 1978).

Los autores proponen la siguiente escala para interpretar los valores obtenidos por el ISC:

Escala	Calidad del agua
< 8	Contaminada
8-12	Semicontaminada
>12	No contaminada

Este método sólo muestra de una manera general el grado de contaminación sin tomar en cuenta especies como indicadores de la calidad del agua

-Índice de diversidad TU.

También se basa en la teoría de las corridas, es un estimador insesgado, tiene la propiedad estadística de variación mínima entre todos los estimadores insesgados del número de corridas por especie (Keefe y Bergersen, 1977). Los valores del índice van de cero a uno, el valor mínimo ocurre cuando la muestra contiene sólo un taxa, el valor máximo se presenta cuando k se incrementa. El índice de TU se define como:

$$TU = 1 - (n/n - 1) \left(\sum_{i=1}^k (p_i)^2 - 1/n \right)$$

donde

$p_i = n_i/n$

$i = 1 \dots k$: k = número de taxa presentes

n = número de organismos de una muestra

n_i = número de organismos del taxa i

-Índice de diversidad de Shannon-Weaver.

Este índice es el más usado en trabajos de diversidad: se basa en la teoría de la información, tiene la ventaja de medir la diversidad en su naturaleza de jerarquía taxonómica, esto permite la aplicación de este índice a diferentes niveles. Se define como:

$$H = - (ni/N) \log (ni/N)$$

donde:

n_i = número de organismos de cada especie.

N = número total de organismos en la muestra

Se usó la escala propuesta por Wilhm y Dorris, mencionada por Persoone y de Pauw 1978, para la estimación de la comunidad en relación con la calidad del agua.

bit/individuo	calidad del agua
< 1	altamente contaminada
1-3	contaminación moderada
> 3	aguas limpias

También se utilizó la prueba estadística de Z (Keefe y Bergersen, 1977) para conocer si dos muestras pertenecen o no a la misma población la prueba se calcula con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{TU_1 - TU_2}{\sqrt{o_1/n_1 + o_2/n_2}}$$

en donde:

TU_1 = índice de TU de la comunidad 1

TU_2 = índice de TU de la comunidad 2

o_1 = varianza de la comunidad 1

o_2 = varianza de la comunidad 2

n_1 = total de organismos de la comunidad 1

n_2 = total de organismos de la comunidad 2

6. RESULTADOS Y DISCUSION

La calidad del agua en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec se determinó con base en los resultados de los parámetros fisicoquímicos, comparándolos con los límites permisibles para la protección de la vida acuática (Cuadro 1). También se usaron los resultados biológicos (cualitativos y cuantitativos); el análisis anterior se realizó para cada uno de los ríos. Posteriormente se hizo un análisis general para los tres cuerpos de agua.

6.1 RIO APATLACO

6.1.1 Análisis Fisicoquímico

A continuación se presenta el análisis en las estaciones Temixco (km 0), Xochitepec (km 10), Descarga Ingenio (km 30) y Confluencia Apatlaco-Yautepec (km 32)

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se observan en el Cuadro 2 y en el cual se puede resaltar lo siguiente:

Para la Temperatura del agua se utilizó el intervalo del valor natural, éste se obtuvo con el promedio de registros anteriores en los ríos de este parámetro, sumándole y restandole 1.5 (SEDUE, 1989). Tomando en cuenta el límite permisible del valor natural de temperatura del agua de este río, el cual es:

$$\begin{array}{l} \bar{x} \text{ secas} = 25.1^{\circ}\text{C} \quad \bar{x} \text{ lluvias} = 23.5^{\circ}\text{C} \\ \text{intervalo del valor natural} \\ 22.0\text{-----}26.6 \end{array}$$

y observando los resultados obtenidos los cuales son:

$$\bar{x} \text{ secas} = 27.4^{\circ}\text{C} \quad \bar{x} \text{ lluvias} = 23.9^{\circ}\text{C}$$

tenemos que la temperatura del agua está por arriba del intervalo del valor natural en la época de secas. Los valores máximos de temperatura ambiental y agua se detectaron en el mes de mayo, presentando la estación Descarga Ingenio las temperaturas más elevadas de todo el monitoreo con 46°C de ambiente y 39°C en el agua

Los valores más bajos se registraron en el mes de agosto, en la estación Temixco con 21°C ambiental y 20°C en el agua (Fig. 4).

Cuadro 1. Calidad requerida para la protección de la vida acuática en agua dulce

PARAMETRO	LIMITE PERMISIBLE	REFERENCIA
pH	6 0 a 9 0	SARH (1983)
Temperatura (°C)	Condiciones naturales ± 1.5	SEDUE (1989)
Conductividad (μmhos/cm)	No mayor de 2000 μmhos/cm	SARH (1983)
Oxígeno disuelto (mg/L)	5 mg/L	Diario Oficial de la Federación (1989)
Alcalinidad total CaCO ₃ (mg/L)	250 mg/L	Arrignon (1979)
Dureza total (mg/L)	150 mg/L	Arrignon (1979)
Sólidos totales (mg/L)	1000 mg/L	SARH (1975)
Sólidos suspendidos (mg/L)	25 mg/L	Mc Neely (1979)
Sólidos disueltos (mg/L)	no mayor de 2000 mg/L	SARH (1975)

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Apatlaco, Edo. de Morelos, 1990.

Estación y mes de muestreo	Temperatura (°C)		pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conduc- tividad (μmhos/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	Suspendidos	SOLIDOS (mg/L)		Totales
	Ambiente	Agua							Disueltos		
TEMIXCO (Km 0)											
Abril	26	22	6.0	5.5	750	--	--	--	--	--	--
Mayo	29	24	7.0	6.2	350	120	122	--	--	--	--
Junio	25	23	8.0	5.2	300	106	106	--	--	--	--
Julio	24	22	7.3	5.4	290	92	188	--	--	--	--
Agosto	21	20	7.7	6.5	250	82	95	--	--	--	--
Septiembre	28	22	7.4	4.5	282	76	100	--	--	--	--
XOCHITEPEC (Km 10)											
Abril	32	25	5.0	3.3	1500	310	720	28	932	960	960
Mayo	35	30	8.4	5.6	550	322	550	4	394	398	398
Junio	27	26	8.1	5.4	430	138	152	16	276	292	292
Julio	32	26	7.7	4.8	350	97	104	5	311	316	316
Agosto	26	26	7.8	6.4	--	104	134	5	245	250	250
Septiembre	25	25	7.8	4.8	370	100	120	3	289	292	292
DESCARGA INGENIO (Km 30)											
Abril	28	25	6.0	0.0	--	450	647	266	920	946	946
Mayo	46	39	7.2	0.8	2800	310	536	160	2070	2230	2230
Junio	29	29	7.7	2.4	1300	140	320	6	970	976	976
Julio	31	27	7.6	4.4	900	156	339	11	589	702	702
Agosto	31	26	7.7	6.3	850	174	352	8	564	572	572
Septiembre	29	23	8.5	5.6	900	182	364	19	661	680	680
CONFLUENCIA APATLACO- YAUTEPEC (Km 32)											
Abril	31	27	6.0	0.0	4500	396	764	24	1038	1062	1062
Mayo	35	32	7.3	0.4	1600	404	596	52	1078	1130	1130
Junio	26	27	7.8	1.4	1200	350	238	4	916	920	920
Julio	26	24	7.6	4.1	800	168	336	22	710	732	732
Agosto	27	23	7.6	5.6	900	182	385	24	574	598	598
Septiembre	24	23	7.7	5.2	850	192	406	18	714	732	732

-- No se determinaron

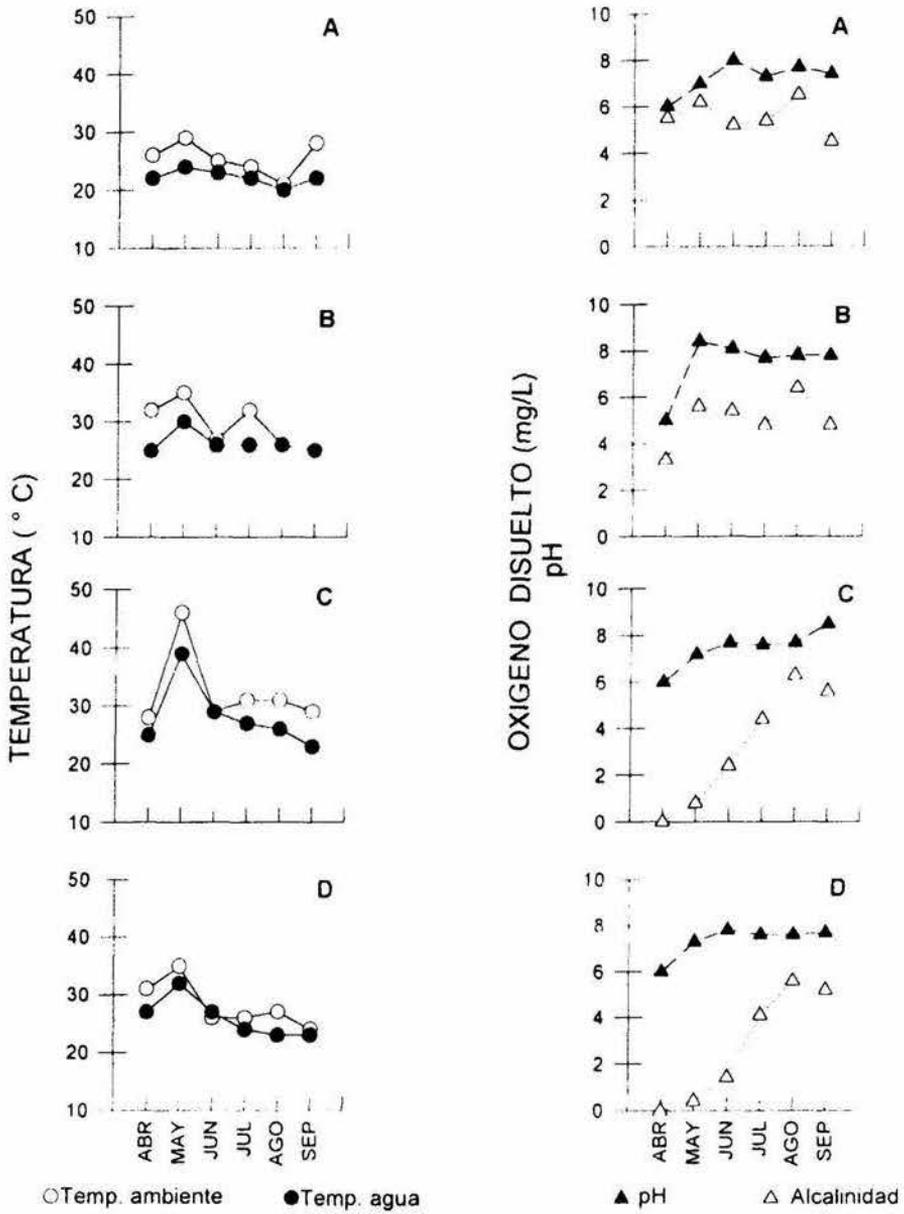


Fig. 4. Resultados fisicoquimicos en las estaciones del río Apatlaco: A- Temixco (Km 0), B- Xochitepec (Km 10), C- Descarga Ingenio (Km 30), D- Confl. Apatlaco-Yautepec (Km

En promedio se tiene que el valor mínimo ambiental lo presenta la estación Temixco con 26°C y en agua con 22°C, los valores máximos se encontraron en la estación Descarga Ingenio con un valor de 32°C de ambiente y 28°C en agua (Cuadro 3) (Fig.5).

La temperatura es un factor importante, ya que puede alterar otros parámetros fisicoquímicos indispensables para los organismos como el oxígeno disuelto. Este es el elemento más importante en las reacciones químicas que suceden en una corriente de agua. Su nivel de saturación disminuye al aumentar la temperatura, además, la constante de velocidad de la reacción en la ecuación de la DBO que representa la rapidez de oxidación de la materia orgánica está en función también de la temperatura. La conductividad del agua igualmente se ve afectada por los cambios de temperatura.

En lo que respecta al pH, éste se encontró dentro del límite permisible (Cuadro 1). Los promedios estuvieron entre 7.3 y 7.5 (Cuadro 3) (Fig. 5), presentando pocas variaciones y encontrándose los valores más bajos en todas las estaciones en el mes de abril (Fig. 4). Existe poca alcalinidad, lo cual es favorable para los organismos, ya que se encuentra en la zona óptima para la productividad de plancton según Arrignon (1979).

Este parámetro es importante, ya que cuando las aguas presentan un pH bajo (ácido), son con frecuencia deficientes en elementos nutritivos y bajas en productividad según Odum (1972).y

La concentración de oxígeno disuelto en promedio osciló entre 5.6 y 2.8 mg/L (Fig. 5), encontrando las concentraciones más altas en su mayoría en la estación Temixco. En esta parte alta del río se presentan condiciones de buena calidad. Además tomando en cuenta el promedio se obtuvo el porcentaje de saturación de oxígeno según la tabla de Mortimer (Wetzel, 1981), para esta estación, encontrándose un valor de 81%. Esto se debe a que existe una pendiente que permite que el río se recupere, pues se produce más oxigenación. En Xochitepec en los meses de abril, julio y septiembre se detectaron valores menores al límite permisible (Cuadro 1), pero en promedio fue aceptable. En el tramo de las estaciones Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco- Yautepec en los meses

Cuadro 3. Resultados promedio y desviación estándar de fisicoquímicos determinados en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos. 1990.

FISICOQUIMICOS	TEMIXCO (Km 0)	XOCHITEPEC (Km 10)	DESCARGA INGENIO (Km 30)	CONFLUENCIA APA-YAU (Km 32)
Temperatura ambiente (°C)	26 ± 2.8	30 ± 4.0	32 ± 6.8	28 ± 4.0
Temperatura agua (°C)	22 ± 1.3	26 ± 1.6	26 ± 5.6	26 ± 3.4
pH	7.3 ± 0.7	7.6 ± 1.4	7.5 ± 0.8	7.3 ± 0.6
Oxígeno disuelto (mg / L)	5.6 ± 0.7	5.0 ± 1.0	3.2 ± 2.5	2.8 ± 2.4
Conductividad (µmhos / cm)	370 ± 189	640 ± 467	1350 ± 830	1642 ± 1432
Alcalinidad (mg / L)	95 ± 17	178 ± 107	235 ± 121	282 ± 112
Dureza (mg / L)	122 ± 38	296 ± 268	426 ± 133	454 ± 191
Sólidos suspendidos (mg / L)	--	10 ± 9	78 ± 109	24 ± 15
Sólidos disueltos (mg / L)	--	407 ± 261	979 ± 557	838 ± 202
Sólidos totales (mg / L)	--	418 ± 270	1017 ± 614	862 ± 209

-- No se determinaron

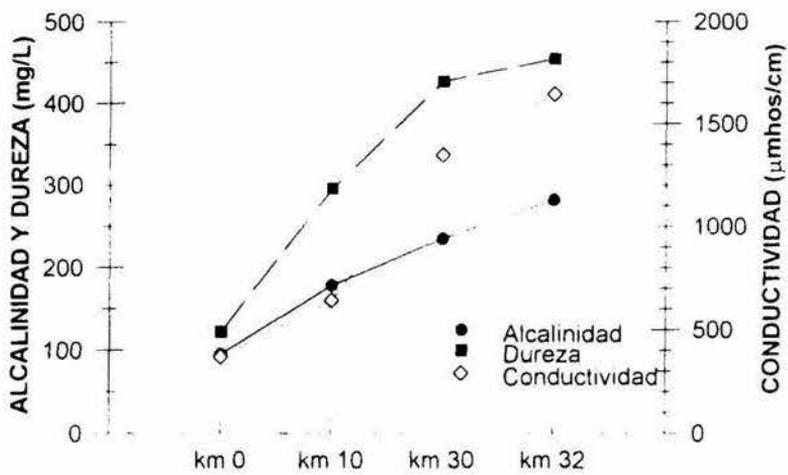
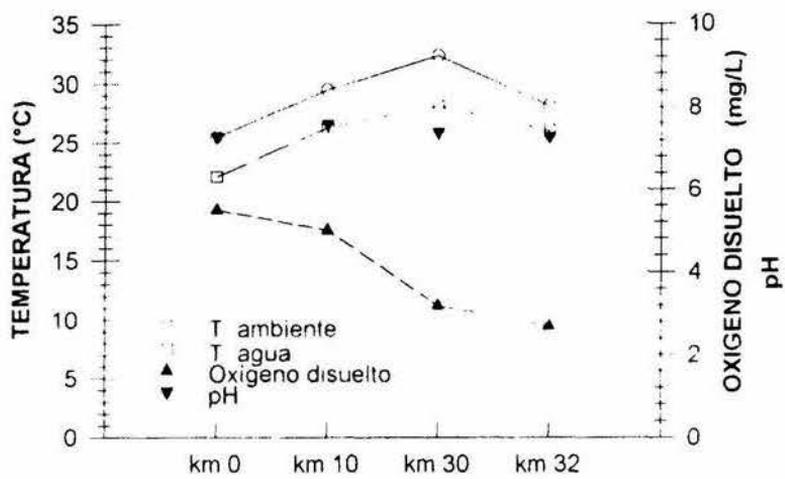


Figura 5. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990)

de abril a julio, se presentaron concentraciones también por debajo del límite permisible (Fig. 4). En la mayoría de los meses la parte baja se encuentra con concentraciones inferiores al límite permisible las cuales se asocian con aguas de baja calidad. Tomando en cuenta los promedios de oxígeno disuelto, según la escala de Mortimer (Wetzel, 1981), se encontró que el porcentaje de saturación de oxígeno en las estaciones de Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec fue de 44% y 32% respectivamente. Esto indica que una gran parte de oxígeno ha sido consumido debido posiblemente a la presencia de materia orgánica. La concentración de oxígeno es importante ya que los organismos vivos dependen de él para mantener sus procesos metabólicos. La solubilidad del oxígeno atmosférico en agua dulce varía dependiendo de la temperatura. Esto es importante, porque la oxidación biológica aumenta con la temperatura y, por consiguiente, la demanda de oxígeno. Por otra parte, en condiciones de temperatura alta, el oxígeno es menos soluble. Debido a estas razones, la mayoría de las condiciones críticas relacionadas con el oxígeno disuelto ocurren durante la temporada de sequía. Esto se puede observar en las estaciones Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec, en donde en los primeros cuatro meses se presentan concentraciones bajas de oxígeno disuelto. Estas se pueden relacionar con las temperaturas registradas en el agua, sobre todo en el mes de mayo, en el cual se presentan temperaturas de 39 y 32°C respectivamente (Figura 4).

En lo que respecta a la conductividad, en promedio se observa (Cuadro 3) que el valor mínimo pertenece a la primera estación (Temixco, Km 0) con 370 $\mu\text{mhos/cm}$, la cual tiene los valores más bajos de todo el monitoreo. El valor máximo corresponde a la última estación (Confl. Apatlaco-Yautepec Km 32) con 1642 $\mu\text{mhos/cm}$ (Fig. 5) que presenta los valores más altos de todo el muestreo, sobre todo en el mes de abril. Esta estación, junto con Descarga Ingenio en mayo, rebasan el límite permisible, como se muestra en la figura 5. Se puede observar que la conductividad fue aumentando conforme se fue acercando a esta última estación. Este aumento puede ser debido al contenido de sales electrolizables disueltas. Incrementan cuando los terrenos en contacto con el agua están cargados de ellas, también aumentan con la movilidad de iones, o lo que es lo mismo, con la temperatura. Esto se observa en las últimas

estaciones río abajo, mencionadas anteriormente (Km 30 y Km 32), en donde a elevadas temperaturas del agua la conductividad es alta (Figuras 4 y 6).

En general los valores se encontraron dentro del límite permisible

Los promedios de alcalinidad se encontraron entre 95 y 282 mg/L y los de dureza fluctuaron entre 122 y 454 mg/L (Fig. 5). Los valores más bajos de estos dos parámetros están en la estación Temixco y los más altos en la Confluencia Apatlaco-Yautepec. Excepto en la estación Temixco, en general en los meses de abril y mayo se presentaron las concentraciones más altas, rebasan el límite permisible y coinciden con la época de estiaje (Fig. 6), a partir del mes de junio se presentan buenas condiciones.

La alcalinidad normalmente se debe a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, es un factor importante debido a la estrecha relación con el pH. Aguas muy alcalinas pueden afectar la ecología del cuerpo receptor.

La dureza es regida normalmente por el contenido de sales de calcio y de magnesio, combinados principalmente con bicarbonatos, carbonatos sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos minerales (Wetzel, 1981). Tomando en cuenta los promedios y según Arrignon (1979), en Temixco se presentan aguas duras y en las demás estaciones aguas incrustantes muy duras (con frecuencia magnésicas).

Los sólidos totales y suspendidos se presentaron por arriba del límite permisible en las estaciones de Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec en el mes de mayo. Los sólidos disueltos también rebasaron el límite en ese mes en la estación Descarga Ingenio (Fig. 7).

La cantidad de sólidos que se encuentran en este río pueden deberse a las descargas de aguas residuales que tiene el río, ya que reciben las afluencias de las barrancas de Puente Blanco, Rastro Municipal y la Gachupina, que transportan los desechos tratados de la zona industrial CIVAC. Las concentraciones de estos sólidos son importantes, porque los materiales en suspensión en el agua causan turbiedad en distintos grados. Esto reduce la actividad fotosintética, haciendo a su vez descender la productividad de las aguas. En su mayoría los valores se encontraron dentro del límite permisible.

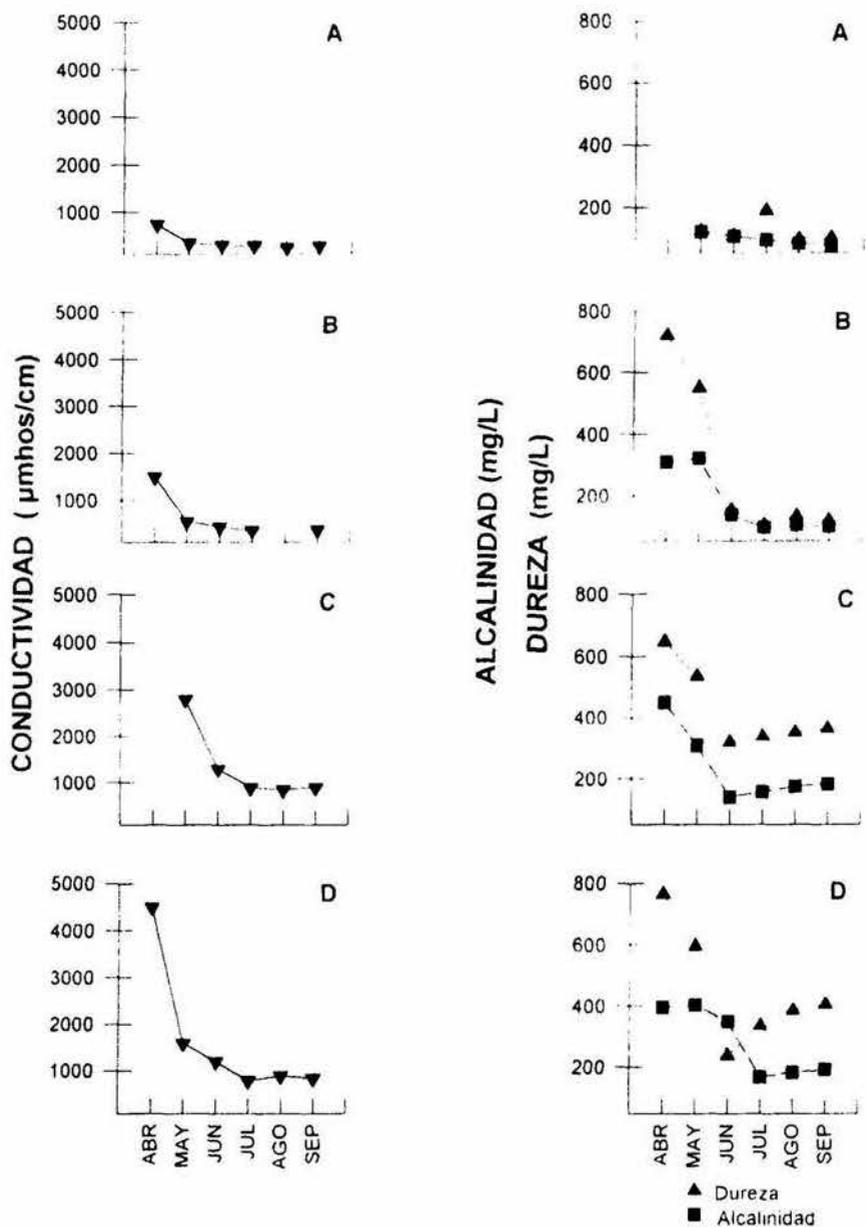
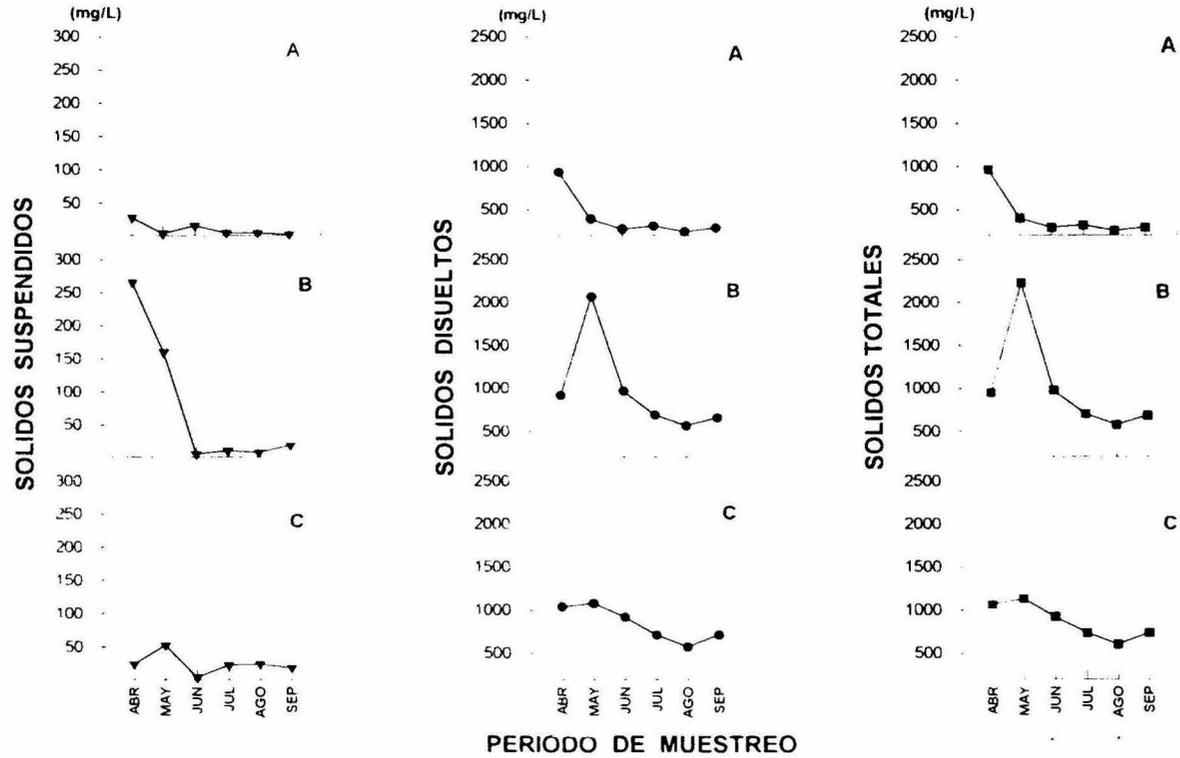


Fig. 6. Resultados fisicoquimicos en las estaciones del rio Apatlaco: A- Temixco (Km 0), B- Xochitepec (Km 10), C- Descarga ingenio (Km 30), D- Confl. Apatlaco-Yautepec (Km 32)



Estaciones: A) Xochitepec (Km 10), B) Descarga Ingenio (Km 30) y C) Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 32).

Fig 7. Resultados de sólidos suspendidos ▽, sólidos disueltos ● y sólidos totales ■, en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos (1990)

6.1.2 Análisis Biológico

En lo que respecta a este análisis se identificaron 35 géneros planctónicos, de los cuales el 74% corresponden al fitoplancton y el 26% al zooplancton, mostrando las siguientes proporciones en cada grupo:

Fitoplancton:

Chromophyta	29%
Chlorophyta	29%
Cyanophyta	11%
Euglenophyta	6%

Zooplancton:

Protozoa	17%
Rotifera	8%
Total	100%

En un trabajo presentado por Garcia (1991) se reportaron 41 géneros para este río. Comparando sus resultados con este estudio se puede observar una disminución en la comunidad, lo cual indica que el río no presenta buenas condiciones para el desarrollo de las especies. Los grupos más dominantes de fitoplancton fueron: Chromophyta y Chlorophyta, de zooplancton el grupo dominante fue el Protozoa (Cuadros 4 y 5).

Los géneros de fitoplancton que se presentaron en forma permanente en todo el muestreo fueron: *Nitzschia*, *Synedra* y *Navicula*, los cuales indican contaminación, ya que son tolerantes a la materia orgánica (Palmer 1975), y según Garcia 1988, 1991, se pueden considerar indicadores de contaminación ya que, algunas especies de estos géneros se desarrollan en materia orgánica. Los géneros más permanentes de zooplancton fueron: *Vorticella* y *Arcella*, este último según Kudo (1982) es característico de zonas mesosaprobias, es decir en donde se lleva a cabo una mineralización activa de la materia orgánica.

En las estaciones Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco-Yautepec, que

Cuadro 4. Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos, basada en Ortega (1984), identificados en el río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990)

DIVISION	ORDEN	GENERO	ESPECIE
CYANOPHYTA	Nostocales	<i>Anabaena</i> <i>Spirulina</i> <i>Lyngbya</i> <i>Oscillatoria</i>	<i>A. sp</i> <i>S. major</i> <i>O. tenuis</i> <i>O. subbrevis</i>
CHROMOPHYTA	Ochromonadales	<i>Mallomonas</i>	
	Coccinodiscales	<i>Cyclotella</i> <i>Melosira</i>	
	Diatomales	<i>Synedra</i>	<i>S. ulna</i>
	Naviculales	<i>Navicula</i> <i>Bacillaria</i> <i>Gomphonema</i> <i>Gyrosigma</i> <i>Nitzschia</i> <i>Surirella</i>	<i>N. cryptocephala</i> <i>N. palea</i>
EUGLENOPHYTA	Euglenales	<i>Euglena</i> <i>Phacus</i>	<i>E. acus</i> <i>E. viridis</i>
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Ankistrodesmus</i> <i>Pediastrum</i> <i>Coelastrum</i> <i>Scenedesmus</i>	<i>S. quadricauda</i> var. <i>longispina</i>
	Chaetophorales	<i>Stigeoclonium</i>	
	Siphonocladales	<i>Cladophora</i> <i>Basycladia</i>	
	Zygnematales	<i>Spirogyra</i>	
	Desmidiiales	<i>Closterium</i> <i>Cosmarium</i>	<i>C. acerosum</i>

Cuadro 5. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos, basada en Kudo (1982), identificados en el río Apatlaco, Edo de Morelos (1990).

PHYLUM	ORDEN	GENERO
PROTOZOA	Testacida	<i>Arcella</i>
	Peritrichida	<i>Epistylis</i> <i>Vorticella</i>
	Holotrichida	<i>Chilodonella</i> <i>Nassula</i> <i>Didinium</i>
ROTIFERA	Ploima	<i>Brachionus</i> <i>Lecane</i>
	Bdelloidea	<i>Rotaria</i>

Ademas de nemátodos, larvas de crustáceos e insectos

corresponden a la parte baja del río los géneros *Oscillatoria* y *Anabaena* se detectaron en todo el muestreo. Esto se puede deber a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto registradas en el muestreo y a la presencia de abundante materia orgánica. Lo anterior lo apoya Margalef (1983), que menciona que las cianofitas soportan una alta concentración de materia orgánica en bajo contenido de oxígeno disuelto. Además, por la presencia de *Anabaena* se puede inferir que existe amonio y nitritos y que esta concentración es mayor donde la descomposición de materia orgánica es más activa. La presencia de *Anabaena* en los primeros tres meses del muestreo concuerdan con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto registradas. Esta alga se encontró con heterocistes que son estructuras fijadoras de nitrógeno. Por otra parte, al haber amonio se puede derivar la presencia de bacterias ya que la formación de amonio se debe a fermentos proteolíticos bacterianos (Margalef, 1989).

En lo que respecta a la abundancia relativa se encontró que en todo el periodo de muestreo el grupo más abundante de fitoplancton fue Chromophyta. Los géneros dominantes fueron: *Nitzschia*, *Synedra* y *Navícula*. En lo que respecta al zooplancton, Protozoa fue el más abundante, predominando los géneros *Arcella* y *Vorticella*. (Figuras 8 y 9).

La diversidad de fitoplancton y zooplancton estimada con el índice de Shannon-Weaver en la estación Temixco (Km 0) se presentó baja en comparación con la reportada por García (1985). Por lo tanto se puede suponer que la estructura de la comunidad está siendo afectada. Esto se debe a las condiciones del río, ya que una baja diversidad puede determinar condiciones deplorables, e indica que el río continúa con un ambiente no apto para los organismos (Cuadro 6, Fig. 10). Según la escala propuesta por Wilhm y Dorris, mencionada por Persoone y de Pauw (1978), en general los valores señalan una contaminación moderada.

Con respecto a los resultados del índice TU (Cuadro 7), se sacaron las diversidades acumulativas para cada estación con el fin de tener una representación más clara. Se observó que la estación Temixco (Km 0) fue la que tuvo la mayor diversidad de

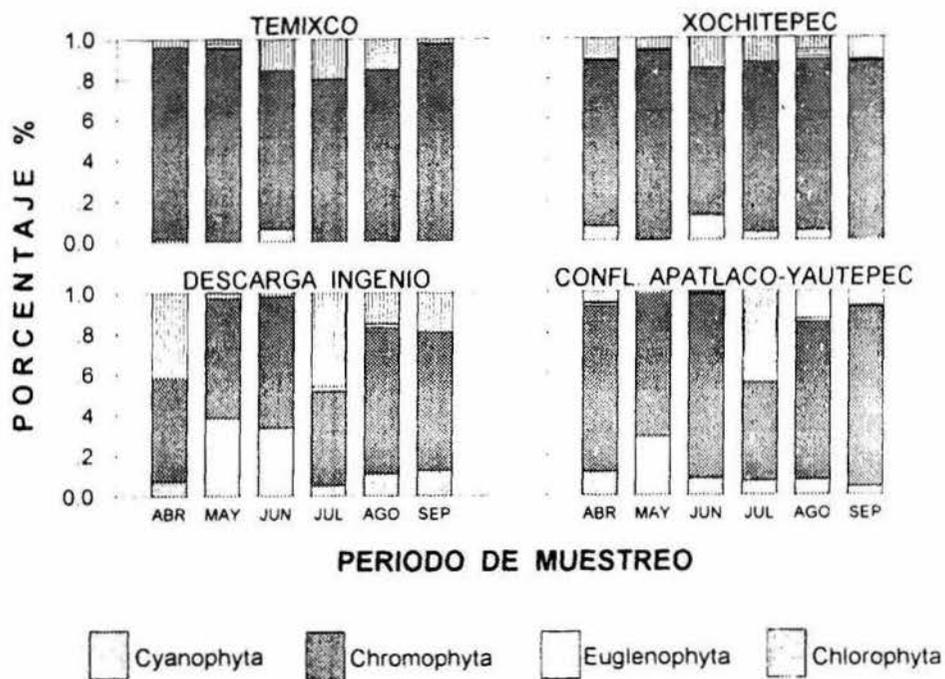


Fig. 8. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990).

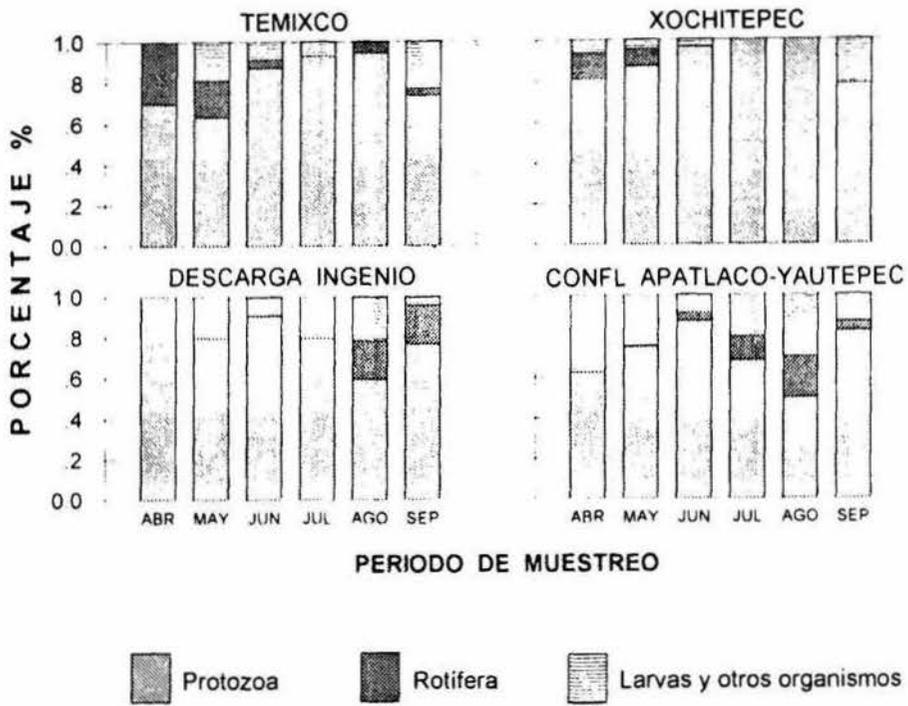


Fig. 9. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990).

Cuadro 6. Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos 1990

MES DE MUESTREO		TEMIXCO (Km 0)	XOCHITEPEC (Km 10)	DESCARGA INGENIO (Km 30)	CONFL. APATLACO YAUTEPEC (Km 32)
Abril	F	2	1.6	1.1	1.3
	Z	1.3	1	--	1.5
Mayo	F	1.6	1.6	1.9	1.2
	Z	1.7	1.1	0.5	0.5
Junio	F	1.9	1.6	1	0.8
	Z	1.3	1.5	1.1	1.4
Julio	F	1.4	1.5	1.9	2.1
	Z	1.3	1.4	1.3	1.6
Agosto	F	1.8	1.9	2	2.1
	Z	0.7	1.2	2	1.8
Septiembre	F	1.0	0.9	1.9	1.7
	Z	1.4	1.5	1.8	1.2

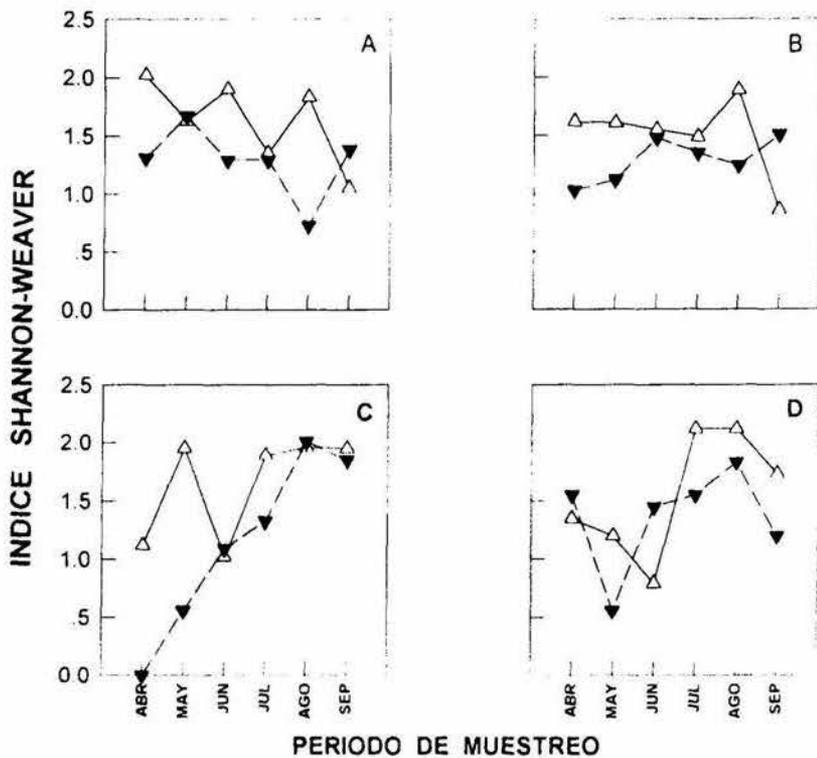
Cuadro 7. Resultados del índice TU en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos. 1990.

MES DE MUESTREO		TEMIXCO (Km 0)	XOCHITEPEC (Km 10)	DESCARGA INGENIO (Km 30)	CONFL. APATLACO YAUTEPEC (Km 32)
Abril	F	0.8	0.7	0.6	0.7
	Z	0.8	0.5	--	0.9
Mayo	F	0.8	0.7	0.8	0.6
	Z	0.9	0.5	0.5	0.5
Junio	F	0.7	0.7	0.5	0.3
	Z	0.6	0.8	0.6	0.7
Julio	F	0.8	0.7	0.8	0.8
	Z	0.6	0.8	0.9	0.7
Agosto	F	0.9	0.8	0.7	0.8
	Z	0.4	0.7	0.8	0.9
Septiembre	F	0.5	0.3	0.8	0.7
	Z	0.7	0.8	0.8	0.7

F: fitoplancton

Z: zooplancton

-- no se estimó



Estaciones:

—△— Fitoplancton
 -▼- Zooplancton

A) Temixco (Km 0)
 B) Xochitepec (Km 10)
 C) Descarga Ingenio (Km 30)
 D) Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 32)

Fig. 10. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Apatlaco, Edo de Morelos (1990).

fitoplancton en comparación con las demás estaciones (Fig 11). En relación con el zooplancton, la mayor diversidad se encontró en la última estación Confluencia Apatlaco-Yautepec (Km 32) (Figura 11).

Los resultados promedio del índice secuencial de comparación (ISC) (Cuadro 8, Fig 12) muestran aguas semicontaminadas a lo largo del río a excepción de la estación Xochitepec, en donde se presentaron aguas contaminadas.

La prueba estadística de Z para fitoplancton indicó en general que en los meses abril, mayo, junio y septiembre hubo diferencias significativas (Cuadro 9). Esto indica que las poblaciones son distintas. En cuanto a julio y agosto, en general no hubo diferencia significativa, podemos decir que la estructura de las comunidades es más permanente en la mayoría de las estaciones o que pertenecen a una misma población. En lo referente al zooplancton en general también presentó este último patrón (Cuadro 10).

En el conteo de organismos por mililitro (Cuadro 11) se encontró que se presentan florecimientos algales en la estación Xochitepec (Km 10) en el mes de abril con 78144 org/mL. Considerando que 1000 org/mL es una cantidad promedio de acuerdo a conteos posteriores desde 1981 en este río, en general en la mayoría de los meses se mantuvo un número por arriba de este promedio en todas las estaciones.

Finalmente las especies que se pudieron identificar en este río (Cuadro 12) se encuentran asociadas principalmente con la contaminación de tipo orgánica, así como a otros diferentes contaminantes, según lo reportan Loez y Salibián (1990).

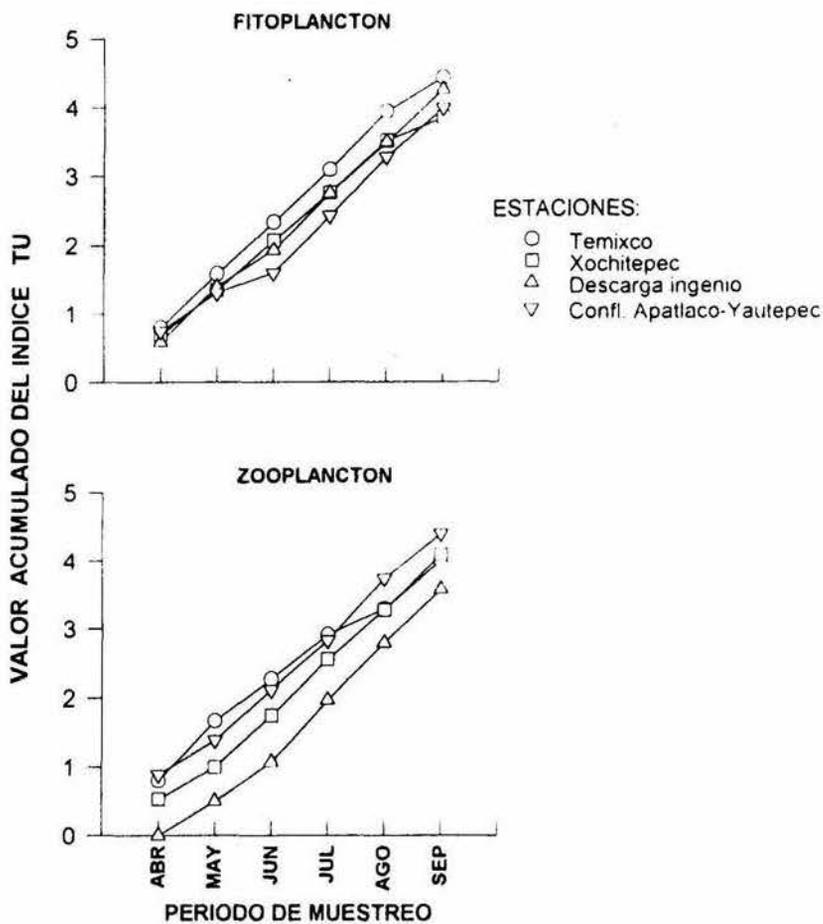


Fig 11 Valor acumulado del indice TU en las estaciones del rio Apatlaco. Edo de Morelos (1990)

Cuadro 8. Resultados del Índice Secuencial de Comparación (ISC), obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990).

ESTACION	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	PROMEDIO ± DESVIACION ESTANDAR
TEMIXCO (Km 0)	7	8	11	9	7	11	9 ± 2
XOCHITEPEC (Km 10)	2	5	7	9	1	3	5 ± 3
DESCARGA INGENIO (Km 30)	4	11	3	12	15	5	8 ± 5
CONFL. APATLACO YAUTEPEC (Km 32)	8	5	6	13	12	7	8 ± 3

Escala:

0 - 8 Agua Contaminada
 8 - 12 " Semicontaminada
 12 - ∞ " Limpia

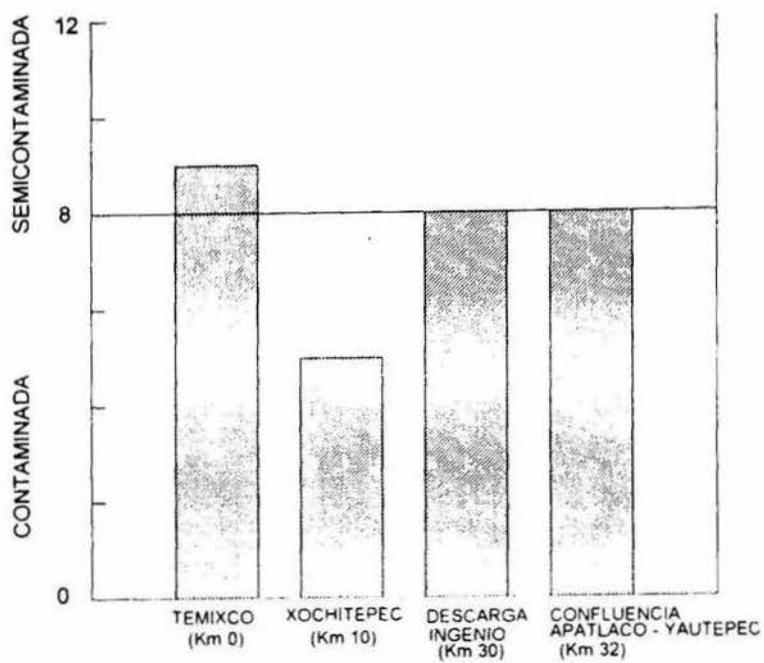


Fig. 12. Resultados promedio del Índice Secuencial de Comparación (ISC) en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990).

Cuadro 9 Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el periodo de muestreo en las estaciones del rio Apallaco. Edo. de Morelos (1990)

MES Y ESTACION	XOCHITEPEC	DESCARGA INGENIO	CONFLUENCIA APATLACO - YAUTEPEC
ABRIL			
Temixco	4.78**	9.08**	0.63
Xochitepec		11.27**	-0.78
D. Ingenio			-2.12*
MAYO			
Temixco	3.73**	-0.45	3.40**
Xochitepec		-3.23**	1.51
D. Ingenio			3.37**
JUNIO			
Temixco	0.32	2.52*	5.00**
Xochitepec		3.76**	7.16**
D. Ingenio			4.62**
JULIO			
Temixco	0.43	-0.58	-0.66
Xochitepec		1.36	-1.45
D. Ingenio			-0.19
AGOSTO			
Temixco	1.12	1.26	0.14
Xochitepec		0.11	-1.68
D. Ingenio			-2.21*
SEPTIEMBRE			
Temixco	1.61	-2.81**	-2.35*
Xochitepec		-8.27**	-7.46**
D. Ingenio			1.08

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Cuadro 10. Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990)

MES Y ESTACION	XOCHITEPEC	DESCARGA INGENIO	CONFLUENCIA APATLACO - YAUTEPEC
ABRIL			
Temixco	1.84	---	-1.72
Xochitepec		---	-2.48*
D. Ingenio			---
MAYO			
Temixco	3.98**	1.68	1.68
Xochitepec		-0.11	-0.11
D. Ingenio			0.00
JUNIO			
Temixco	-1.31	0.15	-1.03
Xochitepec		1.11	0.29
D. Ingenio			-0.93
JULIO			
Temixco	-1.16	-1.61	-0.42
Xochitepec		-1.04	0.97
D. Ingenio			1.52
AGOSTO			
Temixco	-2.26*	-3.16**	-3.69**
Xochitepec		-1.15	-2.04*
D. Ingenio			-1.26
SEPTIEMBRE			
Temixco	-1.54	-1.12	0.68
Xochitepec		0.63	2.18*
D. Ingenio			1.81

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

--- no se pudo estimar

Cuadro 11. Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Apatlaco, Edo. de Morelos (1990)

ESTACIONES	MESES					
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
TEMIXCO	2762	1100	1120	500	640	1321
XOCHITEPEC	78144	16133	2061	720	1561	4363
DESCARGA INGENIO	28863	1020	3883	900	3442	4203
CONFLUENCIA APATLACO- YAUTEPEC	400	1621	4123	1661	1521	3322

Cuadro 12. Especies de algas identificadas en el río Apatlaco, asociadas a diferentes contaminantes según Loez y Salibián (1990)

DIVISION	ESPECIES
CYANOPHYTA	<i>Anabaena sp</i> = e, m.o. <i>Oscillatoria tenuis</i> = ac, c, mix, ph <i>Spirulina major</i> = m.o.
CHRYSOPHYTA	<i>Navicula cryptocephala</i> = ac, c, mes, mix, ph <i>Synedra ulna</i> = ac, c, mes-e, mix, m.o., pe, po, ph, suc, t.
EUGLENOPHYTA	<i>Euglena acus</i> = anox, Cr, het, mes, m.o.
CHLOROPHYTA	<i>Scenedesmus quadricauda</i> = c, mix, m.o., po, t.

ac = acero
anox = anoxia
c = celulosa
Cr = cromo
e = eutrófico
het = heterotrófico
mes = mesosapróbico
mes-e = meso-eutrófico

mix = contaminación mixta
m.o. = materia orgánica
pe = petróleo
ph = fenoles
po = polisapróbico
suc = Ingenio azucarero
t = taninos

6.2 RIO CUAUTLA

6.2.1 Análisis fisicoquímico.

A continuación se presenta el análisis en las estaciones San Pedro (Km 0) Barranca Ayala (Km 5), San Rafael (Km 22), Mezquitera (Km 42) y Nexpa (km 53).

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se anotan en el cuadro 13 y en el cual podemos ver lo siguiente:

La temperatura ambiental máxima se encontró en Mezquitera en el mes de mayo con 42°C y la mínima en Barranca Ayala en abril con 21°C. En general en el mes de mayo se encontraron los valores mas altos pero a partir del mes de junio fue descendiendo y estabilizándose (Fig. 13).

Tomando en cuenta el límite permisible del valor natural de temperatura del agua de este río el cual es:

$$\begin{array}{l} \bar{x} \text{ secas} = 23.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \qquad \bar{x} \text{ lluvias} = 25.1 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \text{intervalo del valor natural} \\ 22.1 \text{-----}26.6 \end{array}$$

y observando los resultados obtenidos los cuales son:

$$\bar{x} \text{ secas} = 28.1 \text{ }^{\circ}\text{C} \qquad \bar{x} \text{ lluvias} = 26.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

podemos observar que la temperatura del agua está por arriba del intervalo del valor natural en la época de secas

El valor máximo de temperatura del agua se encontro en la estación San Rafael en el mes de abril con 36°C y el mínimo lo presento la estación San Pedro en ese mismo mes con 18°C, la cual se encuentra a 6 Km aguas abajo de la zona de manantiales (Fig 13).

En promedio se tiene que la temperatura mínima ambiental se encontró en Barranca Ayala con 24°C y la máxima en San Rafael con 32°C. La temperatura mínima del agua en promedio fue en San Pedro con 23°C y la máxima en San Rafael con 30°C (Cuadro 14, Fig. 14).

El pH registrado (Cuadro 13) se encontró dentro del límite permisible (Cuadro 1), es básico y está dentro de la zona óptima para la productividad de plancton, según Arrignon (1979).

Cuadro 13 Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Cuautla, Edo. de Morelos, 1990

Estación y mes de muestreo	Temperatura (°C)		pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (µmhos/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)	SOLIDOS (mg/L)		Totales
	Ambiente	Agua						Suspendidos	Disueltos	
SAN PEDRO (Km 0)										
Abril	22	18	7.0	3.6	---	212	244	20	346	366
Mayo	36	25	7.9	6.3	350	214	248	204	468	672
Junio	23	23	7.8	5.7	360	194	180	4	280	284
Julio	26	23	7.7	5.9	300	116	134	21	305	326
Agosto	26	24	7.5	4.9	360	118	161	86	194	280
Septiembre	28	25	8.4	6.5	400	166	159	2	294	296
BARRANCA AYALA (Km 5)										
Abril	21	30	7.0	2.6	---	220	300	14	426	440
Mayo	35	26	7.6	2.2	550	224	280	20	362	382
Junio	25	25	7.7	3.0	460	204	300	14	332	346
Julio	28	24	7.5	4.4	310	116	129	20	340	360
Agosto	27	25	7.8	5.3	410	146	172	60	310	370
Septiembre	27	24	7.8	3.9	480	186	198	21	355	376
SAN RAFAEL (Km 22)										
Abril	30	36	7.0	6.3	---	---	---	---	---	---
Mayo	40	33	8.6	8.4	1050	290	450	---	---	---
Junio	29	28	8.3	5.3	460	144	246	---	---	---
Julio	31	27	8.1	4.8	600	188	235	---	---	---
Agosto	30	26	7.6	5.0	370	118	179	---	---	---
Septiembre	31	28	8.4	7.5	900	226	364	---	---	---
MEZQUITERA (Km 42)										
Abril	34	31	7.0	5.6	---	240	444	26	664	690
Mayo	42	32	8.6	9.6	1000	246	426	44	612	656
Junio	26	29	8.4	5.8	---	266	266	86	602	688
Julio	30	29	8.3	6.0	900	248	314	9	593	602
Agosto	28	29	8.4	7.3	900	212	316	44	526	570
Septiembre	27	27	8.3	6.8	800	216	310	12	566	578
NEXPA (Km 53)										
Abril	37	32	7.0	6.0	---	200	570	44	826	870
Mayo	30	27	8.2	7.4	1250	438	580	42	914	956
Junio	26	27	8.6	7.0	1000	264	312	8	730	738
Julio	27	28	8.6	4.6	750	210	300	12	776	788
Agosto	30	28	8.2	6.4	950	194	361	60	548	608
Septiembre	30	27	8.2	6.0	850	190	322	16	600	616

--- No se determinaron

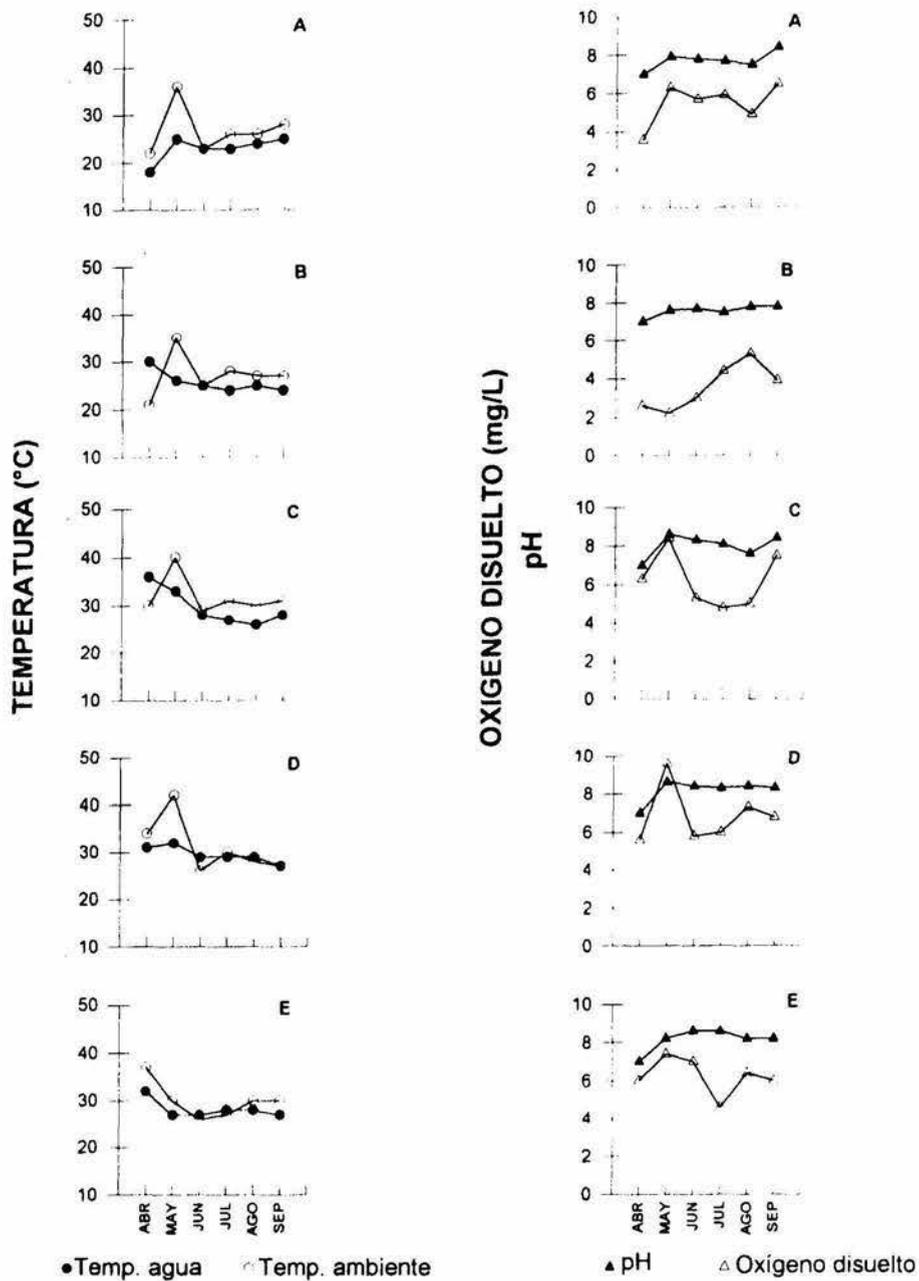


Fig. 13. Resultados fisicoquímicos en las estaciones del río Cuautla: A- San Pedro (Km 0), B- Barranca Ayala (Km 5), C- San Rafael (Km 22), D- Mezquitera (Km 42) y E- Nexpa (Km 53)

Cuadro 14 Resultados promedio y desviación standar de fisicoquimicos determinados en las estaciones del rio Cuautla, Edo de Morelos (1990).

FISICOQUIMICO	SAN PEDRO (Km 0)	BARRANCA AYALA (Km 5)	SAN RAFAEL (Km 22)	MEZQUITERA (Km 42)	NEXPA (Km 53)
Temperatura ambiente (°C)	27 ± 5.0	24 ± 4.5	32 ± 4.0	31 ± 6	30 ± 3.8
Temperatura agua (°C)	23 ± 2.6	26 ± 2.2	30 ± 3.9	30 ± 1.7	28 ± 2
pH	7.7 ± 0.4	7.6 ± 0.3	8.0 ± 0.6	8.2 ± 0.6	8.1 ± 0.5
Oxigeno disuelto (mg/L)	5.5 ± 1	3.5 ± 1.1	6.2 ± 1.4	6.8 ± 1.4	6.2 ± 1
Conductividad (µmhos / cm)	354 ± 36	442 ± 89	676 ± 288	900 ± 816	960 ± 188
Alcalinidad (mg/L)	170 ± 445	183 ± 432	193 ± 68	238 ± 20	249 ± 96
Dureza (mg/L)	188 ± 47	230 ± 73	295 ± 110	346 ± 71	407 ± 131
Sólidos suspendidos (mg/L)	56 ± 79	25 ± 17	---	39 ± 28	30 ± 21
Sólidos disueltos (mg/L)	315 ± 90	354.1 ± 39.6	---	594 ± 46	732 ± 138
Sólidos totales (mg/L)	371 ± 151	379 ± 32	---	631 ± 54	763 ± 138

--- No se determinaron.

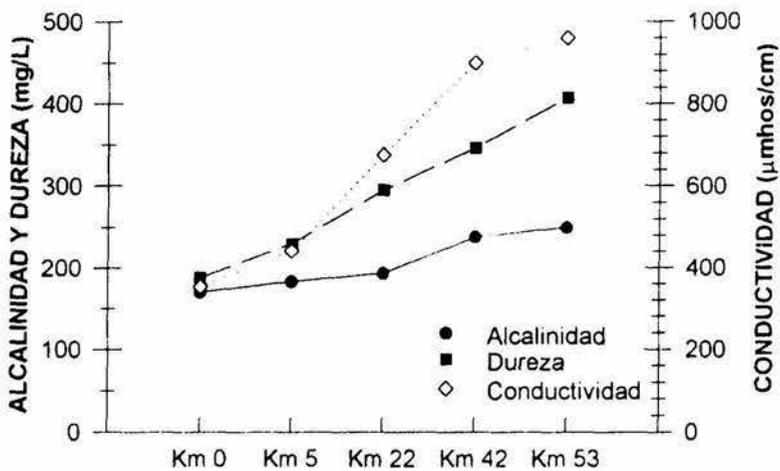
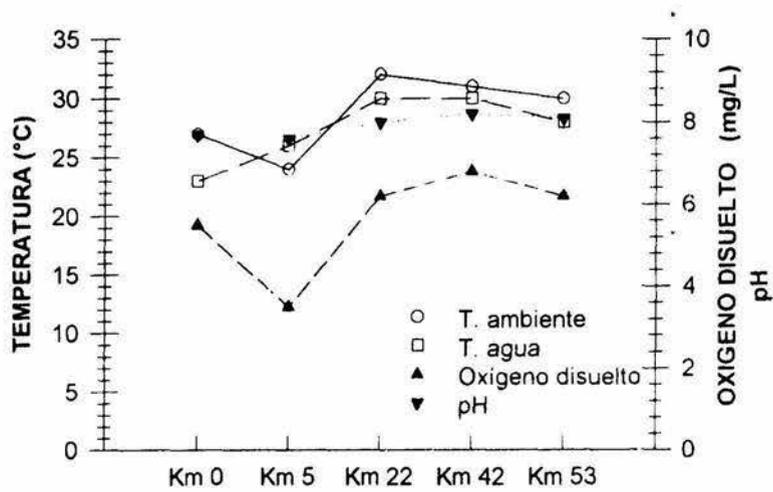


Figura 14. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Cuautla, Edo. de Morelos, (1990).

En la figura 13 podemos observar que su valor aumenta en las últimas 3 estaciones, esto puede deberse a la cantidad de sedimentos que presentan Mg y HCO_3^- , lo cual contribuye posiblemente a este comportamiento. En promedio los valores estuvieron entre 7.6 y 8.2 (Cuadro 14, Fig.14).

El oxígeno disuelto promedio osciló entre 3.5 y 6.8 mg/L (Cuadro 14, Fig.14), encontrándose los valores más bajos en la estación Barranca Ayala, los cuales en su mayoría están por debajo del límite permisible. La estación San Pedro se encontró en esa condición en los meses de abril y agosto. Las estaciones San Rafael, Nexpa y Mezquitera en su mayoría presentan concentraciones de oxígeno disuelto aceptable para el desarrollo de la vida acuática (Diario Oficial de la Federación, 1989) (Cuadro 13, Fig.13). En general se presenta una calidad aceptable del agua en cuanto a este parámetro con excepción de la estación Barranca Ayala, en la cual según la escala de Mortimer (Wetzel, 1981) el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto fue de 50%, probablemente debido a las descargas y mal funcionamiento de la Tenería Morelos, ya que esta se encuentra ubicada entre la estación San Pedro y dicha estación.

La conductividad en general, está dentro del límite permisible como se puede observar en los resultados (Cuadro 13, Fig. 15). Los valores más altos se encontraron en el mes de mayo a partir de la estación de Barranca Ayala.

En promedio, el valor mínimo lo presenta la estación San Pedro, con 354 $\mu\text{mhos/cm}$ y el máximo lo representa la estación Nexpa con 960 $\mu\text{mhos/cm}$ (Cuadro 14, Fig. 14). La conductividad fue aumentando conforme el río avanza hacia abajo y se acerca a la confluencia con el río Amacuzac. Esto pudo deberse posiblemente al incremento de la concentración de sólidos por los aportes de sales de Ca y Mg que tiene el lecho, los cuales pueden ser resultado de la erosión.

La alcalinidad promedio se presentó dentro del límite permisible (Cuadro 14, Fig. 14). En las estaciones: San Rafael (en mayo), Mezquitera (en junio) y Nexpa (mayo y junio) rebasan el límite permisible. En general se presentan buenas condiciones.

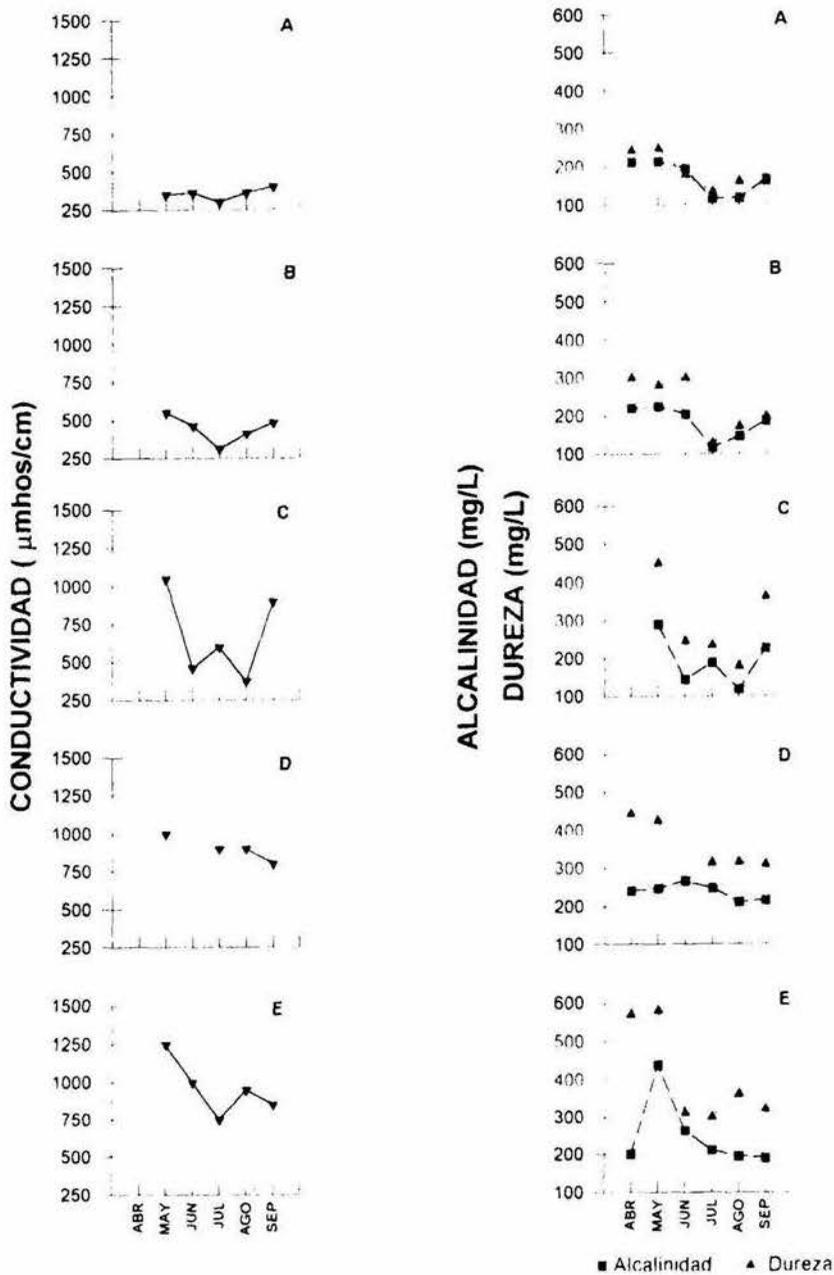


Fig 15 Resultados fisicoquímicos durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Cuautla A- San Pedro (Km 0). B- Barranca Ayala (Km 5). C- San Rafael (Km 22). D- Mezquitera (Km 42) y E- Nexpa (Km 53).

La dureza rebasa el límite permisible. Esta aumenta conforme se avanza río abajo, por lo que la última estación (Nexpa) presenta las concentraciones más altas ya que es la receptora del material erosionado. Tomando en cuenta los promedios de dureza según Arrignon (1979) se presentan aguas incrustantes muy duras (con frecuencia magnésicas) (Cuadro 14, Fig. 14).

En promedio los sólidos suspendidos rebasan el límite permisible en las estaciones San Pedro, Mezquitera y Nexpa, mientras que los sólidos disueltos y totales se encontraron dentro de sus límites (Cuadro 14). Los valores más altos de éstos se presentaron en la última estación que es Nexpa, ya que es la receptora de todo el material erosionado (Fig. 16).

6.2.2 Análisis Biológico.

En este río se identificaron 28 géneros planctónicos, de los cuales el 68 % pertenecen al fitoplancton y el 32 % al zooplancton, mostrando las siguientes proporciones en cada taxa

Fitoplancton:

Chromophyta	28%
Chlorophyta	28%
Euglenophyta	7%
Cyanophyta	4%

Zooplancton:

Rotifera	18%
Protozoa	15%
Total	100%

Como se puede apreciar para fitoplancton se presentaron dos grupos dominantes: Chromophyta y Chlorophyta, en zooplancton el grupo dominante fue Rotifera (Cuadros

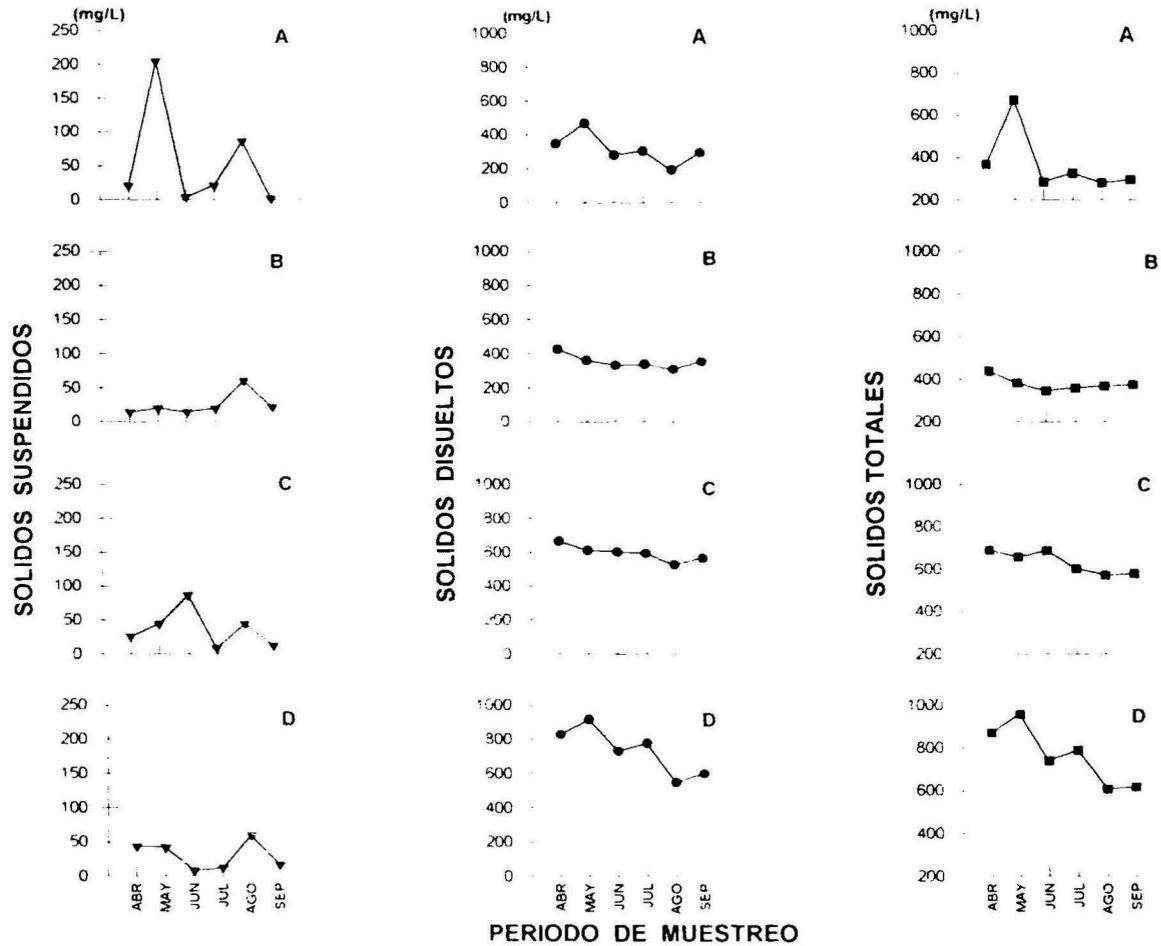


Fig. 16. Resultados de sólidos suspendidos ▽, sólidos disueltos ● y sólidos totales ■, en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990)

Estaciones: A) San Pedro (Km 0), B) Barranca Ayala (Km 5), C) Mezquitera (Km 42), D) Nexpa (Km 53)

15 y 16).

En fitoplancton los géneros de *Synedra* y *Nitzschia* presentaron una tendencia a permanecer durante todo el muestreo e indican contaminación en el río, según Palmer 1975, estos organismos son considerados tolerantes a la contaminación orgánica. Los géneros de zooplancton *Brachionus* y *Arcella* se presentaron mas constantes en la mayoría de los meses.

En los resultados de abundancia relativa (Fig 17) el grupo de fitoplancton mas abundante a lo largo del muestreo fue Chromophyta y de zooplancton fue el Protozoa (excepto en la estación San Rafael), predominando el género *Arcelia* el cual es considerado característico de zonas mesosaprobias, en donde se lleva a cabo una mineralización activa de materia orgánica. (Kudo, 1982) (Fig. 18).

El índice de Shannon-Weaver (Cuadro 17, Fig 19) indicó que la diversidad es baja para fitoplancton y zooplancton en la estación Mezquitera en comparación con la reportada por García 1985, con esto podemos observar que la comunidad esta siendo afectada por las condiciones que presenta el río. Los valores en general se consideran dentro de una contaminación moderada según la escala propuesta por Wilhm y Dorris mencionada por Persoone y de Pauw (1978)

En lo referente al índice TU (Cuadro 18) se sacaron las diversidades acumulativas como en el río anterior. Se obtuvo que la estación San Rafael y la estación Barranca Ayala presentaron la mayor diversidad de fitoplancton y zooplancton respectivamente en comparación con las demás estaciones (Fig 20)

Los resultados promedio del ISC muestran contaminación en todas las estaciones (Cuadro 19, Fig. 21).

La prueba de Z en general señalo una diferencia significativa para fitoplancton en la mayoría de los meses a excepción de junio. Esto indica que las poblaciones son diferentes. En zooplancton no hubo diferencia significativa la comunidad fue más

Cuadro 15. Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos, basada en Ortega (1984), identificados en el río Cuautla, Edo. de Morelos (1990)

DIVISION	ORDEN	GENERO
CYANOPHYTA	Nostocales	<i>Oscillatoria</i>
CHROMOPHYTA	Coccinodiscales	<i>Cyclotella</i> <i>Melosira</i>
	Diatomales	<i>Synedra</i>
	Naviculales	<i>Navicula</i> <i>Cymbella</i> <i>Gomphonema</i> <i>Nitzschia</i> <i>Surirella</i>
EUGLENOPHYTA	Euglenales	<i>Euglena</i> <i>Phacus</i>
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Ankistrodesmus</i> <i>Scenedesmus</i> <i>Pediastrum</i>
	Chaetophorales	<i>Stigeoclonium</i>
	Siphonocladales	<i>Cladophora</i>
	Zygnematales	<i>Spirogyra</i>
	Desmidiiales	<i>Closterium</i> <i>Cosmarium</i>

Cuadro 16. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos, basada en Edmonson (1959), identificados en el río Cuautla, Edo. de Morelos (1990)

PHYLUM	ORDEN	GENERO
PROTOZOA	Testacida	<i>Arcella</i>
	Peritrichida	<i>Epistylis</i> <i>Vorticella</i>
	Holotrichida	<i>Didinium</i>
ROTIFERA	Ploima	<i>Brachionus</i> <i>Lecane</i>
	Flosculariaceae	<i>Testudinella</i> <i>Filinia</i>
	Bdelloidea	<i>Rotaria</i>

Ademas de nemátodos, larvas de crustáceos e insectos

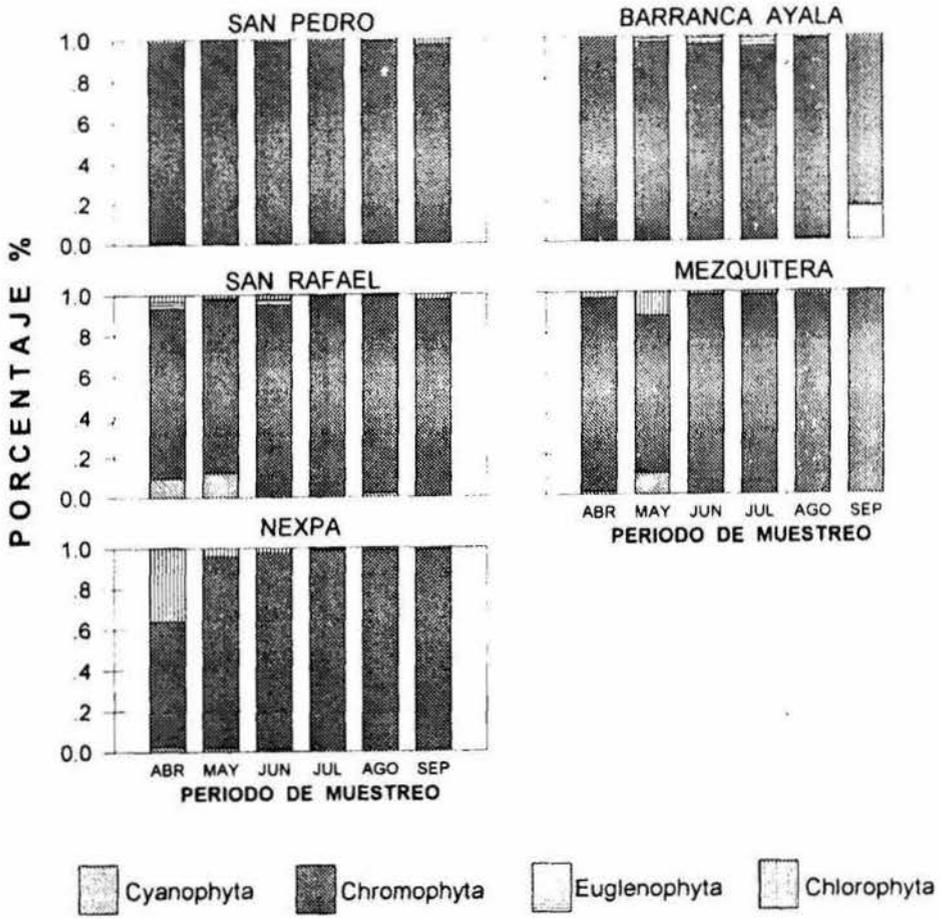


Fig. 17. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Cautla, Edo. de Morelos (1990).

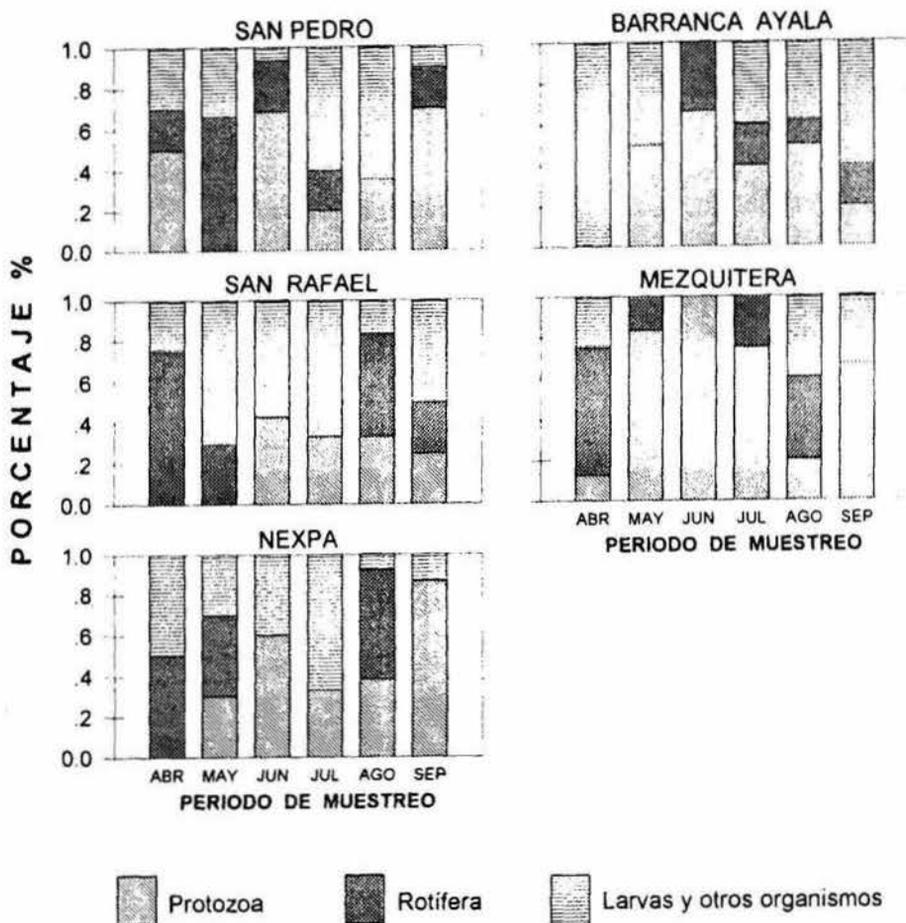


Fig. 18. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990).

Cuadro 17. Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Cuautla, Edo de Morelos (1990).

Mes de muestreo		San Pedro (Km 0)	Barranca Ayala (Km 5)	San Rafael (Km 22)	Mezquitera (Km 42)	Nexpa (Km 53)
Abril	F	1.1	0.3	1.8	1.7	1.9
	Z	1.3	0.7	0.7	1.5	1.1
Mayo	F	0.7	1.1	1.7	1.5	1.8
	Z	1	1	1.9	1.8	1.7
Junio	F	0.7	1.1	1.3	1.3	1.4
	Z	1.6	1	0.5	0	0.9
Julio	F	0.7	1	1.4	0.7	0.9
	Z	0.9	1.3	1.2	1.1	0.9
Agosto	F	0.7	1.4	1.5	0.7	1.2
	Z	1.4	1.9	1	1.3	1.1
Septiembre	F	1.3	1.4	0.6	0.3	0.2
	Z	1.5	1.1	1.7	0.6	0.7

Cuadro 18. Resultados del índice TU en las estaciones del río Cuautla, Edo de Morelos (1990).

Mes de muestreo		San Pedro (Km 0)	Barranca Ayala (Km 5)	San Rafael (Km 22)	Mezquitera (Km 42)	Nexpa (Km 53)
Abril	F	0.5	0.1	0.8	0.7	0.9
	Z	0.7	1	0.5	0.8	0.7
Mayo	F	0.2	0.5	0.6	0.6	0.8
	Z	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9
Junio	F	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6
	Z	0.8	0.7	0.4	0	0.7
Julio	F	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4
	Z	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6
Agosto	F	0.3	0.7	0.7	0.3	0.5
	Z	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7
Septiembre	F	0.7	0.8	0.2	0.1	0
	Z	0.8	0.6	0.9	0.7	0.6

F: fitoplancton
Z: zooplancton

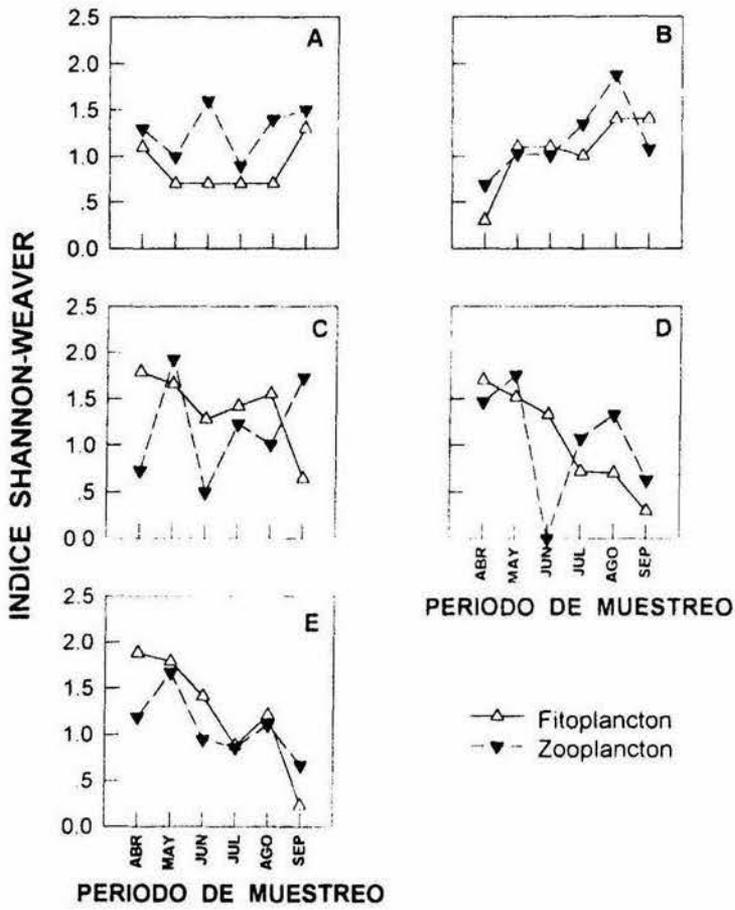


Fig. 19. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990)
 Estaciones A- San Pedro (Km 0) B- Barranca Ayala (Km 5)
 C- San Rafael (Km 22). D- Mezquitera (Km 42) y E- Nexpa (Km 53)

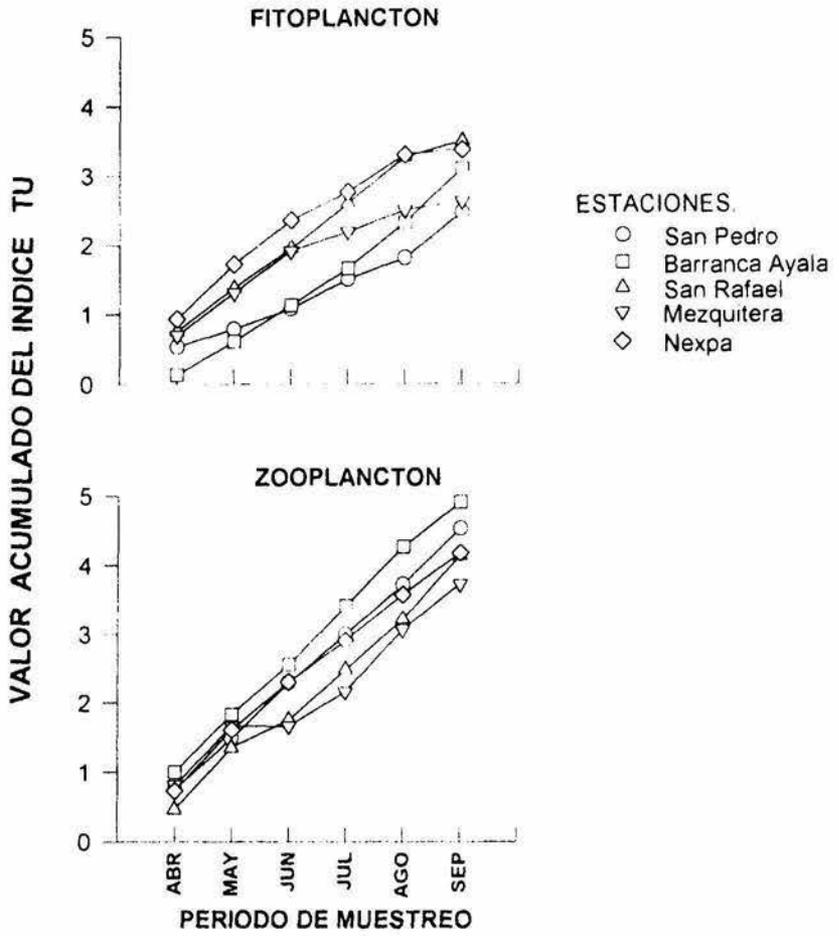


Fig. 20. Valor acumulado del índice TU en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990)

Cuadro 19. Resultados del Índice Secuencial de Comparación (ISC), obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990).

ESTACION	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	PROMEDIO± DESVIACION ESTANDAR
SAN PEDRO (Km 0)	1	0	1	3	8	2	3 ± 3
BARRANCA AYALA (Km 5)	0	0	14	13	4	14	8 ± 7
SAN RAFAEL (Km 22)	13	7	9	5	2	1	6 ± 4
MEZQUITERA (Km 42)	2	2	2	1	0	0	1 ± 1
NEXPA (Km 51)	2	8	6	2	2	0	3 ± 3

Escala:

- 0 - 8 Agua Contaminada
- 8 - 12 " Semicontaminada
- 12 - ∞ " Limpia

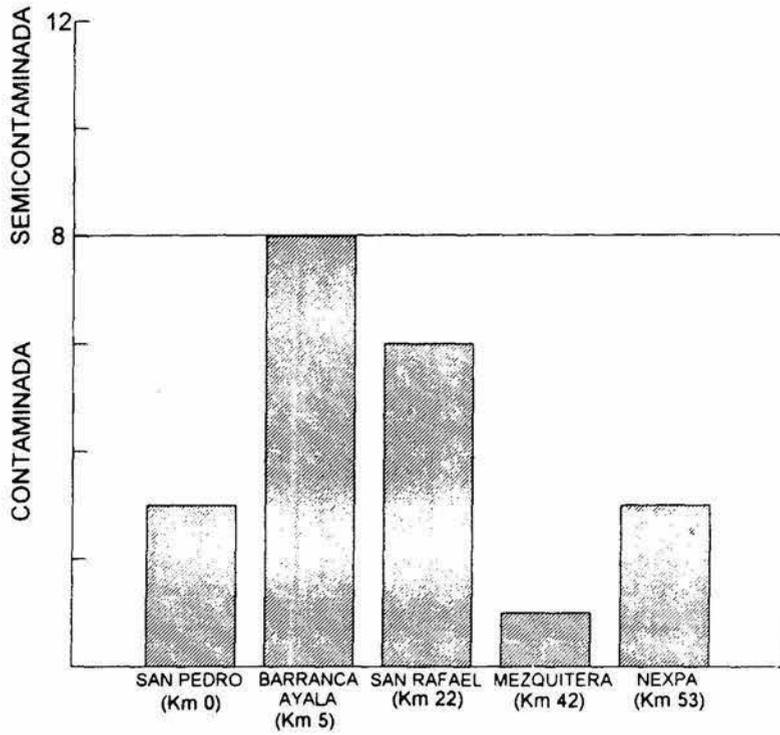


Fig. 21. Resultados promedio del Indice Secuencial de Comparación (ISC) en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990).

permanente a lo largo del muestreo en todas las estaciones (Cuadros 20 y 21)

Finalmente el conteo de organismos por mililitro mostró que a lo largo del muestreo se encontraron valores por arriba del promedio (1000 org/mL) con excepción de la estación Barranca Ayala. Se presentaron florecimientos algales en San Pedro en abril, Mezquitera en agosto y en San Rafael en septiembre (Cuadro 22)

Cuadro 20. Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990).

MES Y ESTACION	BARRANCA AYALA	SAN RAFAEL	MEZQUITERA	NEXPA
ABRIL				
San Pedro	9.77**	-5.08**	-2.88**	-10.72**
Barranca Ayala		-10.65**	-8.31**	-14.63**
San Rafael			0.80	-3.28**
Mezquitera				-3.58**
MAYO				
San Pedro	-1.92	-12.25**	-6.13**	-12.37**
Barranca Ayala		-1.23	-0.99	-2.35*
San Rafael			-0.12	-3.59**
Mezquitera				-2.45*
JUNIO				
San Pedro	-2.00*	-3.43**	-6.85**	-9.93**
Barranca Ayala		-0.38	-0.68	-1.00
San Rafael			-1.32	-0.75
Mezquitera				-0.67
JULIO				
San Pedro	-1.01	-4.14**	2.12*	0.06
Barranca Ayala		-1.05	2.23*	1.14
San Rafael			12.07**	8.15**
Mezquitera				-3.80**
AGOSTO				
San Pedro	-6.28**	-8.70**	-0.13	-5.92**
Barranca Ayala		-0.11	7.69**	2.75**
San Rafael			14.54*	5.07***
Mezquitera				-11.81
SEPTIEMBRE				
San Pedro	-1.69	30.98**	39.60**	46.16**
Barranca Ayala		7.48**	9.02**	9.51**
San Rafael			7.49**	10.48**
Mezquitera				2.44*

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Cuadro 21. Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el periodo de muestreo en las estaciones del rio Cuautla, Edo de Morelos (1990)

MES Y ESTACION	BARRANCA AYALA	SAN RAFAEL	MEZQUITERA	NEXPA
ABRIL				
San Pedro	2.11*	1.30	-0.50	0.16
Barranca Ayala		2.80**	-3.78**	3.51**
San Rafael			-1.79	-1.31
Mezquitera				0.94
MAYO				
San Pedro	-0.62	-1.49	-1.08	-1.29
Barranca Ayala		-0.47	-0.18	-0.39
San Rafael			0.57	0.08
Mezquitera				0.38
JUNIO				
San Pedro	0.78	1.91	---	0.67
Barranca Ayala		1.40	---	0.16
San Rafael			---	-1.08
Mezquitera				---
JULIO				
San Pedro	-0.88	-0.23	0.90	0.38
Barranca Ayala		1.53	3.18**	1.31
San Rafael			1.89	0.70
Mezquitera				0.38
AGOSTO				
San Pedro	-1.70	-0.08	-1.54	0.43
Barranca Ayala		1.19	-0.43	2.27*
San Rafael			-1.24	0.43
Mezquitera				1.94
SEPTIEMBRE				
San Pedro	1.11	-1.21	0.79	1.92
Barranca Ayala		-1.92	-0.10	0.27
San Rafael			1.40	3.35**
Mezquitera				0.33

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Cuadro 22. Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el período de muestreo en las estaciones del río Cuautla, Edo. de Morelos (1990).

ESTACIONES	MESES					
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
SAN PEDRO	56126	16093	34108	1741	3643	20156
BARRANCA AYALA	2281	780	640	640	9287	440
SAN RAFAEL	1481	12170	1361	5404	5184	55686
MEZQUITERA	3282	36570	2241	14471	56126	31826
NEXPA	3823	1841	3562	12049	25581	31846

6.3 RIO YAUTEPEC

6.3.1 Analisis fisicoquímico

A continuación se presenta el análisis de las estaciones Pantitlan (Km 0), Ticumán (Km 25), El Rollo (Km 42), Confluencia Yautepec-Apatlaco (Km 45) y Tlatenchi (Km 47)

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos se presentan en el cuadro 23 y se puede observar lo siguiente:

La temperatura ambiental máxima se presentó en la estación Ticumán en el mes de abril, con 39°C y la mínima fue en Pantitlán en septiembre, con 24°C. En general los valores más altos se presentaron en los meses de abril y mayo mientras que en los otros meses fue disminuyendo (Fig. 22).

En lo que respecta a la temperatura del agua, tomando en cuenta el límite permisible del valor natural de este río, el cual es:

$$\begin{array}{l} \bar{x} \text{ secas} = 23.9 \quad \bar{x} \text{ lluvias} = 23.5 \\ \text{intervalo del valor natural} \\ 22.0 \text{-----} 25.4 \end{array}$$

y observando los resultados obtenidos, los cuales son:

$$\bar{x} \text{ secas} = 25.7 \quad \bar{x} \text{ lluvias} = 25.1$$

podemos observar que la temperatura del agua se encuentra levemente por arriba del intervalo del valor natural en la época de secas. En general los valores más altos se encontraron en agosto en las tres primeras estaciones mientras que en las dos últimas la temperatura tiene un comportamiento parecido. Se puede observar una diferencia entre los primeros y los últimos tres meses (Fig. 22). En promedio, el valor máximo lo presentó la estación Ticumán, con 26°C y el mínimo fue en la Confluencia Yautepec-Apatlaco, con 24°C (Cuadro 24, Fig.23).

El pH registrado se encontró dentro del límite permisible, es básico y está dentro de la zona óptima para la productividad del plancton según Arrignon, (1979) (Fig. 22). En promedio, los valores estuvieron entre 7.3 y 7.9 (Cuadro 24, Fig.23).

El oxígeno disuelto se encontró por debajo del límite permisible en la mayoría de las estaciones en los tres primeros meses, a excepción de la primera estación (Pantitlán) que

Cuadro 23. Parámetros fisicoquímicos determinados en el río Yautepec, Edo. de Morelos, 1990.

Estación y mes de muestreo	Temperatura (°C)		pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	Conductividad (µmhos/cm)	Alcalinidad (mg/L)	Dureza (mg/L)
	Ambiente	Agua					
PANTITLAN (Km 0)							
Abril	34	27	7.0	3.5	---	---	---
Mayo	28	26	7.8	7.0	2400	632	430
Junio	25	25	5.5	7.8	---	---	---
Julio	27	24	7.7	5.9	1000	212	459
Agosto	34	28	7.4	5.2	1800	400	924
Septiembre	24	24	8.3	6.7	2000	450	1050
TICUMAN (Km 23)							
Abril	39	25	7.0	2.4	---	---	---
Mayo	35	25	7.6	3.1	1050	336	456
Junio	30	25	7.3	2.8	700	220	254
Julio	30	27	8.1	6.0	900	176	375
Agosto	28	29	7.3	5.3	650	128	257
Septiembre	28	27	8.2	5.0	750	184	319
EL ROLLO (Km 40)							
Abril	30	27	7.0	1.9	---	---	---
Mayo	27	24	8.1	8.3	1200	306	450
Junio	27	26	7.9	4.4	800	282	288
Julio	29	25	8.1	6.4	800	196	358
Agosto	31	27	7.9	6.2	800	188	380
Septiembre	30	24	8.3	5.2	900	250	422
CONFLUENCIA YAUTEPEC-APATLACO (Km 43)							
Abril	31	26	6.0	1.6	2500	---	---
Mayo	26	26	7.7	6.0	1300	304	460
Junio	26	26	7.7	4.7	1100	304	304
Julio	26	23	7.7	6.1	800	178	308
Agosto	27	23	7.5	6.9	850	212	400
Septiembre	27	23	7.7	5.3	900	184	319
TLATENCHI (Km 45)							
Abril	30	26	6.0	0.0	650	---	---
Mayo	37	26	7.8	4.1	1300	338	510
Junio	25	26	7.7	1.9	1200	334	202
Julio	27	25	7.4	5.6	800	280	431
Agosto	26	24	7.5	6.2	900	180	369
Septiembre	29	24	8.1	5.1	900	216	403

--- No se determinaron

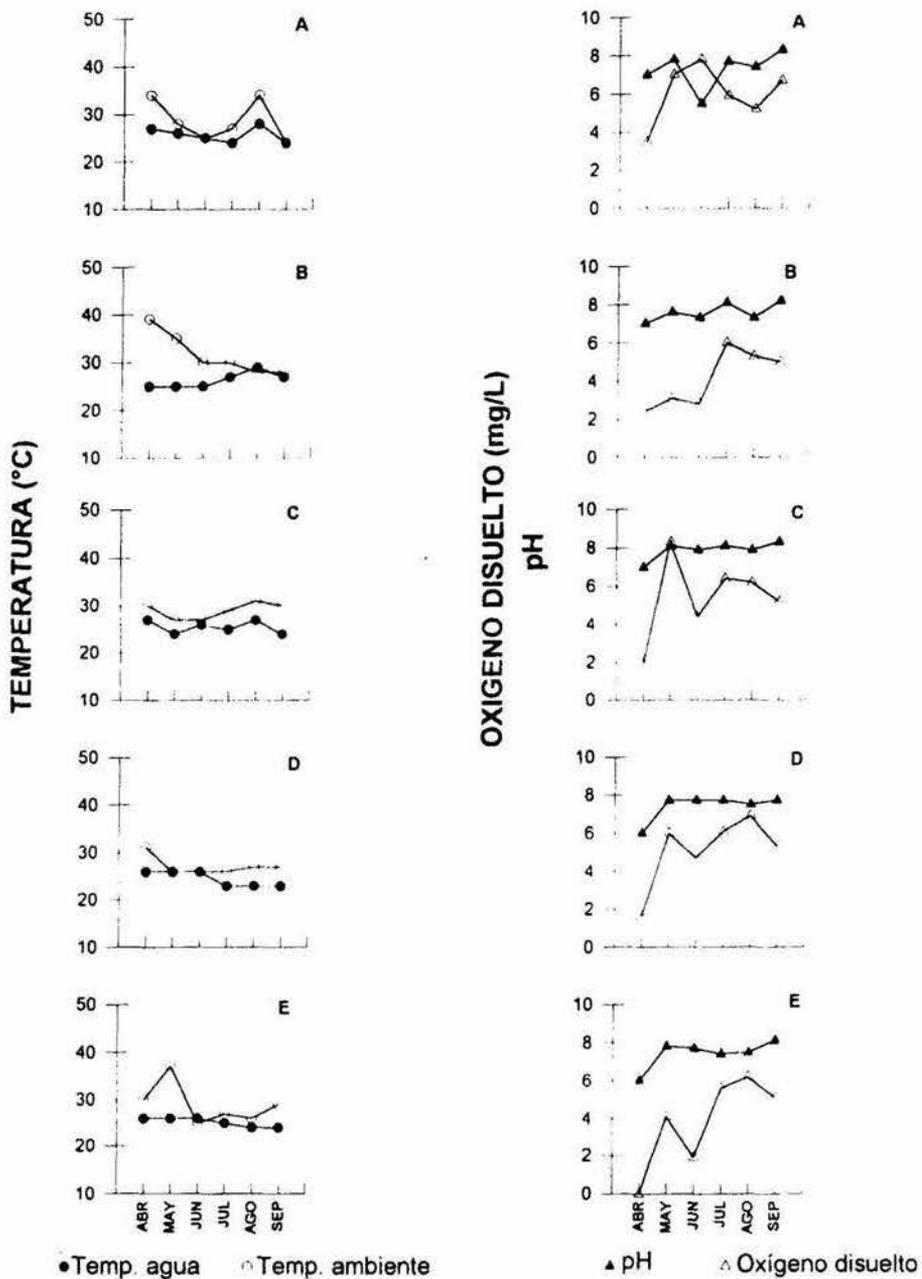


Fig. 22. Resultados fisicoquímicos en las estaciones del río Yautepic A- Pantitlán (Km 0), B- Ticmán (Km 25), C- El Rollo (Km 42), D- Confl. Yautepec-Apatlaco (Km 45) y E- Tiatenchi (Km 47)

Cuadro 24. Resultados promedio y desviación estándar de fisicoquímicos determinados en las estaciones del río Yautepec. Edo de Morelos (1990)

FISICOQUIMICO	PANTITLAN (Km 0)	TICUMAN (km 25)	EL ROLLO (Km 42)	CONFLUENCIA YAU - APA (Km 45)	TLATENCHI (Km 47)
Temperatura ambiente (°C)	29 ± 4.3	31 ± 4.2	29 ± 1.6	27 ± 1.9	29 ± 4.3
Temperatura agua (°C)	26 ± 1.6	26 ± 1.6	25 ± 1.3	24 ± 1.6	25 ± 0.9
pH	7.3 ± 0.9	7.6 ± 0.4	7.9 ± 0.9	7.4 ± 0.7	7.4 ± 0.7
Oxígeno disuelto (mg/L)	6 ± 1.5	4.1 ± 1.5	5.4 ± 2.1	5.1 ± 1.8	3.8 ± 2.4
Conductividad (µmhos / cm)	1825 ± 543	810 ± 163	700 ± 173	1242 ± 643	958 ± 245
Alcalinidad (mg/L)	423 ± 172	209 ± 78	244 ± 59	236 ± 63	270 ± 70
Dureza (mg/L)	716 ± 318	332 ± 85	380 ± 62	358 ± 69	383 ± 114

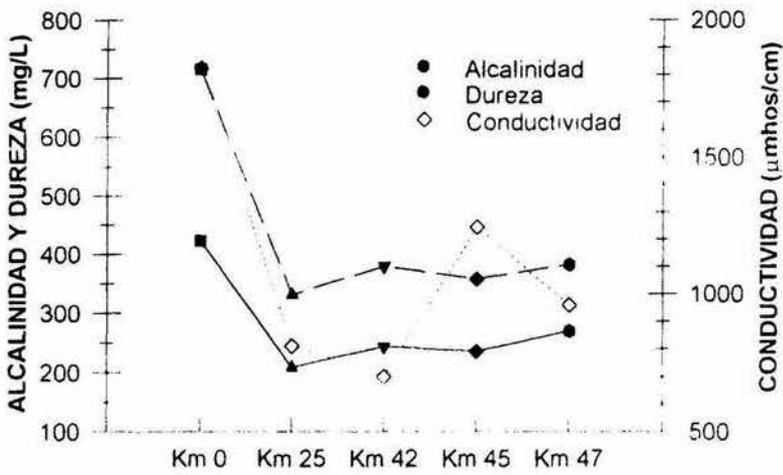
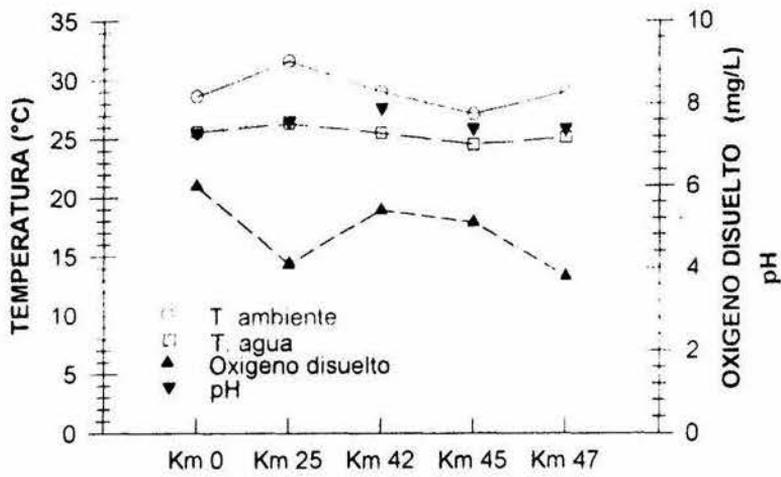


Figura 23. Resultados promedio de fisicoquímicos a lo largo del río Yautepec Edo de Morelos. (1990)

sólo tuvo este comportamiento en el mes de abril. A partir del mes de julio, se registraron valores por arriba del límite permisible. (Fig. 22)

El porcentaje de saturación de oxígeno encontrado más bajo, fue en Tlatenchi con 51%, según la escala de Mortimer (Wetzel, 1981), lo cual se puede deber a que esta estación recibe a la Confluencia Apatlaco-Yautepec la cual tuvo 39% de saturación.

La conductividad rebasa el límite permisible en la estación Pantitlán en el mes de mayo y en la Confluencia Yautepec-Apatlaco en septiembre. En la estación Pantitlán se presentan los valores más altos de todo el muestreo. Esto puede ser debido a que dicha estación se encuentra cerca de un basurero. La materia orgánica que cae al río, incrementa la concentración de iones al descomponerse.

Los valores registrados en general son altos, sin rebasar el límite, lo cual puede deberse a las aguas residuales que recibe este río casi a todo lo largo de su trayecto. Estas, al contener gran cantidad de sedimentos, plaguicidas y fertilizantes, pueden contribuir con tal incremento (Fig. 24).

En general se presentan condiciones aceptables.

La alcalinidad en la mayoría de las estaciones rebasan el límite permisible en los meses de mayo y junio.

La dureza también rebasa el límite permisible en todos los valores registrados, este comportamiento puede deberse a las descargas agrícolas que tiene el río en su trayectoria (Fig. 24).

Según Arrignon (1979) se presentan aguas incrustantes muy duras (con frecuencia magnésicas).

6.3.2 Análisis Biológico

En este río se identificaron 27 géneros planctónicos, de los cuales el 74% pertenecen al fitoplancton (Cuadro 25) y el 26% al zooplancton (Cuadro 26), presentándose las siguientes proporciones en cada taxa

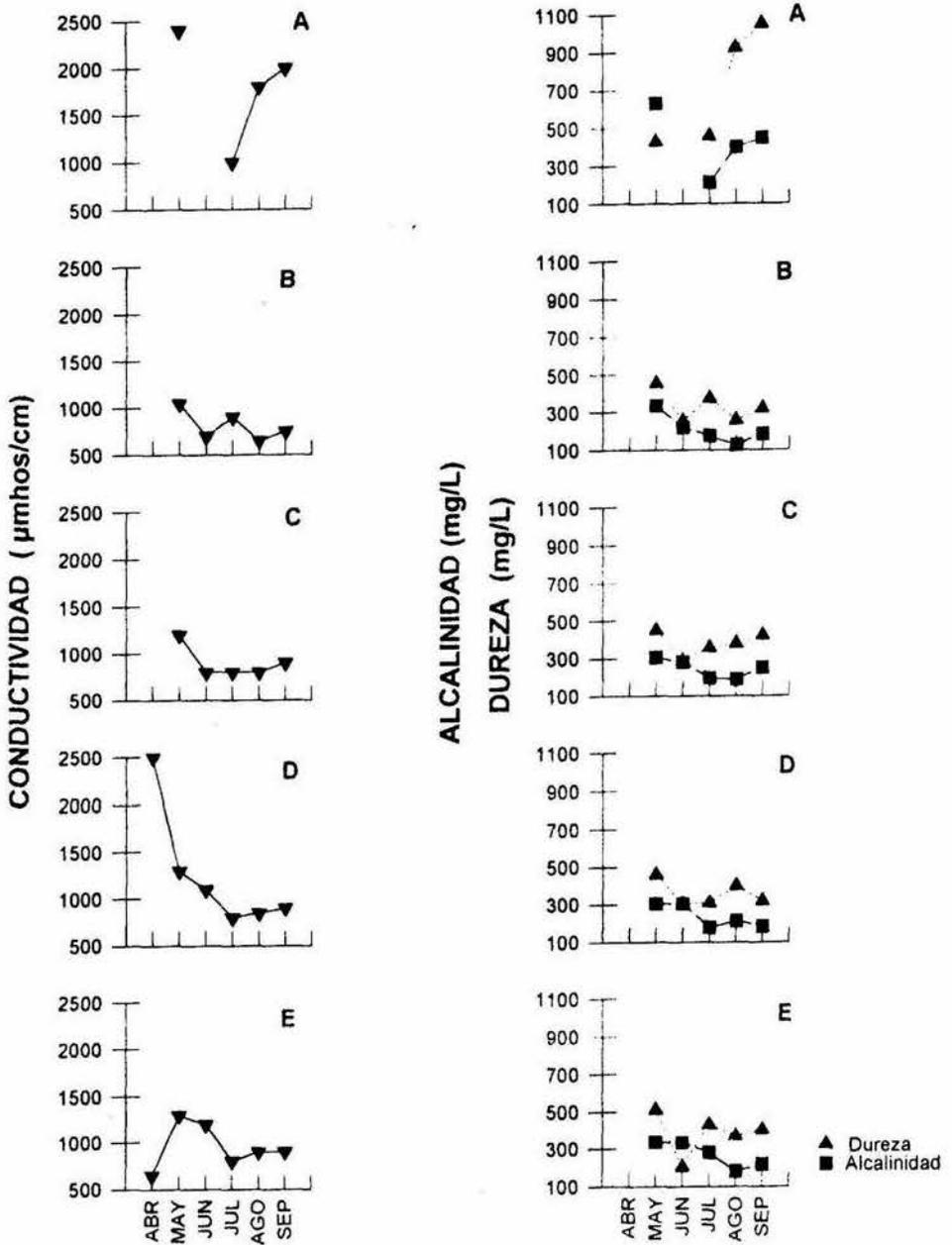


Fig. 24. Resultados fisicoquímicos en las estaciones del río Yautepec: A- Pantitlán (Km 0), B- Ticmán (Km 25), C- El Rollo (Km 42), D- Confl. Yautepec-Apatlaco (Km 45), y E- Tlatenchi (Km 47).

Cuadro 25. Clasificación taxonómica de organismos fitoplanctónicos, basado en Ortega (1984), identificados en el río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

DIVISION	ORDEN	GENERO
CYANOPHYTA	Nostocales	<i>Oscillatoria</i> <i>Lyngbya</i>
CHROMOPHYTA	Coccinodiscales	<i>Cyclotella</i> <i>Melosira</i>
	Diatomales	<i>Synedra</i>
	Naviculales	<i>Navicula</i> <i>Cymbella</i> <i>Gomphonema</i> <i>Nitzschia</i>
EUGLENOPHYTA	Euglenales	<i>Euglena</i> <i>Phacus</i>
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Ankistrodesmus</i> <i>Scenedesmus</i> <i>Pediastrum</i> <i>Coelastrum</i>
	Chaetophorales	<i>Stigeoclonium</i>
	Siphonocladales	<i>Cladophora</i> <i>Basycladia</i>
	Zygnematales	<i>Spirogyra</i>
	Desmidiales	<i>Closterium</i>

Cuadro 26. Clasificación taxonómica de organismos zooplanctónicos, basada en Edmonson (1959), identificados en el río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

PHYLUM	ORDEN	GENERO
PROTOZOA	Testacida	<i>Arcella</i>
	Peritrichida	<i>Epistylis</i> <i>Vorticella</i>
	Holotrichida	<i>Didinium</i>
ROTIFERA	Ploima	<i>Brachionus</i> <i>Lecane</i>
	Flosculariaceae	<i>Testudinella</i>

Ademas de nemátodos, larvas de crustáceos e insectos.

Fitoplancton:

Chlorophyta	34%
Chromophyta	26%
Cyanophyta	7%
Euglenophyta	7%

Zooplancton:

Protozoa	15%
Rotifera	11%
Total	100%

La comparación de estos resultados con un estudio realizado por García (1991) en el mismo río, muestran que la comunidad planctónica ha disminuido ya que en su estudio reporta 34 géneros planctónicos. Este decremento puede sugerir que las condiciones no son buenas en el río para el desarrollo de los organismos.

Como se muestra anteriormente, el grupo dominante de fitoplancton fue Chlorophyta. Los géneros de *Nitzschia* y *Synedra* se encontraron con mayor frecuencia a lo largo del muestreo e indican contaminación. Como se ha mencionado antes, estos organismos se consideran tolerantes a la contaminación orgánica (Palmer, 1975).

En zooplancton el grupo dominante fue el grupo Protozoa (Cuadros 25 y 26). El género que permaneció más constantes en la mayoría del muestreo fue *Arcella*. Según Kudo (1982), éste organismo es característico de zonas mesosaprobias, es decir en donde se lleva a cabo una mineralización activa de la materia orgánica. Otro género encontrado fue *Brachionus* que, según Hutchinson (1967), se encuentra en aguas de ligera a extremadamente alcalinas. Esto concuerda con los resultados de alcalinidad, ya que este género se presentó en algunos meses en donde dicho parámetro rebasa el límite permisible.

Los resultados de abundancia relativa muestran que el grupo más abundante de fitoplancton fue Chromophyta. De este grupo, sobresalen los géneros *Nitzschia* y *Synedra*. El grupo de zooplancton más abundante fue Protozoa, resaltando el género

Arcella (Figuras 25 y 26).

El índice de Shannon-Weaver indica que el agua se encuentran dentro de una contaminación moderada según la escala propuesta por Wilhm y Dorris mencionada por Persoone y de Pauw (1978) (Cuadro 27, Fig. 27).

El índice de TU (Cuadro 28) acumulado muestra que la estación Ticumán presenta la diversidad más alta de fitoplancton en comparación con las demás estaciones. En zooplancton, la diversidad más alta se presenta en Pantitlán (Fig. 28).

Los resultados del ISC en promedio (Cuadro 29) muestran contaminación, a excepción de la estación Confluencia Yautepec-Apatlaco, la cual según los resultados se encontró semicontaminada. Esto puede deberse a la conjunción con el río Apatlaco ya que en la estación Apatlaco-Yautepec se presentó también ese resultado (Fig. 29).

La prueba estadística de Z para fitoplancton mostró diferencias significativas en los meses de abril, junio, agosto y septiembre. Esto indica que las poblaciones son distintas. En zooplancton se presentó también lo anterior en los meses de mayo y julio. En los meses restantes, no hubo diferencia para ambos grupos lo que indica que las poblaciones son iguales (Cuadros 30 y 31).

Se puede observar que en las tres primeras estaciones, la mayoría del muestreo indica valores por arriba del promedio (1000 org/mL), en el conteo de Lackey [org/mL] (Cuadro 32), lo cual señala que existe una biomasa considerable de plancton, sin embargo en las dos últimas, están por debajo del promedio, posiblemente debido a la conjunción con el río Apatlaco

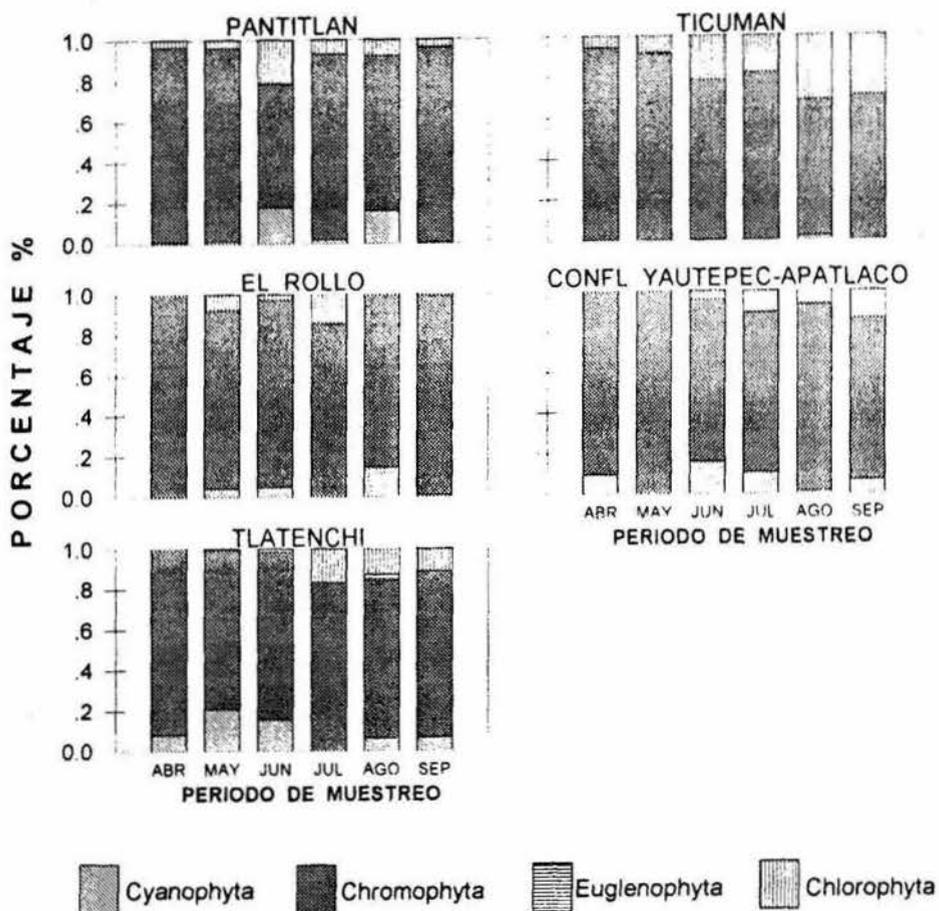


Fig. 25. Abundancia relativa de fitoplancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

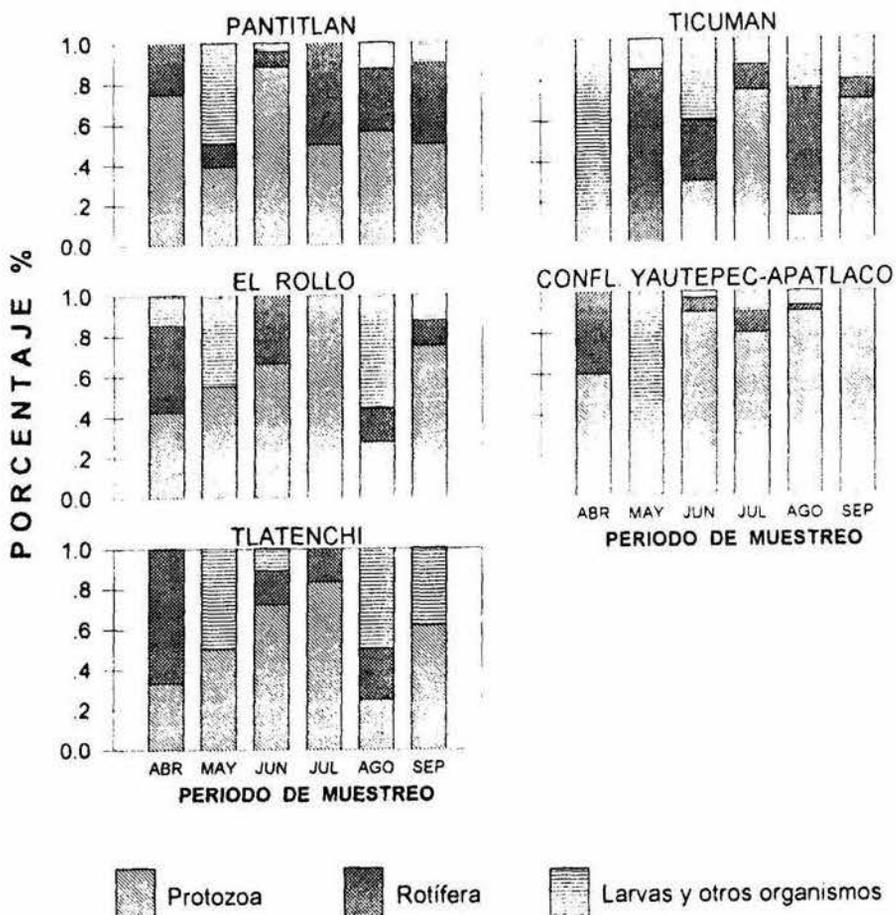


Fig. 26. Abundancia relativa de zooplancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

Cuadro 27. Resultados del índice Shannon-Weaver en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

Mes de muestreo		Pantitlan (Km 0)	Ticuman (Km 25)	El Rollo (Km 42)	Confluencia Yau-Apa (Km 45)	Tlatenchi (Km 47)
Abril	F	1.1	1.6	1.3	1.3	1
	Z	0.6	0.6	1.3	1.3	0.6
Mayo	F	1.2	1.3	1.7	0.9	1.3
	Z	1.9	1.2	1.1	1.1	1.4
Junio	F	1.7	1.8	1.3	2.1	1.2
	Z	1.5	1.8	0.6	1	1.6
Julio	F	1.7	1.3	1.4	1.9	1.2
	Z	0.7	1.1	0	0.9	0.4
Agosto	F	2.0	2	2.1	1	1.7
	Z	1.5	1.2	1.8	1.2	1
Septiembre	F	0.7	1.7	0.7	1.2	1
	Z	1.3	1.2	1.2	0.4	1.5

Cuadro 28. Resultados del índice TU en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

Mes de muestreo		Pantitlan (Km 0)	Ticuman (Km 25)	El Rollo (Km 42)	Confluencia Yau-Apa (Km 45)	Tlatenchi (Km 47)
Abril	F	0.4	0.8	0.6	0.7	0.3
	Z	0.5	0.5	0.8	0.9	0.7
Mayo	F	0.5	0.7	0.8	0.6	0.7
	Z	0.8	0.6	0.7	1	1
Junio	F	0.7	0.8	0.6	0.8	0.5
	Z	0.7	0.8	0.7	0.6	0.8
Julio	F	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
	Z	1	1	0	0.5	0.3
Agosto	F	0.7	0.8	0.8	0.4	0.7
	Z	0.8	0.7	0.8	0.6	0.8
Septiembre	F	0.3	0.8	0.3	0.6	0.8
	Z	0.7	0.7	0.7	0.3	0.8

F: fitoplancton

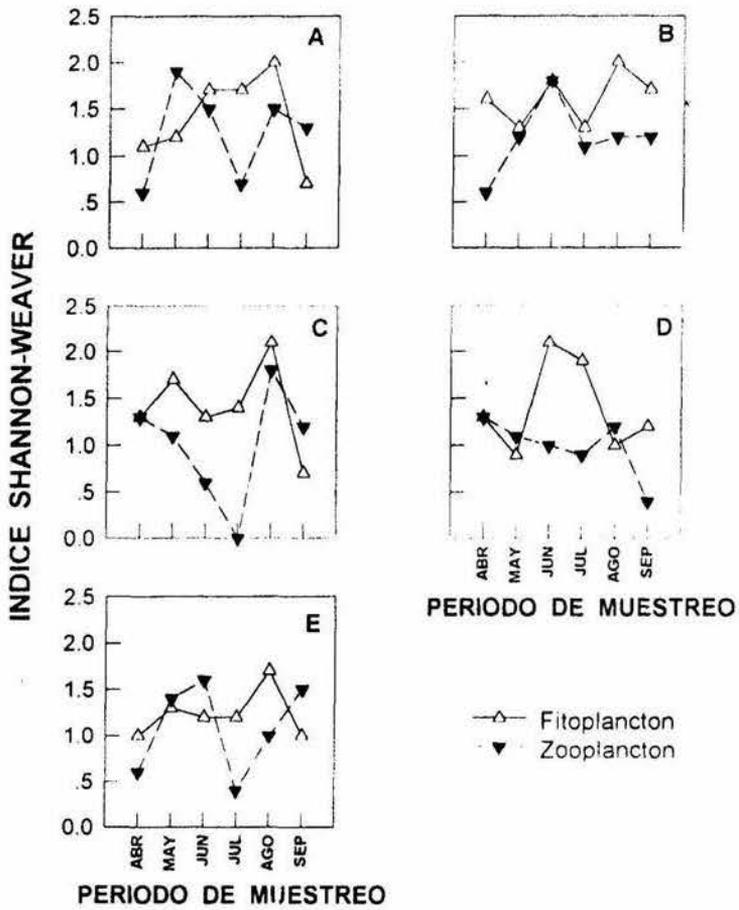


Fig. 27. Resultados del índice de diversidad de Shannon-Weaver en las estaciones del río Yautepec. Edo. de Morelos (1990)
Estaciones. A- Pantitlán (Km 0) B- Ticumán (Km 25). C- El Rollo (Km 42), D- Confl. Yau- Apa (Km 45) y E- Tlatenchi (Km 47).

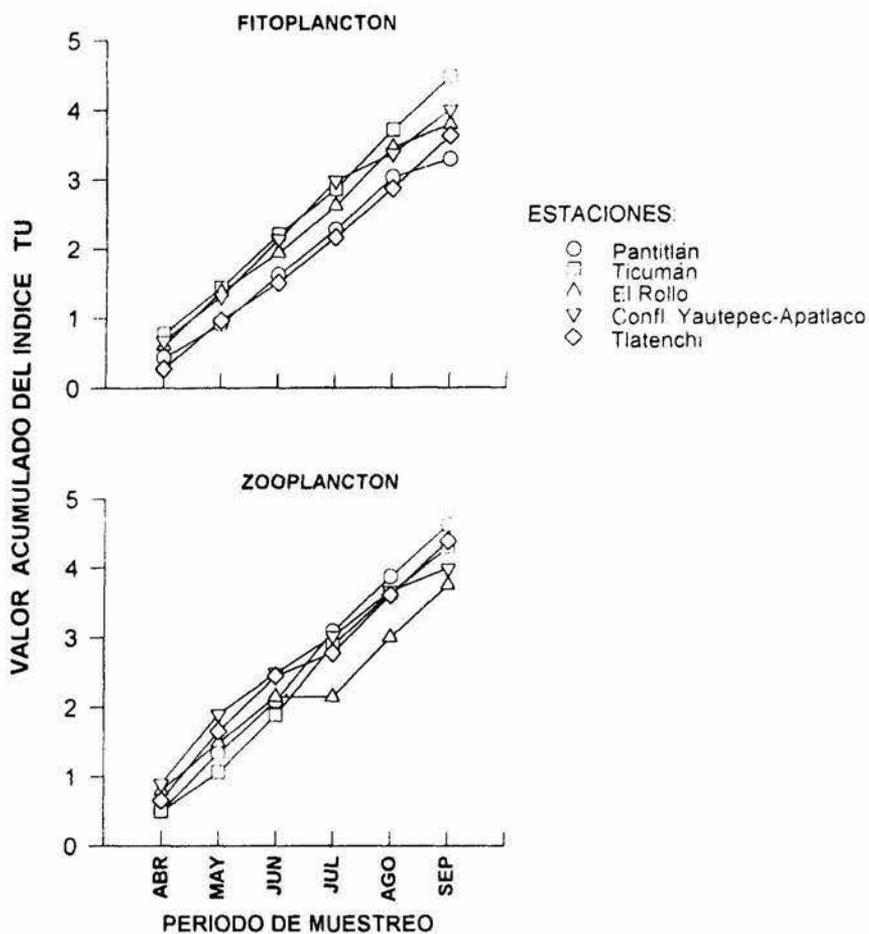


Fig 28 Valor acumulado del índice TU en las estaciones del río Yatepec, Edo. de Morelos. (1990).

Cuadro 29. Resultados del Índice Secuencial de Comparación (ISC) obtenidos del análisis de plancton en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

ESTACION	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	PROMEDIO± DESVIACION ESTANDAR
PANTITLAN (Km 0)	2	2	4	7	4	1	3 ± 2
TICUMAN (Km 25)	5	11	2	3	15	7	7 ± 5
EL ROLLO (Km 42)	2	6	10	7	15	3	7 ± 5
CONFLUENCIA YAU - APA (Km 45)	7	7	13	10	9	5	8 ± 3
TLATENCHI (Km 47)	3	8	7	9	10	9	8 ± 2

Escala:

- 0 - 8 Agua Contaminada
- 8 - 12 " Semicontaminada
- 12 - ∞ " Limpia

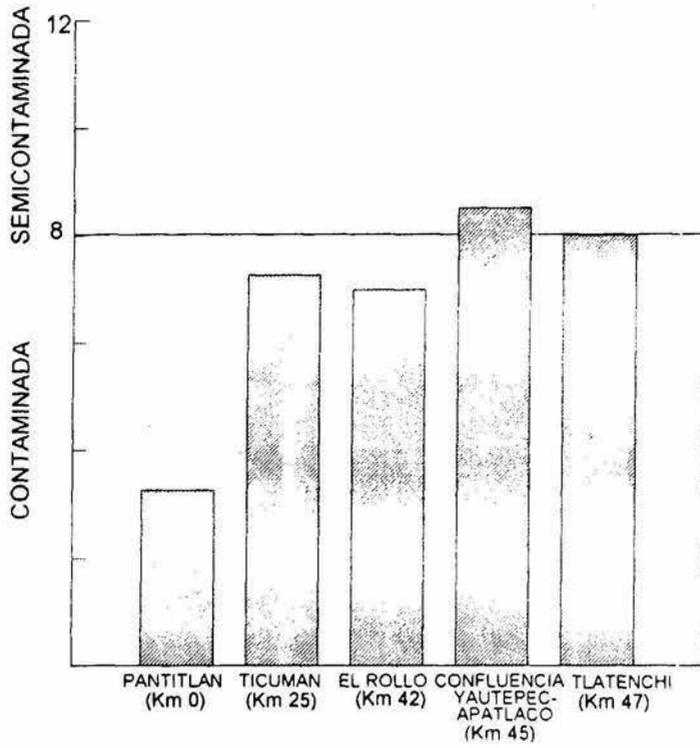


Fig. 29. Resultados promedio del Indice Secuencial de Comparación (ISC) en las estaciones del río Yatepec, Edo. de Morelos (1990).

Cuadro 30. Resultados de la prueba de Z para fitoplancton durante el período de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990)

MES Y ESTACION	TICUMAN	EL ROLLO	CONFLUENCIA YAUT - APA	TLATENCHI
ABRIL				
Pantitlan	-3.92**	-4.39**	-3.75**	2.01*
Ticuman		2.08*	1.07	4.75**
El Rollo			-1.20	4.72**
Confl. Yau-Apa				4.59**
MAYO				
Pantitlan	-5.58**	-7.67**	-1.53	-2.33*
Ticuman		-2.41*	0.28	-0.29
El Rollo			1.30	0.85
Confl. Yau-Apa				-0.42
JUNIO				
Pantitlan	-2.42*	1.97*	-3.73**	2.36*
Ticuman		3.21**	-2.45*	3.36**
El Rollo			-3.69**	0.29
Confl. Yau-Apa				4.37**
JULIO				
Pantitlan	0.00	-0.26	-2.59**	0.09
Ticuman		-0.00	-0.00	-0.00
El Rollo			-2.13*	0.26
Confl. Yau-Apa				1.74
AGOSTO				
Pantitlan	-2.85**	-1.58	6.49**	0.49
Ticuman		0.03	8.34**	1.64
El Rollo			6.09**	1.39
Confl. Yau-Apa				-3.29**
SEPTIEMBRE				
Pantitlan	-13.41**	-1.30	-4.02**	-7.49**
Ticuman		9.05**	1.56	0.08
El Rollo			-3.12**	-5.90**
Confl. Yau-Apa				-1.28

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Cuadro 31. Resultados de la prueba de Z para zooplancton durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

MES Y ESTACION	TICUMAN	EL ROLLO	CONFLUENCIA YAU-APA	TLATENCHI
ABRIL				
Pantitlan	0.00	-1.32	-1.71	-0.59
Ticuman		-1.32	-1.71	-0.59
El Rollo			-0.72	0.71
Confl. Yau-Apa				1.16
MAYO				
Pantitlan	3.29**	1.14	-4.51**	-4.51**
Ticuman		-0.83	-5.49**	-5.49**
El Rollo			-2.33*	-2.33*
Confl. Yau-Apa				---
JUNIO				
Pantitlan	-1.10	0.46	2.00*	-0.44
Ticuman		0.88	3.34**	0.52
El Rollo			0.36	-0.65
Confl. Yau-Apa				-2.29*
JULIO				
Pantitlan	---	---	2.68*	3.28**
Ticuman		---	2.68*	3.28**
El Rollo			-3.06**	-1.64
Confl. Yau-Apa				0.74
AGOSTO				
Pantitlan	0.49	-1.54	2.16*	-0.36
Ticuman		-1.28	1.03	-0.59
El Rollo			3.06**	0.18
Confl. Yau-Apa				-1.37
SEPTIEMBRE				
Pantitlan	0.51	0.03	1.81	-0.18
Ticuman		-0.48	1.43	-0.73
El Rollo			1.79	-0.22
Confl. Yau-Apa				-2.00*

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

--- no se pudo calcular

Cuadro 32. Número de organismos por mililitro calculados por el método de Lackey durante el periodo de muestreo en las estaciones del río Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

ESTACIONES	MESES					
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
PANTITLAN	6024	27302	5464	1841	5924	8426
TICUMAN	580	3783	10328	680	1241	3843
EL ROLLO	17574	1761	1621	980	980	3723
CONFLUENCIA YAU-APA	800	300	2682	660	3963	700
TLATENCHI	1581	520	1921	480	720	1200

6.4 Análisis general .

En resumen, para los tres ríos se tiene que la temperatura del agua se encuentra por arriba del valor natural en la época de secas. El pH es básico y está dentro del límite permisible (6-9). En todas las estaciones, se observa, en general, que el oxígeno disuelto durante el mes de abril alcanzó los valores más bajos, observándose una recuperación a partir del mes de julio, coincidiendo con la época de lluvias. Tomando en cuenta los promedios de oxígeno disuelto, se encontró que el porcentaje de saturación de oxígeno, según la tabla de Mortimer (Wetzel, 1981), en las estaciones de Descarga Ingenio y Confl Apatlaco-Yautepec, es de 44% y 32% respectivamente. Esto indica que una gran parte de oxígeno ha sido consumido lo cual puede deberse a la presencia de materia orgánica presente en el río, procedente probablemente de las descargas del ingenio Emiliano Zapata, que son residuos orgánicos, de la caña de azúcar. En la estación Barranca Ayala del río Cuautla, el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto fue de 50%, posiblemente debido a las descargas y mal funcionamiento de la Tenería Morelos, la cual está entre San Pedro y dicha estación. En la estación Tlatenchi en el río Yautepec el porcentaje de saturación de oxígeno fue de 51%, lo cual puede deberse a que esta estación recibe la Confluencia Apatlaco-Yautepec, que presenta baja concentración de oxígeno disuelto, como se mencionó anteriormente.

Según los criterios (Cuadro 1), los sólidos y la conductividad no rebasaron los límites permisibles. En los ríos Apatlaco y Cuautla, la conductividad va aumentando conforme se avanza río abajo. Ello puede deberse, como ya se anotó antes, al aumento de la concentración de sólidos por aportes de sales de Ca y Mg como resultado de la erosión. La alcalinidad rebasa el límite permisible (250 mg/L) en la mayoría de las estaciones durante el mes de mayo, también se observa que ésta aumenta conforme se avanza río abajo. La dureza también se encuentra por arriba del límite (150 mg/l) en los tres ríos y, según Arrignon (1979), se presentan aguas incrustantes muy duras (con frecuencia magnésicas), característica de aguas contaminadas.

En cuanto al análisis biológico, en las estaciones de Descarga Ingenio y Confluencia Apatlaco- Yautepec en el río Apatlaco, se observó que en todo el muestreo se detectaron los géneros de *Anabaena* y *Oscillatoria*, debido a las bajas concentraciones de oxígeno

anteriormente mencionadas indicando contaminación orgánica (Margalef, 1983).

En los ríos Apatlaco y Yautepec, (García 1991), reportó 41 y 34 géneros planctónicos respectivamente. En este estudio se encontraron 35 géneros planctónicos en el Apatlaco y 27 en el Yautepec. Se puede observar que las poblaciones han disminuido debido a la desaparición de especies sensibles a las condiciones, las cuales no están siendo favorables para los organismos e impiden su desarrollo. Esto puede suponer que la contaminación ha aumentado y, de seguir así, puede llegar a afectar la presencia de otros organismos superiores de la cadena trófica.

En total se identificaron 27 géneros de fitoplancton, de los cuales 16 son comunes en los tres ríos. Los géneros que permanecieron durante todo el muestreo fueron *Nitzschia* y *Synedra*, los cuales son considerados como organismos tolerantes a la contaminación de tipo orgánica (Palmer, 1975), y según García 1991 pueden ser indicadores de contaminación, ya que algunas especies de estos géneros se desarrollan en materia orgánica. Se identificaron 11 géneros de zooplancton en total, de los cuales seis se presentaron en los tres ríos: permanecieron durante todo el muestreo los géneros *Arcella* que según Kudo (1982) se considera característico de zonas mesosaprobias, es decir, en donde se lleva a cabo una mineralización activa de la materia orgánica y *Brachionus* que según Hutchinson (1967) se encuentra en aguas ligeras o extremadamente alcalinas, este organismo se encontró en el río Yautepec en algunos meses en donde la alcalinidad rebasa el límite permisible. (Cuadros 33 y 34).

Los grupos dominantes de fitoplancton fueron Chlorophyta y Chromophyta, este último también se encontró como el más abundante. El grupo dominante y más abundante de zooplancton fue el Protozoa.

La prueba de Z indicó que las poblaciones son distintas para fitoplancton en la mayoría del muestreo y en casi todas las estaciones, mientras que en zooplancton las poblaciones son iguales.

El conteo de organismos por mililitro (Lackey), en general se presenta por arriba del promedio (1000 org/mL), indicando florecimientos algales en algunas estaciones.

Los índices de diversidad usados fueron útiles para una evaluación rápida de la contaminación del agua. El índice de Shannon-Weaver muestra una contaminación moderada según la escala propuesta por Wilhm y Dorris mencionada por Persoone y de

Cuadro 33. Clasificación taxonómica total de organismos fitoplanctónicos, basada en Ortega (1984), identificados en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, Edo. de Morelos (1990).

DIVISION	ORDEN	GENERO
CYANOPHYTA	Nostocales	<i>Anabaena</i> <i>Oscillatoria</i> * <i>Lyngbya</i> <i>Spirulina</i>
CHROMOPHYTA	Ochromonadales	<i>Mallomonas</i>
	Coccinodiscales	<i>Cyclotella</i> * <i>Melosira</i> *
	Diatomales	<i>Synedra</i> *
	Naviculales	<i>Navicula</i> * <i>Cymbella</i> <i>Gomphonema</i> * <i>Nitzschia</i> * <i>Surirella</i> <i>Bacillaria</i> <i>Gyrosigma</i>
EUGLENOPHYTA	Euglenales	<i>Euglena</i> * <i>Phacus</i> *
CHLOROPHYTA	Chlorococcales	<i>Ankistrodesmus</i> * <i>Scenedesmus</i> * <i>Pediastrum</i> * <i>Coelastrum</i>
	Chaetophorales	<i>Stigeoclonium</i> *
	Siphonocladales	<i>Cladophora</i> * <i>Basycladia</i>
	Zygnematales	<i>Spirogyra</i> *
	Desmidiales	<i>Closterium</i> * <i>Cosmarium</i>

* Géneros comunes en los tres ríos.

Cuadro 34. Clasificación taxonómica total de organismos zooplanctónicos, basada en Edmonson (1959), identificados en los ríos Apatlaco, Cuautla y Yautepec, Edo de Morelos (1990).

PHYLUM	ORDEN	GENERO
PROTOZOA	Testacida	<i>Arcella</i> *
	Peritrichida	<i>Epistylis</i> * <i>Vorticella</i> *
	Holotrichida	<i>Didinium</i> * <i>Chilodonella</i> <i>Nassula</i>
ROTIFERA	Ploima	<i>Brachionus</i> * <i>Lecane</i> *
	Flosculariaceae	<i>Testudinella</i> <i>Filinia</i>
	Bdelloidea	<i>Rotaria</i>

Ademas de nemátodos, larvas de crustáceos e insectos.

* Géneros encontrados en los tres ríos.

Pauw (1978).

El Índice Secuencial de Comparación (ISC) en el río Apatlaco señaló semicontaminación, mientras que para los ríos Cuautla y Yautepec se encontraron contaminados.

Con el índice de TU se pudieron mostrar cambios en las diferentes comunidades, a diferencia del ISC, el cual solo indica calidad del agua.

De los índices usados, el ISC es el que más refleja el estado en que se encuentran los ríos, en base a los resultados fisicoquímicos como: oxígeno disuelto, alcalinidad y dureza; además, también por la presencia de organismos que indican contaminación como: *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Nitzschia*, *Synedra*, *Arcella* y *Brachionus*

En los tres ríos existe una contaminación de tipo orgánica. Las especies identificadas en el río Apatlaco (Cuadro 12) indican este tipo de contaminación, así como otros contaminantes, dentro de los que podemos resaltar los metales. La principal causa de alteración contaminante en este río son las aguas residuales urbanas de Cuernavaca y las aguas de desecho del ingenio Emiliano Zapata, de Zacatepec, que contienen sosa. Los residuos más abundantes no son tóxicos, ya que proceden del exceso de materia orgánica (cachaza) proveniente de la caña de azúcar (SARH, 1972, 1973)(García, 1985, 1989, 1991)(Aguilar, 1992)

Según los estudios anteriores que se han realizado en el río Cuautla, la contaminación orgánica sigue predominando, y es originada por los habitantes de la zona y por la Tenería Morelos (Cubillas *et al.*, 1986) y (García, 1985, 1989)

7. CONCLUSIONES

Con base en los resultados anteriores podemos concluir que los ríos presentan contaminación de tipo orgánica. Esta contaminación es causada por el vertido de aguas residuales de origen municipal, industrial y agrícola, que aceleran los procesos de fertilización, desecación parcial, temporal o total de los cuerpos de agua.

El uso de organismos indicadores de contaminación fueron una herramienta práctica para evaluar el grado de contaminación de los cuerpos en estudio. Con estos se pueden conocer las tensiones que se presentan en un río. Las observaciones químicas miden las condiciones, mientras que las biológicas miden los efectos.

Los géneros *Oscillatoria* y *Anabaena* pueden ser considerados como indicadores de la presencia de saturaciones bajas de oxígeno disuelto (< 50%), aunque no nulas, y junto con *Nitzschia* y *Synedra*, pueden indicar una contaminación de tipo orgánica.

De los índices usados, el Índice Secuencial de Comparación resultó ser un buen indicador de la calidad del agua para este tipo de estudio. Es fácil de usar y no requiere de personal con mucha experiencia para su aplicación.

Según un estudio realizado por García (1991) en los ríos Apatlaco y Yautepec, se puede observar que las poblaciones han disminuido debido a la desaparición de especies sensibles a las condiciones, por lo que se puede considerar un aumento en la contaminación, que de seguir así puede llegar a afectar la presencia de otros organismos superiores de la cadena trófica.

Este aumento de la contaminación y la degradación del ambiente amenaza con la posible desaparición de algunas especies, alterando consecuentemente y quizás de manera irreversible, los sistemas ecológicos.

Las aguas residuales urbanas de Cuernavaca y las aguas de desecho del ingenio Emiliano Zapata de Zacatepec son la principal causa de contaminación en el río Apatlaco. En el río Cuautla, en la parte sur, la contaminación es causada por los desechos urbanos e industriales.

8. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.

- Deben diseñarse plantas de tratamiento tomando en cuenta el volumen, la calidad del agua a tratar y el uso al que se destine a la misma después del proceso. Este diseño debería realizarse por un grupo interdisciplinario (Químicos, Biólogos, Sociólogos, Agrónomos entre otros), que desde el punto de vista de su campo de acción, aporten todos los elementos para el adecuado tratamiento, garantizando la eliminación de los contaminantes. Este tipo de estudios podrían aportar algunos elementos que ayudarían en el planeamiento de dichas plantas.

-No existe un compromiso para preservar el ambiente, esta irresponsabilidad ha impedido que se instalen plantas de tratamiento en lugares estratégicos o revisar el buen funcionamiento de algunas ya establecidas, ya que al parecer no están funcionando correctamente. Tal es el caso de la Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (ECCACIV), que trata las aguas residuales. La eficiencia del tratamiento biológico no es suficiente para garantizar la eliminación de contaminantes que puedan afectar los cuerpos receptores, dada la cantidad y calidad de agua que recibe la empresa. El afluente de ECCACIV se dirige a campos agrícolas, contaminando los suelos y cultivos de la región.

- En este estudio se eligieron estos ríos, debido al uso potencial del agua en la zona, ya que, básicamente se usan en actividades domésticas y en irrigación agrícola, además en el Estado de Morelos existen varios municipios que son de importancia turística como Cuautla, Yautepec, Tlaltizapan entre otros, por lo que es importante la calidad del agua en la zona para no perder este patrimonio que es importante para el estado.

- Se deben de hacer estudios más periódicos en estos ríos para observar como se ve afectada la comunidad y detectar puntos en donde sería conveniente tomar medidas, ya que se observó una disminución en la comunidad en relación a estudios anteriores.

- Es recomendable que se trate de hacer una observación general de los organismos en el campo, ya que cuando se analizan en el laboratorio pueden faltar estructuras que son indispensables para su identificación.
- Se deben de identificar más detalladamente a los organismos para tener indicadores específicos a ciertos tipo de contaminantes.
- El ISC se recomienda para este tipo de estudio de calidad del agua por ser práctico y útil.
- Por último, se debe crear conciencia ecológica en la población, utilizando programas de educación ambiental para ayudar al cuidado y conservación del agua. recalando las consecuencias de llegar a desperdiciar este recurso.

9. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, B.S. (1992). Deterioro ambiental en las cuencas hidrológicas del Estado de Morelos. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. VIII Congreso Nacional Acciones para un ambiente limpio 5p
- American Public Health Association. (1980). Standard methods the examination of water and waste water. (16th ed.) Washington, D. C. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation. 1134 p.
- Arrignon, J. (1979). Ecología y piscicultura de aguas dulces. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 365 p.
- Benson, E. C. and Rushforth, S. (1975). The algae flora of Huntington Canyon Library Phycologica. U.S.A. 177 p.
- Boyle, T.P. (1984). The effect of environmental contaminants on aquatic algae. En: Shubert, E. L. (1984). Algae as ecological indicators. Ed. Academic. Press. Inc. U.S.A. 434 p.
- Cairns, J.; Albaugh, D. W.; Busey, F. and Chaney, M. D. (1968) The sequential comparison index a simplified method for non-biologists to estimate relative differences in biological diversity in stream pollution studies. Journ. Wat. Poll. Contr. Feder., 40, 1607-1613 p.
- Cairns, J.; Dickson, K. L. (1971). A simple method for the biological assessment of the effects of waste discharges on aquatic bottom dwelling organisms. Journal Water Pollution Control Federation. 5(43): 755-772.
- Cubillas, C.B.; García, C.J.; Gutiérrez, L.E. (1986). Efecto de la descarga de aguas residual industrial (tenería Morelos) y municipal (ciudad de Cuautla) sobre la calidad del río Cuautla, Estado de Morelos. Informe Final. Subcoordinación de Calidad del Agua. Coordinación de Investigación. IMTA. SARH. 28-44p
- Curds, C.R. (1969). Water Pollution Research. An illustrated key to the british freshwater ciliated protozoa commonly found in activated sludge. London. Technical paper No. 12.
- Desikachary, (T.). (1959). Cyanophyta. Ind. Coun. Agric. New Delhi. 104 p.
- Diario Oficial de la Federación. Organó del Gobierno. Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo CDXXV. No. 9. Miércoles 13 de Diciembre de 1989

- Edmonson, W. T. (Ed.). (1959). *Freshwater biology*. New York, U.S.A: John Willey and Sons Pub. 1245 p.
- García, C. J. (1985). *Utilización del plancton como herramienta para el conocimiento de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac, estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 91 p.
- García, C. J. (1991). *Evaluación de la calidad del agua de los ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla, Edo. de Morelos, utilizando indicadores biológicos de contaminación*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 136 p.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. SIGSA. México. 217 p.
- González, de I. A. (1988). *El plancton de las aguas continentales*. Caracas, Venezuela. 125 p.
- Guzkowska, M.A J. and Gasse, F. (1990). *Diatoms as indicators of water quality in some English urban lakes*. *University of Oxford. Freshwater Biology*: 23, 233 - 250
- Hartmut, B. (1972) *Ciliated Protozoa*. World Health Organization. Geneva. 187 p.
- Hutchinson, G. Evelyn. (1967). *A treatise on Limnology*. Department of Biology Yale University. New York. London Sidney. John Wiley and Sons, Inc. Volume II. 1115 p.
- Huerto, D. R. (1988). *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua del río Cuautla*. Edo. de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 48 p.
- Hustedt, F. (1976) *Die. Susswasser-Flora Mitteleuropa*. Otto Koeltz Science Publishers Germany. 466 p.
- Jahn, L.T. (1949). *How to know the protozoa*. Iowa. U.S.A. Brown Co. Pub. 23
- James, A. (1979). *The Value of Biological indicators in relation to other parameters of water quality*. In James, A. y Evison, L. (Eds). *Biological indicators of water quality* (pp 1-6) New York. U S A John Wiley and Sons Pub
- Keefe, J. T. and Bergersen, P. E. (1977). *A simple diversity index based on the theory of runs*. Pergamon Press. Great Britain. *Water Research*. Vol. II. pp. 689-691.
- Kudo, R.R. (1982). *Protozoología*. México, D.F. Ed. C.E.C.S.A. 905 p.

- Loez, C. R y Salibián, A. (1990). Premières données sur le phytoplancton et les caractéristiques physico-chimiques du rio Reconquista (Buenos Aires, Argentine): Une riviere urbaine polluée. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23 (4): 283-296.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Omega. Barcelona. 1010 p.
- Margalef, R. (1989). *Ecología*. Omega. Barcelona. 951p.
- Mc Neely, V.P., Neimanis, V.P. y Dwyer, L.(1979). *Water quality source book . A guide to water quality parameters*. Ottawa, Canada: Inland Waters Directorate. Water Quality Branch. 89 p.
- Odum, E. P. (1983). *Ecología: El vinculo entre las ciencias naturales y las sociales*. Ed Continental. México. 295 p.
- Odum, E. P. (1972). *Ecología*. Ed. Interamericana. 3a. Ed. México. 639 p.
- Ortega, M. M. (1984). *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Coordinación de la Investigación Científica. Instituto de Biología. UNAM. México. 566 p.
- Patrick, R. (1973). Use of algae, specially diatoms, in the assessment of water quality. En Cairns, J. y Dickson, K. L. (Eds). *Biological methods for the assessment of water quality* . pp. 76-95. Philadelphia, U.S.A.: American Society for Testing and Materials.
- Palmer, C.M. (1975). *Keys to the water quality indicative organisms of the Southeastern U.S.* Washington, U.S.A. Enviromental Protection Agency. 29 p.
- Persoone, G. y De Pauw, N. (1978). *Systems of biological indicators for water quality assessment*. En: *Biological aspects of freshwater pollution* . (O. Ravera Ed). Comission of the European Comunitis Pergamon Press. Great Britain. 39-75 p.
- Prescott, G.W. (1970). *How to Know the frehwater algae*. Iowa, U.S.A: Wm C. Brown. Co. Pub. 294 p.
- Rivera, P., Parra, O., González, M., Dellarossa, V y Orellana, M (1982) *Manual Taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. IV. Bacillariophyceae* Ed Universidad de Concepción. Chile. 97 p.
- Rossell, V.A. (1982). *Importancia del plancton y el perifitón en los problemas de contaminación del agua*. SARH. México. 38p.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (s/f). Aspectos generales sobre el control de la contaminación del agua. Legislación Relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Usos del Agua Y Prevención de la Contaminación.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1970). Boletín Hidrológico (No.18 parcial) Cuenca del río Amacuzac. V.I.II. México. 607 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1972). Estudio para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac. Instituto de Ingeniería. UNAM. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. V I I I México 250 p.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1973). Estudio de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac. Instituto de Ingeniería. UNAM. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. V.I.II. México. 170.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1975). Legislación Relativa al Agua y su Contaminación. Subsecretaría de Planeación Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. 144 p
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1981)(a). Manual del curso: Análisis de plancton y perifiton. (Aplicados a problemas de contaminación del agua). 2a Ed. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Subsecretaría de planeación. México. 351p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1982) (c). Manual de técnicas de muestreo y análisis de plancton y perifiton (3a ed.) Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. México. 223 p.-
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1983). Manual del curso: Estudios de la calidad del agua. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. México. 600 p
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1988). El uso del agua en Morelos. Coordinación de Investigación. Subcoordinación de Prospectiva. México. 196p
- Secretaría de Programación y Presupuesto. (1981). Síntesis geográfica de Morelos. Coordinación General de Servicios Nacionales de Estudios Geográficos e Informática. México. 110 p.

- Secretaría de Programación y Presupuesto. (1988). Morelos Cuaderno de información para la planeación. INEGI. México. 403 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (1990). Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. INEGI Mexico. 315 p.
- Smith, G.M. (1950). The fresh water algae of the United States. Clave a los géneros de algas de agua dulce de E.U.A. 435 p.
- Tiffany, L. H. and Britton, M. E. (1971). The algae Illinois. Hafner Publishing Company New York. 354 p.
- Tilden, J. (1910). The Mixophyceae of North America and adjacent regions including Central America, Greenland, Bermuda, The West. Botanical series VIII. Minneapolis, Minnesota.
- Trainor, F.R. (1984). Indicator algal assays: Laboratory and field approaches. En : Shubert, E. L. (1984) Algae as ecological indicators Ed. Academic Press Inc U.S.A. 434 p.
- Vázquez, A. (1991). El plancton dulceacuícola como indicador biológico de algunos metales pesados en el lago Nabor Carrillo, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 69 p.
- Villegas, I. y De Giner, G. (1972). Phytoplankton as a biological indicator of water quality. Water Research. 7. 479 - 487 p
- Wetzel, G.R. (1981). Limnología. Omega. Barcelona. 679