



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**MACROINVERTEBRADOS BENTONICOS COMO
INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL
RIO CUAUTLA, ESTADO DE MORELOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

Rubén Ignacio Huerto Delgadillo

MEXICO, D. F.

1988.



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 está 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.

INDICE

	Página
PREFACIO	iii
AGRADECIMIENTOS.	v
INDICE	vii
RESUMEN.	ix
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
III. OBJETIVOS.	6
IV. AREA DE ESTUDIO.	7
1. Localización geográfica y aspectos socioeconómicos	7
2. Fisiografía	7
3. Clima	8
4. Hidrografía	9
5. Localización y descripción de las estaciones de muestreo	9
V. MATERIAL Y METODOS	12
1. Muestreo y análisis físico y químico.	12
2. Muestreo y análisis de macroinvertebrados bentónicos	13
3. Muestreo y análisis bacteriológico.	13
VI. ANALISIS DE DATOS.	15
VII. RESULTADOS Y DISCUSION	18
1. Resultados físico y químicos.	18
2. Resultados biológicos	30
3. Resultados bacteriológicos.	39
VIII. CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFIA.	44
ANEXO.	49

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la calidad del agua del río Cuautla, Edo. de Morelos, mediante diferentes parámetros tanto físicos y químicos como bacteriológicos. Se valoró a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos analizando su estructura y composición mediante el Índice Secuencial de Comparación. Para el desarrollo del proyecto se establecieron 6 sitios de muestreo abarcando una distancia de 23 kilómetros sobre el río.

Los resultados obtenidos indicaron que existen dos sitios muy alterados: el primero localizado aguas abajo de la descarga de la tenería Morelos en el kilómetro 5 y el segundo localizado después de la descarga municipal parcial de la ciudad de Cuautla en el kilómetro 6.5; ambas caracterizadas por índices de diversidad bajos siendo de 6.83, con 11 Taxa presentes, y de 5.86 con sólo 9 Taxa respectivamente. Además en las estaciones mencionadas se observaron condiciones críticas en parámetros tales como O.D., D.B.O., D.Q.O. y bacteriológicos, ya que en ciertos meses sobrepasaron el límite permisible para la protección de la vida acuática. Las estaciones restantes demostraron que existe un proceso de autodepuración en el río, con índices hasta de 14.83 con 20 Taxa determinados para la última estación; sin embargo, el problema de las bacterias es persistente.

El Índice Secuencial de Comparación sirvió para establecer los grados de alteración existentes sobre el río, recomendándose por ser rápido, accesible y confiable en estudios de calidad del agua.

1. INTRODUCCION

Una de las características más notables logradas por el hombre en el curso de su evolución cultural, ha sido la extraordinaria influencia que ha ejercido sobre el ambiente y, lo que es paradójico, su simultánea debilidad frente a él, ya que puede, por un lado crearlo y enriquecerlo y por otro, destruirlo. Este deterioro del ambiente, sumado al desequilibrio que se agudiza día a día, entre la evolución biológica -proceso de ritmo lentísimo en el curso de los siglos- y la evolución cultural de ritmo explosivo hoy en día, hace pensar a muchos que el hombre se enfrenta a una posible crisis en su capacidad adaptativa que involucra un serio peligro, tanto para su salud mental como para su sobrevivencia sobre la Tierra (Capurro y Vergara, 1975).

Esta influencia se puede observar en el inadecuado manejo y disposición de considerables cantidades de desechos, generados en los grandes núcleos de población y centros industriales, lo cual ha originado un problema fundamental que se conoce como contaminación. Margalef (1974) afirma que no existe un término científico de contaminación y que en realidad es un concepto más bien legal que se refiere a lo que hace que un medio determinado, generalmente fluido, el agua o la atmósfera, se considere ya inapropiado para cierto uso. Entonces define a la contaminación en función del uso.

Para Odum (1972), la contaminación es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas o biológicas del aire, de la tierra o del agua, que puede afectar o afectará nocivamente la vida humana y la de especies benéficas, los procesos industriales, las condiciones de vida y el acervo cultural, o que puede malgastar y deteriorar o malgastará y deteriorará nuestros recursos de materias primas. Este autor considera que la contaminación constituye actualmente el factor limitativo más importante para el hombre.

En los países en vías de desarrollo como el nuestro, el grado de industrialización y el hacinamiento incontrolados, hacen que se tengan serios problemas, entre los que se encuentra la alteración de la calidad de los cuerpos de agua, afectando la abundancia, la composición y diversidad de especies, la estabilidad, productividad y las condiciones fisiológicas de las poblaciones naturales de organismos acuáticos (American Public Health Association (APHA) et. al. , 1980).

El aspecto fundamental del estudio de los cuerpos de agua continentales, radica en que son un recurso de primer uso involucrando un sinnúmero de actividades humanas, además de que se utilizan como un sistema de eliminación de desechos muy cómodo y barato, teniendo los ríos un papel fundamental dada su naturaleza lítica.

La importancia real de la evaluación de la contaminación del agua radica tanto en la cuantificación de la carga contaminante como en su capacidad de autodepuración. La carga contaminante puede valorarse con datos físicos y químicos obtenidos en un momento dado; por el contrario, el análisis biológico da una visión de los efectos duraderos de esta carga en el agua. La investigación biológica de un río o lago contaminado tiene varias ventajas sobre los análisis químicos. Consume menos tiempo, debido a que el análisis de muestra simple puede revelar el estado de las comunidades de plantas y animales, las cuales representan por sí solas las características de las condiciones prevalentes en el ecosistema acuático (Gaufin, 1973).

Una forma de evaluar la calidad del agua es mediante los llamados indicadores biológicos de contaminación, ya que éstos dependen de las condiciones y recursos que presenta el lugar en el que viven y por lo tanto pueden cambiar si éstas cambian. Por otro lado, ya que el medio determina en gran parte a los organismos capaces de habitar un lugar cualquiera, éstos pueden ser índices biológicos de cambios ambientales (Persoone y De Pauw, 1978).

Es recomendable utilizar a la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como un medio para indicar la calidad del agua, ya que es considerada como la que refleja mejor sus características generales (Zajic, 1971; Cairns y Dickson, 1971; Gaufin, *op. cit.*; Mason, 1984).

El empleo de esta comunidad en las evaluaciones de calidad de agua, toma en consideración los siguientes puntos: Primero, muchas especies son extremadamente sensibles a la contaminación y responden rápidamente a ella; segundo, la fauna bentónica tiene un ciclo de vida amplio, de un año o más y mueren si las condiciones ambientales, durante alguna fase de su ciclo de vida, se encuentran fuera de los límites de tolerancia; y tercero, puesto que tienen una forma de vida fija o sésil y no presentan migraciones rápidas, sirven como monitores naturales de las condiciones que prevalecen en el agua (Cairns y Dickson, *op. cit.*; Hynes, 1970).

En este estudio se evalúa la calidad del agua en el río Cuautla, estado de Morelos, mediante el análisis de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos, además de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de 6 estaciones ubicadas a lo largo del mismo. La importancia fundamental de este trabajo radica en el hecho de que el agua de este río es empleada para riego agrícola y consumo humano, además de ser un afluente directo del río Amacuzac, el cual se contempla como fuente potencial de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de México en un futuro inmediato. Por tal razón se tiene la necesidad de controlarlo y conservarlo como fuente natural susceptible de explotación racional.

II. ANTECEDENTES

Los ecosistemas acuáticos son los más afectados por la contaminación, ya que reciben la mayor cantidad y variedad de contaminantes (Terradas, 1974). Estas sustancias pueden tener como fuente de origen las descargas de aguas residuales de los centros de población que son vertidas a través de sistemas de alcantarillado o de forma directa, conteniendo predominantemente materia orgánica. Otra fuente contaminante la constituyen las aguas residuales provenientes de las industrias, originadas de procesos químicos, petroquímicos, metalúrgicos, textiles, etc., (que son descargadas por muchas factorías) llevando principalmente jabones, azúcares, ácidos débiles, derivados del benceno, etc. Otro aporte se deriva de las descargas de aguas de retorno agrícola, las cuales pueden contener restos de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes, que son arrastradas a los cuerpos receptores junto con los excrementos animales lavados por los escurrimientos pluviales. A estas fuentes se debe agregar la de origen natural que por medio de arrastres lleva al agua materia orgánica en descomposición y productos inorgánicos derivados del proceso de erosión (SARH, 1975 a).

Se ha observado que existen procesos de mineralización de la materia orgánica y modificación de los fenómenos físicos y químicos debido a la actividad de algunos de los organismos que habitan los cuerpos de agua, lo cual contribuye a la estabilidad de estos sistemas. Si la cantidad de contaminante es excesiva, puede ocurrir que no se lleve a cabo un proceso natural de autopurificación, por lo tanto, el equilibrio de un cuerpo de agua está relacionado directamente con el equilibrio de los organismos que en él habitan (Schwoerbel, 1975; SARH, 1982).

La mayoría de los hábitats acuáticos con condiciones aceptables de sustrato y de la calidad del agua, mantienen diversas comunidades de macroinvertebrados bentónicos, en las cuales hay una distribución balanceada de especies entre el número total de individuos presentes. Tales comunidades responden a los cambios en las características del hábitat, mediante ajustes en la estructura de la comunidad. Las respuestas de las comunidades de macroinvertebrados a las perturbaciones ambientales, son útiles en la evaluación del impacto que causan los residuos municipales, industriales y agrícolas sobre los cuerpos de agua naturales (APHA et. al., 1980).

A nivel internacional se han realizado una serie de trabajos encaminados a la evaluación de la calidad de las aguas superficiales con la ayuda de criterios biológicos y/o ecológicos, por medio de la aplicación de una serie de métodos tanto cualitativos como cuantitativos, que han tenido auge desde mediados del siglo pasado. En trabajos tales como los de Kolenati (1848), Cohn (1853) y Mez (1898) citados por Persoone y De Pauw (1978), ya se señala que determinados organismos guardan una

cierta relación con la pureza o contaminación del agua en que habitan. Después de estas investigaciones, Kolkwitz y Marsson en 1902 citados en 1967, basados en sus estudios de la flora y fauna planctónica y bentónica, fueron los primeros en establecer definitivamente el concepto de indicadores biológicos de contaminación, seguidos por diversas investigaciones como las de Tarzwell y Gaufin (1956); Cairns, Jr., et. al., (1968); Hynes, (1970); Cairns y Dickson, (1971); Zajic, (1971); Gaufin, (1973); Patrick, (1973); Cairns, Dickson y Lanza (1973); Hart y Fuller, (1974); Persoone y De Pauw, (1978); Tittizer y Kothe, (1979); James, (1979); Sládeček, (1979); Hawkes, (1979); García, (1985); Márquez, (1986), entre otras, las cuales han resultado útiles para valorar los efectos de la contaminación en diferentes cuerpos de agua, utilizando a la comunidad planctónica y/o bentónica como medio de evaluación, valiéndose de los llamados indicadores biológicos de contaminación.

Cairns y Dickson (op cit), generalizaron la tolerancia de los diferentes invertebrados a los desechos orgánicos separándolos en tres grupos diferentes: intolerantes, tolerantes y moderadamente tolerantes. En el primero se encuentran la mayoría de los insectos del orden efemeróptera, plecóptera, tricóptera, coleóptera y neuróptera. Entre los tolerantes se incluyen a la mayoría de los anélidos y algunos quironómidos y gasterópodos. En los moderadamente tolerantes están la mayoría de los gasterópodos, pelecípodos, isópodos, anfípodos, odonatos y los de la familia Chironomidae.

Tarzwell y Gaufin (1956) citados por Saavedra en 1982, mencionan que para evaluar la confiabilidad de los organismos acuáticos como indicadores de la calidad del agua, se deben considerar a éstos como asociaciones, poblaciones o comunidades y no como entes individuales. Es por ello que muchos biólogos prefieren trabajar a nivel de comunidad indicadora. Aunque la presencia o ausencia de alguna especie en particular tiene significado cualitativo, tal información descriptiva es difícil de comunicar, de ser tratada estadísticamente o ser tomada con veracidad, ya que algunos autores reportan a un organismo como característico de aguas contaminadas mientras que otros los incluyen dentro de aquellos que viven en aguas limpias.

Los macroinvertebrados bentónicos son el conjunto de organismos que habitan en, se arrastran sobre o se pegan al sustrato del fondo de un cuerpo de agua. Aunque algunas especies inmaduras pueden ser muy pequeñas, los macroinvertebrados pueden considerarse por definición como aquellos que pueden verse a simple vista y son retenidos sobre un tamiz del No., 30 (0.595 mm de abertura). Incluidos entre los macroinvertebrados están principalmente los insectos acuáticos, macrocrustáceos, moluscos, anélidos, gusanos planos y redondos y otros invertebrados acuáticos (APHA et. al., op.cit.).

Los estudios del río Cuautla, Edo. de Morelos, son escasos,

teniendo el realizado por la SRH en 1972, en donde el objetivo general fue conocer la calidad del agua de los principales cuerpos receptores de la Cuenca del Alto Amacuzac, como son los ríos Amacuzac, Apatlaco, Yautepec y Cuautla, y de sus afluentes más importantes, así como la calidad de las aguas residuales tanto industriales como municipales que se descargan en dichas corrientes. También se realizó un estudio biológico preliminar para poder conocer de manera general la flora y la fauna acuática macroscópica, así como la comunidad planctónica existente, aunque no se efectuó un ciclo de muestreo anual. En este trabajo se concluyó que el río Cuautla presentaba características estables en cuanto a fosfatos, nitratos, OD, DBO y DQO para las estaciones que se muestrearon. Por otra parte, se estableció que la descarga de la Tenería Morelos presentó un alto contenido de sólidos sedimentables y de Cr⁶⁺ representando un peligro para la vida acuática y la salud pública.

Existe otro estudio en que no se hace un examen directo sobre el río Cuautla sino un análisis de la descarga de la Tenería Morelos que es vertida sobre él. Este es también un estudio de la calidad del agua en la cuenca del Alto Amacuzac. En este trabajo se estableció que la descarga de la tenería sobrepasaba los valores máximos tolerables para la protección de la vida acuática estipulados por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas (1973), puestos de manifiesto también por los resultados obtenidos mediante pruebas de bioensayos realizados con *Tilapia melanopleura* (SRH, 1973).

Un estudio más sobre la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac, en el que también se incluyó el río Cuautla, fue el realizado por García en 1983. En esta investigación se tomaron dos puntos de muestreo sobre el río, uno situado inmediatamente después de la descarga de la Tenería y el otro puesta aguas abajo, antes de la confluencia con el río Amacuzac. En este estudio se concluye que se presentó un alto índice de contaminación sobre el río en el primer punto, pero que los valores de DBO y OD indicaban una autodepuración activa del cuerpo de agua. El enfoque principal de este trabajo fue puesto en la comunidad planctónica existente en el río, basado en el análisis cualitativo y cuantitativo de la misma.

La probable contaminación del agua del río Cuautla podría impedir su aprovechamiento, lo cual equivale a la pérdida parcial o total de sus recursos desde el punto de vista hidrológico, económico y turístico. Por tal motivo, existe la necesidad de relacionar la lucha contra la contaminación de este río —realizando estudios para conocer el efecto de las descargas municipales, industriales, agropecuarias y recreacionales— con la administración de los recursos hidráulicos.

III. OBJETIVOS

a) Determinar las características físicas, químicas y bacteriológicas existentes en 6 estaciones establecidas a lo largo del río Cuautla en su segmento comprendido desde la ciudad de Cuautla (manantiales "Los Sabinos"), hasta 23 kilómetros río abajo.

b) Valorar cualitativa y cuantitativamente a través de un índice de diversidad, a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos presentes en el río Cuautla.

c) Establecer de forma general las características de calidad de agua que presenta el río y su capacidad de autodepuración.

IV. AREA DE ESTUDIO

1. Localización geográfica y aspectos socioeconómicos.

El estado de Morelos ocupa una superficie de 4 958.22 Km² y junto con los Estados de México, Guanajuato, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Querétaro, forma la región centro del país, alcanzando una superficie que representa el 6.5% del total nacional (SRH, 1970).

El río Cuautla se localiza dentro de la cuenca del río Amacuzac, Región Hidrológica No. 18, (Fig. 1) la cual está formada principalmente por los ríos Tetlaxaa, Apatlaco, Yautepec, Amacuzac y Cuautla, éste último pertenece a la subcuenca B. La cuenca está comprendida entre los paralelos N 18° 00' y 19° 15', y los meridianos W.G. 98° 30' y W.G. 100° 00'. El río Cuautla en particular se ubica entre los paralelos 18° 30' y 18° 50' latitud Norte y los meridianos 98° 55' y 99° 10' de longitud Oeste (Fig. 2). La agricultura es una actividad muy importante en la zona, se cosecha principalmente caña de azúcar, arroz, frijol, jitomate, tomate, maíz y algunos frutales como melón y sandía entre otros. Dentro de las actividades pecuarias resalta la cría de ganado vacuno, caballar y caprino.

La ciudad de Cuautla es importante ya que destaca por ser netamente turística, con balnearios de aguas termales y medicinales perfectamente acondicionados, como el de Agua Hedionda, uno de los más antiguos del estado, precursor del turismo y el segundo centro recreativo de la entidad. Otro balneario muy visitado es el de Los Limones.

La cuenca del río Amacuzac presenta dentro del estado el mayor índice de contaminación, ya que representa aproximadamente el 85% de la superficie estatal y en ella se concentra la mayor parte de la población y el total de la industria existente. La ciudad de Cuautla tiene una importante influencia dentro de este efecto contaminante, debido a la descarga de la tenería Morelos que se ubica dentro de la entidad conjuntamente con la descarga municipal, que representan el cuarto y quinto lugar respectivamente en orden de importancia, como fuentes de contaminación (SPP, 1981).

2. Fisiografía.

Los límites de Morelos encierran áreas que corresponden a dos provincias fisiográficas del país: la provincia del Eje Neovolcánico y la provincia de la Sierra Madre del Sur. En particular la primera provincia mencionada tiene áreas dentro del estado que corresponden a dos subprovincias: la de los Lagos y Volcanes del Anáhuac y la del Sur de Puebla.

La zona de estudio se localiza dentro de la subprovincia de

los Lagos y Volcanes del Anáhuac, la cual abarca todo el norte y este del estado, y cubre los municipios de Huitzilac, Tlalnepantla, Totolapan, Tlayacapan, Atlatlahuca, Cuautla, Yecapixtla, Ocuituco, Tetela del Volcán, Zacualpan, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec, Axochiapan y parte de los de Cuernavaca, Tepoztlán, Yautepec, Ayala y Tepalcingo. El área de la subprovincia es de 2 204.132 Km², lo que representa el 44.5% con respecto al total estatal.

A esta subprovincia la constituye propiamente la gran sierra volcánica del Ajusco (Axochco), que va del límite sur de la sierra de las Cruces (Edo. de México-D.F.), extendiéndose al oriente hasta las proximidades del Popocatepetl. En el extremo NE, los límites estatales se extienden en angosta franja por las faldas del Popocatepetl hasta el cráter del volcán, cuya pequeña área queda comprendida entre el estado de Morelos, el de México y el de Puebla. Otra unidad de gran importancia es el gran llano con lomeríos a 1 250 msnm, que se extiende desde Yautepec hasta Axochiapan y cuya población más importante es Cuautla.

Los tipos de suelos presentes en la zona de estudio, por los cuales sigue su trayectoria el río Cuautla son los siguientes: en primer término el vertisol pélico; enseguida el litosol, el cual es un suelo menor a 10 cm de profundidad, limitado por roca, tepetate o caliche segmentado; el suelo denominado ranzina que se caracteriza por tener una capa rica en humus y muy fértil, que descansa sobre roca caliza o algún material rico en cal; el feozem calcárico, que contiene cal en todos sus horizontes y es el feozem más fértil y productivo en la agricultura o ganadería y el feozem háplico que tienen una capa superficial oscura suave y rica en materia orgánica y nutrientes (SPP, 1981).

La vegetación no es muy diversa ya que gran parte del área está destinada actualmente a la agricultura. En esta región está presente la selva baja caducifolia (nomenclatura de Miranda y Hernández X.; equivalente al bosque tropical caducifolio de Rzedowski, 1978) y en los alrededores el bosque de encino que posee como elementos dominantes, en el estrato arbóreo encino (*Quercus sp.*) y madroño (*Arbutus xalapensis*) y en el estrato arbustivo ocotillo (*Dodonaea viscosa*); existe también pastizal inducido (SPP, op cit).

3. Clima.

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García, (1973), en esta región se presenta el clima Aw, (w) cálido subhúmedo, éste tipo se caracteriza por ser el más húmedo, con lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5. Se localiza en el centro y sur de la entidad en los municipios de Axochiapan, Jonacatepec, Tepalcingo, Cuautla, Tlaltizapán, Tlalquitenango, Jojutla, Puente de Ixtla, Amacuzac, Xochitepec, Tetecala, Miaatlán, Mazatepec y Emiliano Zapata. La precipitación

media anual fluctúa entre 800 y 1 000 mm , y la temperatura media anual registra un valor de 22°C. La precipitación máxima se presenta en el mes de septiembre, con lluvias que oscilan entre 190 y 200 mm, la mínima se registra en los meses de febrero, marzo y diciembre con un valor menor de 5 mm. La temperatura más alta se presenta en mayo, y es de 26 a 27°C, la más baja se registra en los meses de diciembre y enero, ambos con un intervalo que va de 20 a 21°C (SRH, op cit).

4. Hidrografía.

El río Cuautla conocido también como río Chinameca (Fig. 2), es un afluente directo del río Amacuzac por su margen izquierdo. Se origina en la Barranca Grande que nace en las faldas SW del Popocatepetl, siendo su orientación general de NE a SW y su longitud de aproximadamente 110 Km. Riega en su parte alta los terrenos del poblado de Achichipilco e inmediatamente después los de Yecapixtla, Mor., para pasar luego a irrigar ampliamente el Valle de Cuautla por medio de diversas obras de riego que benefician 8 972 ha aproximadamente y drena una área de 1 155 Km² (SRH, 1972). Recibe en las inmediaciones de este Valle la aportación del río Agua Hedionda junto con las aguas de la Barranca del Papayo, así como la de los manantiales que afloran en esta zona. Sigue su curso en dirección SE y recibe la aportación del río de la Cuera por el margen izquierdo, conociéndose a partir de esta confluencia como río Nexpa, nombre con el cual confluye al río Amacuzac a 12 Km al NE de Tehuixtla, y a 11.5 Km al N de Jojutla de Juárez en el estado de Morelos. Las aguas del río Cuautla son utilizadas principalmente para el riego agrícola, actúa como receptor de desechos municipales de la ciudad de Cuautla y de descargas de pequeñas industrias aledañas (SRH, 1970).

5. Localización y descripción de las estaciones de muestreo.

Se establecieron seis estaciones de muestreo, localizadas estratégicamente sobre el río Cuautla. Esta elección se realizó en base a las siguientes sugerencias recomendadas para investigaciones de este tipo por diferentes autores, entre ellos Cairns y Dickson (op cit); APHA et. al., (op cit); Schwoerbel, (1975).

- a) Tener siempre una o varias estaciones de referencia sobre todos los puntos de descarga posibles.
- b) Tener una estación directamente bajo cada descarga.
- c) Subdividir la estación en subestaciones (margen derecho, canal medio o margen izquierdo) en caso de que la descarga no se mezcle completamente sobre la entrada del agua receptora o se disperse en una dirección específica.
- d) Establecer estaciones en diferentes distancias río abajo

desde la última descarga para determinar la extensión lineal del daño.

e) Para que puedan compararse las comunidades de invertebrados, todas las estaciones muestreadas deben ser ecológicamente similares.

f) La toma de muestras para análisis físicos y químicos deben efectuarse en lugares cercanos a los de muestreo biológico para asegurar la correlación de resultados.

g) Es importante que todas las estaciones sean muestreadas al mismo tiempo para que se puedan hacer comparaciones entre ellas, sin que transcurran más de dos semanas entre los muestreos de la primera estación y la última.

Tomando en consideración lo anterior, a continuación se mencionan los puntos de muestreo seleccionados y cuya localización se muestra en la figura 3.

La estación 1. "Manantiales" se situó en los manantiales conocidos como Los Sabinos, dentro de la Ciudad de Cuautla. Se consideró esta estación tomando en cuenta que es un punto fuera de contaminaciones importantes, dado que ahí se extrae el agua para suministro doméstico de la ciudad; además se tomó como punto de partida del transecto del río Cuautla (Km 0). Se encuentra a 1 350 msnm.

La estación 2. "Puente Apatlaco", fue situada justo bajo el puente denominado San Pedro Apatlaco, elegida para evaluar las características del agua después de recibir pequeñas descargas domésticas y la aportación del río Agua Hedionda, por su margen izquierdo. Por otro lado, es un punto que está localizado antes de la descarga de la Tenería Morelos y de la descarga de las aguas residuales de la ciudad de Cuautla. Se encuentra a 3.5 Km de la estación 1, a 1 300 msnm.

La estación 3. "Tenería", se estableció después de la descarga de la Tenería Morelos y de la descarga de las aguas residuales de la ciudad de Cuautla, tomada como punto de evaluación de estas fuentes de contaminación. Se encuentra a 5 Km de la estación 1, a 1 250 msnm .

La estación 4. "San Pedro", se ubicó a medio km. de la carretera al poblado de Villa de Ayala, dentro del municipio de Cuautla, en la que se presentan pequeñas descargas municipales. Se sitúa a 6.5 Km de distancia de la primera estación, a 1200 msnm .

La estación 5. "Cebollas", se situó a 1 Km., del poblado Abelardo L. Rodríguez, a 14 Km del punto de partida, ésta recibe pequeñas descargas de origen agropecuario y se encuentra a 1 100 msnm .

La estación 6. "Pescadores", se estableció a 10 Km del

poblado de Nueva Olintepec, sobre la carretera que se dirige a San Rafael Zaragoza y a 23 Km del punto de partida, se encuentra a 1 000 msnm.

Para realizar el muestreo, cada una de estas estaciones fue dividida en margen izquierdo y derecho.

V. MATERIAL Y METODOS

1. Muestreo y análisis físico y químico.

En cada una de las estaciones se tomaron muestras biensuales de agua para los análisis físicos y químicos. El ciclo de muestreo comprendió de agosto de 1985 a agosto de 1986.

Los muestreos y análisis del laboratorio se realizaron de acuerdo a las técnicas recomendadas por los Métodos Estándar (APHA et. al., 1980) y la SARH, (1982).

Los análisis físicos y químicos se efectuaron en la Subcoordinación de calidad del agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Los parámetros físicos y químicos determinados y las técnicas empleadas se enlistan a continuación:

<u>Parámetro</u>	<u>Técnica de análisis</u>
Temperatura del agua	Termómetro
Temperatura ambiente	Termómetro
pH	Potenciométrico
Alcalinidad Total	Titulación potenciométrica
O.D.	Iodosométrico o Winkler
D.B.O ₅ .	Modificado de Winkler
D.Q.O.	Dicromato de Potasio
Grasas y Aceites	Soxhlet
Detergentes (SAAM)	Cloruro de Metilo
Dureza Total (CaCO ₃)	EDTA Eriocromo negro T
Nitrógeno Total	Kjeldhal
Nitrógeno Amoniacal	Kjeldhal
Nitrógeno Orgánico	Kjeldhal
Nitratos (NO ₃)	Sulfato de brucina
Nitritos (NO ₂)	Diazotación
Fosfato Total	Cloruro estanoso
Fosfato Orto	Cloruro estanoso
Sulfatos (SO ₄)	Turbidimétrico
Turbiedad	Turbidímetro Jackson
Conductividad	Conductímetro
Sólidos Totales	Gravimétrico
S. Suspendidos Totales	Gravimétrico
S. Disueltos Totales	Gravimétrico
S. Sedimentables	Gravimétrico
Fenoles	4 Amino-antipirina
Cromo total	Espectrofotométrico
Cromo hexavalente	Espectrofotométrico
Níquel	Espectrofotométrico
Cadmio	Espectrofotométrico
Hierro	Espectrofotométrico
Cobre	Espectrofotométrico

<u>Parámetro</u>	<u>Técnica de análisis</u>
Plomo	Espectrofotométrico
Zinc	Espectrofotométrico
Cloruros	Técnica de Mohr

2. Muestreo y análisis de macroinvertebrados bentónicos.

En cada una de las estaciones se tomaron muestras bimensuales para el análisis de los macroinvertebrados bentónicos, tomando dos muestras (margen derecho y margen izquierdo) en cada sitio de muestreo. El ciclo de muestreo comprendió de agosto de 1985 a agosto de 1986.

Los muestreos y análisis de laboratorio se realizaron de acuerdo a las técnicas recomendadas por los Métodos Estándar (APHA et. al., 1980); la SARH, (1982); Mason, (1984); Usinger, (1956); Cairns y Dickson, (1971).

El análisis de los macroinvertebrados bentónicos se llevó a cabo en el Laboratorio de Sustancias Tóxicas de la Subcoordinación de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Para el muestreo de macroinvertebrados bentónicos se utilizó un muestreador "Surber" de un pie cuadrado de superficie y 30 cm de altura (Fig. 4), colocando el aparato contra corriente y removiendo el sustrato durante diez minutos para que los organismos presentes se depositaran en la red del muestreador, cuya abertura para este caso fue de 0.203 mm. Los organismos colectados junto con el sustrato depositado fueron colocados en bolsas dobles de plástico y se preservaron inmediatamente adicionando formol al 4%. Las muestras colectadas se lavaron y separaron en el laboratorio con un tamiz del número 30 (0.59 mm de abertura) y los organismos presentes fueron separados del sustrato restante con ayuda de un microscopio estereoscópico, para después preservarlos definitivamente en alcohol al 70% para su posterior análisis cualitativo y cuantitativo, realizando observaciones del material colectado en cada punto de muestreo determinando por separado cada uno de sus márgenes.

3. Muestreo y análisis bacteriológico.

En cada una de las estaciones se tomaron muestras bimensuales de agua para el análisis bacteriológico. El ciclo de muestreo comprendió de agosto de 1985 a agosto de 1986.

Los muestreos y análisis de laboratorio se realizaron de acuerdo a la técnica del número más probable por cien mililitros (NMP/100 ml) para determinar los organismos indicadores de contaminación. Se determinaron coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales, calculando por último el

coeficiente CF/EF en base a las consideraciones de la SARH (op. cit.) y Rodier, (1981).

Los análisis bacteriológicos se efectuaron en el laboratorio de microbiología de la Subcoordinación de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Las muestras bacteriológicas (una por estación), se tomaron en botellas de 125 ml de capacidad con tapón esterilado, las cuales fueron previamente tratadas con 0.1 ml de una solución al 10% de tiosulfato de sodio (para evitar la acción bactericida del cloro residual) y 0.3 ml de una solución al 15% de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) para reducir la toxicidad de los posibles metales pesados presentes en la muestra. Posteriormente se sellaron con papel aluminio y se esterilizaron. La muestra se tomó contra la corriente a una profundidad aproximada de 15 cm.

VI. ANÁLISIS DE DATOS.

Previo al análisis de las características físicas y químicas existentes durante el periodo de muestreo, en las diferentes estaciones sobre el río Cuautla, se examinaron de manera preliminar los datos experimentales mediante la parte de la estadística llamada "Análisis Exploratorio de Datos", la cual en opinión de Wainer y Thiessen (1981) citados por Curtis (1986) es el instrumento más importante para el análisis de lotes de datos pequeños desde que apareció la clásica prueba de "t student". Con este análisis se pueden hacer visibles las siguientes características:

1. Muestra el intervalo de valores que los datos cubren.
2. Determina donde se concentran la mayoría de los datos.
3. Describe la simetría del conjunto de datos.
4. Identifica si existen "huacos" en la distribución de los datos.
5. Señala claramente aquellos valores que se desvían del conjunto de datos.

De esta forma se eligió a la mediana (la cual es el valor que divide al conjunto en dos partes iguales) para desarrollar el análisis de los resultados, señalando los casos extremos, y no a la media o promedio, ya que éste último es un resumen numérico que puede eliminar detalles y variaciones de los datos.

Posteriormente los resultados físicos y químicos fueron analizados en base a las consideraciones de Arrignon, 1978; Mc Neely, Neimanis y Dwyer, 1979; Murgel, 1984 y hac 1985.

Por otra parte y en el caso de las muestras biológicas, los índices de diversidad son útiles para monitorear cambios y detectar variaciones en la calidad del agua. Ya que ingenieros, químicos y biólogos se encuentran trabajando juntos, se vuelve aparente que la información biológica clásica (lista de especies) necesita volverse más cuantitativa. Los índices de diversidad resumen la gran cantidad de información acerca de la estructura de la comunidad y son generalmente más apropiados y más aceptados para evaluar la contaminación (Cairns et. al. 1973).

Wilhm (1965), Mathis (1965) y Wilhm y Dorris (1968) citados por Cairns et. al. (op. cit.), han utilizado índices de diversidad para describir la estructura de la comunidad bentónica, encontrando que los índices de diversidad por individuo (d) y redundancia (r) son medidas razonables de la estructura de la comunidad por los rasgos que poseen.

Un sistema contaminado está simplificado y las especies que sobreviven encuentran menos competencia y son capaces de incrementarse en número. La redundancia en este caso es alta ya que la probabilidad de que un individuo pertenezca a una especie

ya observada se incrementa y la cantidad de información por individuo se reduce.

La aplicación de la diversidad por individuo (\bar{d}) y redundancia (r) para describir la comunidad, requiere solamente que sean reconocidos los organismos y sean determinados el número de individuos por taxón.

En base a lo anterior se eligió el Índice Secuencial de Comparación (ISC) como una forma de resumir los datos biológicos en una sola expresión que puede ser utilizada para hacer comparaciones entre dos comunidades de organismos. Además, como indica Saavedra (1982), existen dificultades en el uso de indicadores, ya que es escasa la información de la fauna de muchas regiones geográficas para las cuales no se tienen claves de sus especies.

El ISC es un método simplificado para estimar diferencias relativas en diversidad biológica. Fue desarrollado para satisfacer la necesidad que se tenía de un método numérico rápido que evaluara las consecuencias biológicas de la contaminación. El método ISC no requiere experiencia en taxonomía por parte de los investigadores y se basa en diferencias de forma, color y tamaño de los organismos.

El ISC utiliza una modificación de la prueba de signos y la teoría de las ocurrencias para derivar un índice de diversidad. El ISC es una expresión de la composición de la comunidad ya que no sólo depende de la riqueza estructural de la comunidad sino de la distribución de individuos entre los taxa.

Para el método del ISC se corre un análisis cuantitativo; dos organismos son comparados al mismo tiempo, asignando símbolos diferentes a cada organismo encontrado. Si es similar se le aplica el mismo símbolo, si es diferente se le aplicará otro símbolo; la cantidad de veces que se comparen por el número de organismos examinados, dará la diversidad biológica de la comunidad examinada.

El índice de diversidad es igual al número de comparaciones dividido por el número de especímenes y multiplicado por el número de Taxa presentes.

$$I.S.C. = \frac{\text{No. de comparaciones}}{\text{No. de especímenes}} (\text{No. de Taxa})$$

El número de Taxa se determina ya que han terminado las comparaciones entre individuos.

Cairns y Dickson (op. cit.) propusieron la siguiente escala

para su índice:

<u>Escala</u>	<u>Calidad del agua</u>
< 8	contaminada
>8-<12	semicontaminada
< 12	no contaminada

Entre mayor sea la preparación taxonómica por parte del investigador mayor será la exactitud en determinar cuantos taxa están presentes en una muestra.

Por otra parte los resultados bacteriológicos se analizaron en base a los límites permisibles establecidos por la Legislación Relativa al Agua y su Contaminación, (SARH, 1975 b) y por la Environment Protection Agency, (EPA, 1972).

VII. RESULTADOS Y DISCUSION.

1. Resultados físicos y químicos.

A continuación se hará un análisis de las condiciones físicas y químicas del agua, prevaletientes en las diferentes estaciones de muestreo localizadas sobre el río Cuautla, presentadas en las tablas 3 a 8, en relación a los límites permisibles establecidos para ellos y presentados en la tabla 1.

Cabe señalar que en la estación denominada "Manantiales" (Km 0) se inició a tomar muestras para sus análisis físicos, químicos y biológicos a partir de febrero de 1986 (Tabla 3). Esto se debió a que el sitio elegido como punto de comparación (estación "Pte. Apatlaco", Km 3.5) no presentó las condiciones favorables supuestas al obtener los primeros resultados, por lo que se eligió otra estación.

Profundidad y velocidad de corriente

La profundidad y velocidad de corriente registradas en los puntos de muestreo (ésta última determinada empleando la técnica del Molinete) se presentan en la tabla 2.

Se puede observar que la mayor velocidad de corriente (1.13 m/s) y mayor profundidad (20.8 cm) se presentó en el margen derecho del sitio localizado en el Km 3.5 (estación Apatlaco), asimismo la menor profundidad y menor velocidad de corriente se encontraron en el Km 23 (estación Pescadores) con 13 cm y 0.3 m/s respectivamente para el mismo margen derecho. Con base en las características de velocidad, la naturaleza del lecho del río Cuautla puede considerarse desde lecho de gravas (> de 0.3 m/s) hasta lechos de rocas (> de 1.21 m/s) según lo establecido por Butcher (1933) citado por Hynes (1974).

La velocidad de la corriente es un factor de gran importancia en los ríos ya que puede controlar la presencia y abundancia de las especies y por tanto la estructura de las comunidades bentónicas, ya que tiene influencia sobre el tipo de lecho del río en el que habitan y la cantidad de la deposición de las sales. Su modo de acción es muy complejo y es muy variable en tiempo y sobre distancias muy cortas y es casi imposible cuantificar su influencia, excepto en términos generales (Hynes, op. cit.)

Temperatura del agua

En la estación Manantiales (Km 0) se obtuvo la mediana más baja (20°C) de las registradas en el río, (Tabla 3) y la mayor en la estación Cebollas (km 14) con una temperatura de 27° (Tabla 7), registrándose en general para todas las estaciones las

temperaturas más bajas en los meses de diciembre y febrero, y las más altas en junio y agosto.

Como es sabido, éste parámetro afecta al agua en su densidad, viscosidad y a la solubilidad de los gases y en particular a la del oxígeno (Arrignon, 1978) ésto último de manera inversa. También al incrementarse la temperatura aumentan el consumo de oxígeno y de alimento por parte de los organismos (Murgel, 1984), por lo que también se observa una disminución en la concentración de oxígeno disuelto y un aumento en la demanda biológica de oxígeno. En el caso del río Cuautla, las variaciones en la temperatura son sólo estacionales, por lo cual no es un factor que pueda afectar a la diversidad. Según las investigaciones realizadas por Hawkes (1979), se ha observado que por arriba de los 30°C existe una disminución general de las poblaciones de invertebrados bentónicos, lo cual no se pudo comprobar en este estudio ya que la temperatura del agua nunca rebasó tal temperatura.

pH

Las medianas obtenidas para este parámetro para las seis estaciones no sobrepasan el límite permisible (6.5-9.0) establecidos por Mc Neely *et. al.* (1979) para la protección de la vida acuática. Sin embargo, en el mes de febrero se registraron valores que sobrepasan este límite en su valor alcalino con pH de 9.4 para las estaciones Pte. Apatlaco, Pte. San Pedro, Cebollas y Pescadores, lo cual puede deberse a que en general existe un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos en el río, sobre todo en la época de estiaje, ya que hay un aumento de sales por la disminución del gasto del río en esta temporada con lo cual existe una menor dilución, como lo reflejan los resultados obtenidos en la dureza.

Alcalinidad

Se observó el mismo comportamiento que presentó el pH para las diferentes estaciones, sobrepasando el límite permisible de 250 mg/l (Tabla 1) en Pte. Apatlaco en el mes de febrero (272 mg/l, Tabla 4), en Tenería (Ka 5) en los meses de diciembre (254 mg/l), febrero (479 mg/l), junio (260 mg/l) y agosto (291 mg/l), Tabla 5) en las estaciones Cebollas en los meses de febrero (299 mg/l), abril (275 mg/l), junio (270 mg/l) y agosto de 1986 (275.6 mg/l); y en Pescadores en diciembre (286 mg/l), y abril (291 mg/l). Lo anterior le confiere al río un carácter alcalino a partir de la segunda estación, producto de un aumento en carbonatos y bicarbonatos, los cuales según Hsu (1985), pueden deberse al tipo calcáreo del terreno, siendo este el caso del río Cuautla, ya que como se explicó anteriormente, los suelos por los que hace su recorrido y que comprenden estas estaciones son del tipo que contiene cal en todos sus horizontes.

De acuerdo a Bemer y Sloan (1954), citados por Hynes (1970), muchos invertebrados acuáticos pueden tolerar amplios intervalos de alcalinidad, como es el caso de los organismos presentes en el río Cuautla, además, los carbonatos presentes en el río propician el desarrollo de clorofitas y diatomeas (Margalef, 1974), las cuales a su vez determinan la presencia de organismos bentónicos siguiendo la escala trófica, por lo que este parámetro no es un factor limitante.

Oxígeno Disuelto.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua varía, ya que depende de la temperatura, salinidad, turbulencia del agua, presión atmosférica y procesos fotosintéticos.

Los valores obtenidos de las medianas indicaron que las estaciones Tenerife y Pte. San Pedro presentaron los menores valores de O.D., con 1.41 y 4.05 mg/l respectivamente. Esto se debe a las descargas procedentes de la Tenerife "Morelos" y de la ciudad de Cuautla, cuyo contenido de materia orgánica reducen los niveles de oxígeno hasta concentraciones cercanas a cero (Tablas 5 y 6), encontrándose en la tenería valores por debajo del límite permisible y en la estación Pte. San Pedro valores que están en el límite permisible para la protección de la vida acuática.

En las estaciones Manantiales y Apatlaco las medianas resultaron alrededor de 7.7 mg/l y no presentaron fluctuaciones.

En las estaciones Cebollas y Pescadores para casi todos los meses, excepto en agosto de 1986, se obtuvieron valores inclusive por arriba de del porcentaje de saturación calculado para estos sitios de acuerdo a sus características de presión y temperatura (7.07 y 7.33 mg/l respectivamente, (Wetzel 1975)), lo que significa que se produjo más oxígeno del que se consumía en los procesos metabólicos y reductores.

Con respecto a la influencia que tiene la variación del oxígeno disuelto sobre los organismos se hará una discusión con mayor detalle en el análisis de resultados biológicos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBD₅)

Los valores de este parámetro resultaron elevados en la estación Tenerife (hasta 152 mg/l en agosto de 1986), con una mediana de 32 mg/l, sobrepasando el límite establecido de 6 mg/l, debido al aporte de la descarga de la Tenerife Morelos, la cual se encuentra unos metros antes de este sitio de muestreo, existiendo así una gran cantidad de materia orgánica que provoca intensos procesos de oxidación, dando como resultado los bajos valores de oxígeno registrados.

En la estación Pte. San Pedro también se observaron valores elevados, con una mediana de 8 mg/l. Aunque no es tan alto como en la estación anterior, sí sobrepasa el límite presentado, producto seguramente de las descargas domésticas existentes.

En las otras estaciones se presentaron valores de la mediana para éste parámetro en o por abajo del límite permisible (Tabla 1); aunque en la estación Pescadores en agosto de 1985 se registró un valor alto (22 mg/l), debido posiblemente a la degradación de los residuos orgánicos de plantas acuáticas o residuos de las quemas de los cañaverales que se realizan en esta época del año en la región.

Demanda Química de Oxígeno.

Las medianas obtenidas mostraron, en general, valores elevados a partir de la estación Pte. Apatlaco (20 mg/l) hasta Pescadores (28 mg/l), presentándose los valores mensuales más altos en junio, los cuales van desde 50 mg/l en Cebollas hasta 900 mg/l en la estación Tenérica, sobrepasando el límite permisible establecido de 6 mg/l, debido a que en esta época del año el río transporta gran cantidad de materia orgánica.

Los valores de la D.Q.O son en general superiores a los de D.B.O. ya que suelen oxidarse algunos compuestos que no son normalmente oxidados en el proceso biológico. En el caso de la Tenérica la relación D.B.O./D.Q.O. es menor, con valores hasta de 101/900 para el mes de junio (Tabla 5), debido a la continua degradación de materia orgánica procedente de la descarga de la Tenérica Morelos, la cual es una descarga puntual constante.

Grasas y aceites.

La Legislación Relativa al Agua y su Contaminación (SARH, 1975) señala como límite máximo permisible una concentración de 1 mg/l cuando el agua se destina al uso potable, previo tratamiento. Si el uso es recreativo, de conservación de flora y fauna o usos industriales, basta con la ausencia de película visible.

En las estaciones Manantiales, Cebollas y Pescadores, la calidad del agua con respecto a este parámetro es buena ya que nunca se observó la presencia de película visible.

En la estación Apatlaco se puede ver una degradación en la calidad ya que se observó la película visible en varias ocasiones, sobre todo en junio y agosto de 1986 (Tabla 4), en los cuales los valores de grasas y aceites fueron de 27y 29 mg/l respectivamente, debido a que este sitio se utilizaba para el lavado de vehículos, los cuales eran introducidos inclusive dentro del río.

En las estaciones Tenería y San Pedro la situación con respecto a este parámetro se tornó crítica, ya que además de la película visible (y consecuentemente los altos valores de la mediana con 23 y 13 mg/l), se observó que la grasa proveniente de la descarga de la tenería se había acumulado en los sedimentos y que junto con la materia orgánica, formaban un lodo negro.

S A A M.

No se presentaron valores por arriba del límite permisible (3 mg/l, SARH, 1975) en las medianas de las estaciones Manantiales, Pte. Apatlaco, Pte. San Pedro, Cebollas y Pescadores, sin embargo, en diciembre de 1985, Apatlaco registró un valor elevado de 2.98 mg/l (Tabla 4), provocado seguramente por el uso que hacen del río para lavado de automóviles y de ropa; lo mismo sucedió en la estación Cebollas en agosto de 1986 con un valor de 2.66 mg/l.

En la estación Tenería se encontró un valor alto de la mediana (2.99 mg/l) y en general a lo largo del año se observaron resultados elevados. En el tipo de descargas procedentes de las tenerías no existen detergentes, lo que supone que éstos deben originarse en descargas domésticas aledañas a esta zona, las cuales se observan en ambos márgenes del río.

Dureza total.

Babbit (1955) citado por Márquez en 1984, proporciona una tabla para determinar el grado de dureza de las aguas superficiales:

<u>Dureza mg/l</u>	<u>Grado de dureza</u>
0 - 55	blanda
56 - 100	ligeramente dura
101 - 200	moderadamente dura
201 - 300	muy dura

Tomando en consideración lo anterior, en las estaciones Manantiales y Tenería, el agua es moderadamente dura con medianas de 138 y 196 mg/l, aunque en esta última existen valores hasta de 316 mg/l que le dan características de aguas muy duras.

En las demás estaciones el agua resulta ser muy dura, con valores en las medianas que van de 217 en Pte. Apatlaco a 340 mg/l de CaCO₃ en Pescadores, debido al tipo de rocas carbonatadas presentes en la región. Esta elevada dureza puede afectar tanto al uso industrial como al doméstico, ya que puede provocar incrustaciones en las tuberías.

En cuanto al efecto de la dureza del agua sobre los

invertebrados bentónicos, Hynes (1970) concluya que éste es un factor que puede controlar la ecología de algunos invertebrados, pero que frecuentemente se tiene una idea muy vaga de como opera y es necesaria mucha más información. Por otra parte, Albretch (1959), citado por Hynes (1974), menciona que ríos con aguas muy duras están más densamente poblados por organismos bentónicos que los ríos que presentan aguas blandas.

Sustancias nitrogenadas.

En la estación Manatiales no se observaron valores que sobrepasaran los límites permisibles establecidos para estos parámetros.

En la estación Pte. Apatlaco, a pesar de que las medianas no sobrepasan los límites, existen valores, sobre todo en el mes de junio, en el que el nitrógeno total, amoniacal y orgánico presentaron concentraciones altas (172.79, 160.89 y 11.9 mg/l respectivamente), lo que sugiere un aporte considerable de origen antropogénico, animal y por fertilizantes, lo cual concuerda con los altos valores de DGO obtenidos.

Un comportamiento similar al anterior ocurrió en la estación Tenería en junio, con 13.13 mg/l para nitrógeno amoniacal y en agosto de 1986 con 20.24 mg/l para nitrógeno, aunque el amoniacal permaneció elevado durante todo el año.

En la estación San Pedro, sólo el NH_4 presentó valores por arriba del límite permisible (0.025 mg/l) con concentraciones hasta de 1.68 mg/l en el mes de agosto de 1986, producto de la gran contaminación orgánica existente en este punto. El nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos no se encontraron en niveles problemáticos.

Con relación al NH_4 las altas concentraciones registradas anteriormente pueden afectar en mayor medida a los organismos presentes en el río Cuautla, ya que como afirman Wuhrman y Woker (1948), citados por Hynes (1974), el NH_4 es mucho más tóxico en aguas alcalinas como las que predominan en este sistema.

Los altos contenidos de NO_x en las estaciones Cebollas y Pescadores (medianas de 0.78 y 1.04 mg/l, tablas 7 y 8 respectivamente), suponen la oxidación de las sustancias nitrogenadas encontradas en los puntos anteriores por diversos procesos químicos y biológicos que ocurren a lo largo del río hasta estos dos últimos sitios de muestreo. Sin embargo, estos valores no sobrepasan el límite permisible (11 mg/l). En cuanto al nitrógeno total, amoniacal y nitritos tampoco se presentaron problemas.

Fosfatos.

La cantidad de fosfato total determinada a lo largo del río (Tablas 3 a 8) demuestra los elevados aportes de este nutriente al sistema, ya que en todos los sitios de muestreo sobrepasan los valores permisibles (0.1 mg/l, (Mc Neely, et. al. , 1979)). Inclusive en la estación Manantiales se obtuvo una mediana de 0.18 mg/l para el fosfato total y 0.134 mg/l para el ortofosfato, teniendo como fuente principal el lavado del suelo a orillas del río y quizás, como lo apunta Hynes (1970), las lluvias.

En Pte. Apatlaco se obtuvo una mediana de 0.36 mg/l para fosfato total, presentando un valor alto (54 mg/l) en agosto de 1985, lo cual indica el aporte de desechos domésticos (con detergentes fosfatados) y de origen animal.

En las estaciones Tenoría, Pte. San Pedro y Cebollas, el fosfato total excede el límite, con medianas de 1.27, 0.64 y 0.34 mg/l respectivamente. Los resultados obtenidos para los ortofosfatos presentan medianas con valores elevados de 0.80, 0.32 y 0.26 mg/l en el mismo orden, lo cual demuestra que existe una oxidación de los compuestos fosfatados presentes en la materia orgánica a ortofosfatos.

En general, en las estaciones anteriores se observó un aporte continuo de descargas domésticas y residuos animales, además de la entrada de fosfatos por los fertilizantes utilizados en esta zona agrícola.

En la estación Pescadores los resultados son menores, 0.116 para fosfato total, con lo cual se rebasa el límite establecido, y 0.03 mg/l para ortofosfato.

Debido a que el ortofosfato es la forma más soluble de los fosfatos, las elevadas cantidades encontradas determinan un gran riesgo a las comunidades presentes en el río, ya que esto puede provocar un florecimiento algal que traería como consecuencia un desequilibrio en la cadena trófica al haber desarrollo de un tipo de algas (lo cual sucede generalmente), limitando así la diversidad en alimento para la fauna bentónica. Sin embargo, aunque esto ocurre en la estación Pescadores (alto contenido de fosfatos y florecimientos algales), no se observó una disminución de la diversidad para este sitio (Fig. 13), debido a que como menciona Margalef (1974), existen organismos autótrofos dentro del plancton que estabilizan este efecto al asimilar rápidamente estos nutrientes. Tal es el caso de la cianofita del género *Anabaena*, la cual fue registrada en este sitio como formadora del florecimiento algal (Cubillas et. al. 1986).

Sulfatos.

El alto contenido de sulfatos es importante porque provoca

dureza en el agua, y en cantidades mayores de 250 mg/l puede resultar laxante e incluso tóxico si se destina al consumo humano (Márquez, 1986).

Ninguna de las estaciones muestreadas presentó problemas en relación a las medianas obtenidas, pero sí existieron casos en los que los niveles mensuales rebasaron el máximo permitido establecido en 250 mg/l.

En la estación Tenería se registraron los máximos valores, siendo estos de 540 en febrero y 315 mg/l en junio (Tabla 5), producto de la influencia de la descarga de la Tenería Morelos.

En la estación Pescadores se obtuvieron 269 mg/l en abril, con lo cual se sobrepasó el límite establecido (Tabla 8). Este valor puede ser el resultado del aporte de los escurrimientos agrícolas de la región y del lavado de las rocas calizas existentes en esta zona, como lo sugiere Mc Neely *et. al.*, (1979).

Los elevados valores de sulfatos encontrados, sobre todo en la estación Tenería, acrecentan el problema existente en estos sitios, ya que como menciona Hynes (1974), puede provocar una pérdida de oxígeno, con lo cual se afectan las comunidades existentes, demostrándose lo anterior con la baja diversidad encontrada en este punto (Figs. 6-12).

Conductividad.

Respecto a este parámetro, Babbit (1955), citado por Márquez (1986), menciona que una conductividad entre 150 y 500 μ nhos/cm a 25°C resulta adecuada para mantener la fauna de peces.

En la estación Manantiales, la conductividad se encuentra dentro del intervalo mencionado con una mediana anual de 304 μ nhos/cm.

En Pte. Apatlaco en el mes de febrero, se presentó un valor de 755 μ nhos/cm (Tabla 4). En la estación Tenería se obtuvieron los valores más elevados, con un registro máximo de 2 358 μ nhos/cm en febrero y una mediana anual de 864 μ nhos/cm, producto de la elevada cantidad de sólidos presentes (1 470 mg/l) en junio, existiendo un comportamiento similar en la estación San Pedro, en la que también en el mes de febrero se presentó el mayor valor con 893 μ nhos/cm, con una mediana anual de 566 μ nhos/cm y con una concentración de sólidos totales de 744 mg/l.

En la estación Cebollas se presentó una mediana anual de 731 μ nhos/cm, y en la estación Pescadores la mediana fue de 823 μ nhos/cm con lo cual en ambos sitios se rebasó el límite permisible mencionado.

Debe considerarse la estrecha relación que, de acuerdo a diferentes investigadores (entre ellos Margalef, 1983), existe entre la conductividad y la dureza, la salinidad, los sulfatos y la alcalinidad. Lo anterior se demuestra en las estaciones Tenería, Cebollas y Pescadores en las que los valores de éstos parámetros son elevados, demostrando la relación positiva que existe entre ellos (Tablas 5, 7 y 8). Asimismo, se observó que se presentaron los valores más elevados para la conductividad en la época de estiaje, en la que existe un mayor contenido de sales disociables con lo cual se confirma lo anterior.

Sólidos.

La cantidad de sólidos totales en la estación Manantiales varió de 248 a 308 mg/l con una mediana de 268 mg/l (Tabla 3), de los cuales la mayor proporción fueron sólidos disueltos. Los sólidos sedimentables no fueron detectados.

En la estación Pte. Apatlaco en agosto de 1985, se observó una alta concentración de sólidos suspendidos (752 mg/l) y en los siguientes meses los sólidos disueltos dominaron la proporción con una mediana de 313 mg/l. Los sólidos sedimentables (mediana de 1 mg/l) mostraron el aporte de materia orgánica al que estuvo sujeto este punto.

En la estación Tenería se presentaron los mayores valores de sólidos en sus diferentes formas, de las cuales los sólidos disueltos son los que predominan, llegando a presentarse hasta 1342 mg/l en febrero con una mediana anual de 562 mg/l. También los valores de sólidos sedimentables son elevados presentándose un valor extremo de 3 mg/l en agosto de 1985, debido a que en la descarga de la tenería existen partículas grandes que afectan a los organismos presentes en los sedimentos de este lugar.

En Pto. San Pedro también existió una considerable proporción de material sedimentable (mediana de 1.45 mg/l) debida a las descargas municipales y a lo que se viene arrastrando desde la estación anterior.

En las estaciones Cebollas y Pescadores la mayor proporción la ocuparon los sólidos disueltos con valores de 552 y 654 mg/l en sus medianas respectivamente, lo cual está relacionado con las elevadas concentraciones de sales ya discutidas anteriormente. En segundo lugar, se encontró el material suspendido con 26 mg/l en la estación Cebollas y 19 mg/l en Pescadores, ocasionado, aparentemente por la materia orgánica, resultado de los florecimientos algales observados. Además, no se pueden descartar y esto es para todas las estaciones, los procesos de erosión de los suelos y resuspensión de los sedimentos.

De acuerdo a los resultados obtenidos de estos parámetros, los sólidos suspendidos se encuentran por arriba del límite

permisible (25 mg/l,) presentado en la tabla 1. Esto ocurrió en las estaciones Puente Apatlaco (mediana de 27 mg/l), Tenería (mediana de 86 mg/l), Puente San Pedro (mediana de 70 mg/l) y Cebollas (M = 26 mg/l).

Las concentraciones de sólidos encontradas a lo largo del río pudieron afectar los procesos fotosintéticos, afectando a los organismos bentónicos fitófagos, sin embargo, por ser partículas pesadas, fueron incorporadas rápidamente al sistema sin causar problemas.

Por lo que se refiere a la biocenosis, la sedimentación de grandes cantidades de materiales en suspensión puede dejar el fondo en condiciones desfavorables, provocando la eliminación de numerosas especies bentónicas, lo cual de hecho ocurre en las estaciones Tenería y San Pedro en las que se observó una disminución en la diversidad (Figs 6-12).

Fenoles.

Los fenoles son indeseables en abastecimientos de agua para las industrias alimenticias y de bebidas debido a los problemas de olor y sabor resultantes. Son tóxicos a los peces y otros organismos acuáticos, dependiendo de la especie.

En la estación Manantiales se presentaron dos valores elevados en abril y agosto de 1986, 0.005 y 0.05 mg/l respectivamente (Tabla 3), los cuales sobrepasan el límite propuesto (0.001 mg/l, (E.P.A., 1976)). En Apatlaco también se registraron valores que sobrepasaron el límite en los meses de agosto de 1985 (0.004 mg/l), diciembre (0.008 mg/l), abril (0.005 mg/l) y agosto de 1986 (0.048 mg/l).

En las siguientes estaciones, los valores (en diciembre de 1985), se incrementaron considerablemente, hasta 0.0370 mg/l en Tenería y 0.0470 mg/l en Pte. San Pedro, resultado del aporte de la descarga de la tenería.

En Cebollas y Pescadores, al igual que en las estaciones anteriores, se obtuvieron medianas que sobrepasan el límite establecido (con valores de 0.02 y 0.01 mg/l respectivamente), lo cual como afirma Mc Neely *et. al.*, (op. cit.), puede ser consecuencia de los productos fenólicos que son arrastrados desde río arriba, los cuales son consecuencia de la descomposición de los desechos de la tenería (grasas y fragmentos de piel), residuos humanos y animales y por la hidrólisis, oxidación química y degradación microbiológica de pesticidas, fungicidas y herbicidas fenólicos aplicados en esta zona, siendo resistentes a la degradación biológica. Las elevadas concentraciones de fenoles encontradas, pueden resultar tóxicas a los organismos en general, como ya se mencionó, y además puede tener un efecto indirecto sobre ellos, ya que los fenoles presentan una elevada demanda de

oxígeno lo cual puede resultar en la desoxigenación del agua.

Turbiedad.

La turbiedad en el agua se debe a la presencia de partículas de material suspendido que varían desde arcillas a materia orgánica e inorgánica finamente diluida.

En la estación Manantiales se sobrepasa el límite propuesto de 10 ppm en el mes de febrero (con 11 ppm), debido seguramente al efecto de vertimientos de material por parte de algunos camiones que entran en esta área. En Pte. Apatlaco existió un valor elevado de 27.5 ppm en octubre, originado por la materia orgánica presente.

En las estaciones Tenería y Pte. San Pedro, se registraron valores elevados en la turbiedad con medianas de 37.5 ppm para la primera y 12 ppm para la segunda. Esto tiene su origen en la cantidad de materia orgánica y sólidos existentes que se incrementan al aumentar la velocidad de la corriente en estos dos puntos (Tabla 2). La turbiedad presente en estos sitios puede reducir la fotosíntesis de la vegetación acuática sumergida y del fitoplancton, debido a que la luz no penetra fácilmente, lo que puede resultar en la reducción de la productividad, afectando a todas las comunidades biológicas incluida por supuesto, la comunidad bentónica. Este hecho se confirma con la baja diversidad encontrada en estos sitios de muestreo en comparación con los demás puntos (Figs. 6-12).

Metales pesados.

En cuanto a estas determinaciones se obtuvo lo siguiente.

El Cr total se mantuvo en todas las estaciones por debajo del límite detectable, a excepción de la estación Tenería, en donde se obtuvieron valores que sobrepasaron el límite permisible de 0.05 mg/l, alcanzando concentraciones hasta de 0.35 mg/l en febrero, lo cual era de esperarse, ya que este metal es aportado por los desechos de la misa, contribuyendo a deteriorar las condiciones del lugar por lo tóxico de este elemento, siendo los organismos inferiores más afectados que los peces por este metal variando de especie a especie (Rodier, 1978). Esta influencia puede observarse en la baja diversidad presentada en esta estación durante todo el año (Fig. 13).

El Ni, el Cd y el Cu se mantuvieron en todas las estaciones y para todos los meses, por debajo del valor detectable.

Para el Fe se obtuvieron valores elevados en relación al límite permisible (0.3 mg/l), hasta 8.3 mg/l en Apatlaco, 4.5 mg/l en Tenería, 5.2 mg/l en Pte. San Pedro, 3.1 mg/l en Cebollas y 4.9

mg/l en Pescadores, todos para el mes de agosto de 1985. Las causas del alto contenido de Fe son múltiples y los problemas que origina están enfocados a sus limitaciones para su uso industrial. Por otra parte, cuando son adicionadas concentraciones elevadas de fierro al agua en forma de sales, éste se puede precipitar en el agua por el contacto con el aire.

El Pb sobrepasó el límite permisible establecido de 0.03 mg/l solamente en el mes de octubre en la estación Pte. Apatlaco, con un valor de 0.2793 mg/l, debido probablemente a un aporte antropogénico por el uso que se hace del río como vehículo de desechos en esta parte (domésticos, de gasolineras, etc.), y por la cercanía de la ciudad de Cuautla.

En cuanto al Zn, en todas las estaciones se obtuvieron datos que sobrepasaron el límite establecido para la protección de la vida acuática (0.03 mg/l). Aunque el zinc es abundante en la naturaleza (las rocas calizas lo contienen), estas concentraciones pueden deberse a descargas industriales (la descarga de la tenería parece ser una fuente importante) o al uso de fertilizantes y pesticidas. Este elemento es tóxico a los organismos acuáticos, sobre todo a los peces, y su toxicidad depende de varios factores como la dureza, la temperatura o el oxígeno disuelto.

En relación a lo anterior Mc Neely *et. al.* (1979), mencionan que la toxicidad del Zn para la vida acuática, disminuye al aumentar la dureza del agua, aumenta con la temperatura y disminuye proporcionalmente con el aumento del oxígeno disuelto, por lo que en el río Cuautla la alta concentración de zinc puede ser compensada en cuanto a su toxicidad por la elevada dureza del agua. Por otro lado, con respecto a la relación con el oxígeno disuelto, esta toxicidad debe ser mayor en las estaciones Tenería y San Pedro, ya que se presentaron los más bajos contenidos de oxígeno disuelto (1.41 y 4.05 mg/l respectivamente), provocando posiblemente un efecto sinérgico, siendo un factor más por el cual la diversidad presentada en las figuras 5 a 11, se ve afectada en estas estaciones.

Un aspecto importante que se debe considerar es que, aunque el Cr, el Ni, el Cu, el Cd y el Pb no sobrepasan los límites establecidos, sí pueden concentrarse a lo largo de la cadena alimenticia (biomagnificación), pudiendo llegar a acumularse grandes niveles en organismos a partir de concentraciones muy bajas (bioacumulación) (Mason, 1984).

Cloruros.

Estos no significaron ningún problema a lo largo del tramo elegido para este estudio en relación a límite permisible (250 mg/l) a excepción del valor registrado para el mes de junio (721 mg/l) en la estación Tenería.

2. Resultados biológicos.

A continuación se analiza la calidad del agua presentada en el río Cuautla en el tramo estudiado, en base a los resultados obtenidos mediante el Índice Secuencial de Comparación, en relación con la variación de los parámetros presentados en las figuras 5 a 11 determinados en los meses en los que se realizó el estudio (temperatura, pH, O.D., D.B.O y D.Q.O.), los cuales se eligieron debido al carácter orgánico de las descargas que son vertidas al río. Los resultados del Índice Secuencial de Comparación se presentan por separado en la tabla 9.

Agosto de 1985.

La figura 5 muestra los resultados obtenidos para el mes de agosto de 1985. En el Km. 3.5 (estación Pte. Apatlaco) se presentaron condiciones de contaminación para los dos márgenes (3.0 en el izquierdo y 1.3 en el derecho) de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación (ISC), relacionado lo anterior con los altos valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 12 mg/l, demanda química de oxígeno (DQO) de 61 mg/l, y el contenido de oxígeno disuelto (OD) de 5.27 mg/l.

La descarga de materia orgánica biodegradable, reflejada en este caso por la DBO para esta estación, afecta a los invertebrados bentónicos de diferentes maneras: al aumentar la materia orgánica también hay un aumento de agentes encargados de degradar dicha materia en el ecosistema, creando así un desequilibrio en el conjunto de comunidades del río de un sitio particular. La demanda respiratoria de la población microbiana producida a causa de la oxidación del residuo, utiliza parte del oxígeno disuelto en el agua. Estos efectos junto con la sedimentación y cambios en el estado trófico, afectan a los invertebrados bentónicos presentes (Hynes, 1970). De esta forma, pueden ser eliminados géneros sensitivos tales como *Stonelmis*, *Paragyraclis*, *Leptonema* y *Microcylloepus* al limitarles el alimento presente, es decir, reducir la cadena trófica a nivel plancton, presentando sólo organismos tolerantes a estas condiciones y eliminando a los géneros mencionados que son indicadores de aguas limpias.

En cuanto a la temperatura, para el bentos como para cualquier otra comunidad, una misma especie funciona de manera muy diversa bajo temperaturas diferentes y el resultado de su competencia con otras puede depender de ella. De manera directa, la temperatura no afecta en gran medida a los invertebrados bentónicos, ya que muchos de ellos son euritérmicos (Hawkes, 1979). Sin embargo, un aumento en la temperatura aumenta el metabolismo y el consumo de oxígeno y acelera el desarrollo (Margalef, 1983), por lo que la temperatura registrada en esta estación (24°C) mas la materia orgánica encontrada, provocó la disminución en la diversidad.

A pesar de lo anterior, Rodier (1978), señala como dato adicional que algunos de los efectos de la temperatura pueden tener una acción benéfica, considerando que su aumento favorece la autodepuración de los ríos y aumenta la velocidad de sedimentación. Se puede decir que el efecto de la temperatura sobre los organismos solo es problema en lugares con condiciones de contaminación.

El pH de manera general puede no ser una limitante, en este caso para la comunidad bentónica, siempre que no rebase los límites ya establecidos y discutidos anteriormente (intervalo de 6.5 a 9), además se han encontrado una gran variedad de organismos en valores de pH que van desde 4.5 hasta 9 (Hawkes *op.cit.*). Sin embargo, el pH puede ser un factor limitante a los organismos bentónicos de manera indirecta cuando este es alcalino y a la vez existen elevadas cantidades de NH_3 , con lo cual aumenta la toxicidad, pudiendo ser éste un factor responsable de la baja diversidad encontrada para este mes, observada en la figura 5, sobre todo en las primeras tres estaciones.

En las siguientes estaciones, Km 5 (estación Tenería) y Km 6.5 (estación Pte, San Pedro) se presentaron condiciones de contaminación similares a las del punto anterior, reflejadas por su baja diversidad.

En el Km 14 (estación Cebollas), se presentó un aumento en la diversidad reflejado por los valores del ISC obtenidos, llegando a tener condiciones de aguas no contaminadas en el margen izquierdo con un índice de 13.25 y aguas muy cercanas a condiciones de aguas limpias con un índice de 11.89 en el margen derecho (Tabla 9). Lo anterior indica que no hay mezcla completa en el río, el cual está siendo abatido ligeramente por su margen derecho.

Por otro lado, la DBO y la DCO disminuyen señalando que existe una incorporación de materia orgánica susceptible de degradarse dentro del sistema y que, además, los organismos aumentan en diversidad resultando en una cadena trófica más larga, es decir, que aparecen nuevos organismos autótrofos que producen oxígeno el cual aumenta (6.08 mg/l en este caso), creando condiciones favorables para las comunidades bentónicas, apareciendo indicadoras de aguas limpias tales como los géneros *Corydalis*, *Stenelmis* y *Microcylloepus*.

En el Km 23 (estación Pescadores), se aprecia la entrada de material orgánico, ya que el valor de DBO aumenta a 22 mg/l y el oxígeno disminuye a 5.27 mg/l existiendo valores en la diversidad de 5.62 y 11.92 en los márgenes izquierdo y derecho respectivamente, denotando que el río, del Km 14 al 23, sigue recibiendo descargas agrícolas, ahora por el margen izquierdo y que no existe una mezcla completa. Sin embargo, la autodepuración no se abate, ya que los resultados de diversidad indican aguas ligeramente contaminadas, a excepción del margen izquierdo, en donde aparecen organismos bentónicos como los géneros *Ophiogomphus*

y *Simulium*, los cuales son considerados como mesosaprobios y en el margen derecho géneros como *Leptonema* y *Baetis* que son sensibles a la contaminación, indicando descargas dispersas que están entrando constantemente al río las cuales resultan ser peligrosas debido a que no permiten la autodepuración total de la corriente.

Octubre de 1985

Durante octubre de 1985 (Fig. 6) se observaron en general condiciones restrictivas en todo el trayecto del río estudiado, aunque en el Km 3.5 se presentaron condiciones de contaminación moderada, con un índice de 10.2 que, relacionándolo con los valores bajos de DBO (2 mg/l) y DQO (20 mg/l) y alto contenido de OD (7.7 mg/l), indicaron una incorporación activa de los desechos orgánicos que permite autodepuración en ciertas zonas del río, -como es en este punto- y en el margen derecho del Km 23, denotando que no hay mezcla completa en el cauce, y no se abate totalmente a los organismos presentes en el sistema. Por otro lado, en el mes de octubre se realiza la zafra cañera en el estado y la rotación de cultivos aledaña a la zona de estudio, lo que representa un aporte significativo extra de materia orgánica al cauce, reflejado por los resultados en los índices de diversidad de 4.8 y 8.03 para los márgenes izquierdo y derecho en el Km 14 y de 8.40 y 10.05 para los márgenes izquierdo y derecho respectivamente, en el Km 23.

Diciembre de 1985

Los resultados para el mes de diciembre (Fig. 7) muestran de manera general un aumento en la diversidad para todos los puntos, con lo cual se establece una mejor calidad del agua; sin embargo, los márgenes derechos de las estaciones situadas en los kilómetros 5 y 6.5 presentaron una calidad de agua contaminada, lo que se discutirá posteriormente.

En el Km 3.5 (estación Pte. Apatlaco) se presentaron condiciones adecuadas con bajos valores de DBO (1 mg/l) y DQO (10 mg/l) y una buena concentración de oxígeno (7.49 mg/l) observándose condiciones sin contaminación, con un ISC de 17 para el margen izquierdo y de 12 para el derecho.

En los kilómetros 5 y 6.5 se presentó un comportamiento similar para ambas estaciones, observándose condiciones de contaminación moderada para sus márgenes izquierdos y de franca contaminación en los márgenes derechos (ISC de 6.16 y 6.6) con una disminución pronunciada en las concentraciones de OD (hasta 1.21 mg/l en el Km 5 y 5.47 mg/l en el Km 6.5) señalando nuevamente que no existe mezcla completa y la presencia de descargas dispersas.

En el Km 14 se presentaron condiciones de aguas limpias y semicontaminadas para los márgenes izquierdo y derecho, con

índices de 15.38 y 9.81 respectivamente (Tabla 9), con un contenido de OD de 7.09 mg/l, DBO de 2 mg/l y DQO de 20 mg/l, lo cual indicó el aumento en la diversidad y la depuración de la corriente.

A pesar del incremento de la DBO a 10 mg/l y de la DQO a 158 mg/l, en el Km 23 se observó una gran diversidad, con lo cual se le confirió a la estación un carácter de aguas limpias, con índices de 19.40 para el margen izquierdo y 10.67 para el margen derecho. La alta DQO presentada pudo deberse a un gran contenido de compuestos de degradación lenta (de origen vegetal), que no afectaron a la comunidad ni a la depuración en la corriente.

Febrero de 1986

La figura 8 muestra los valores obtenidos para el mes de febrero de 1986, en la cual ya se incluyen los resultados para la estación tomada como punto de referencia, ésta es el Km 0 (estación Manantiales). No obstante, se obtuvo un valor de ISC de 8.22 el cual considera a las aguas como semicontaminadas para su margen izquierdo, lo anterior es razonable debido a que en este lado existió una alteración de tipo mecánico al ser vertida tierra al río constantemente por camiones que la depositaban ahí. En el otro margen de este mismo punto, se presenta una buena calidad (ISC de 15.70) relacionada con el alto contenido de OD (7.7 mg/l) y los bajos valores de DBO (1 mg/l) y DQO (9 mg/l).

En los kilómetros 3.5 y 5 los resultados obtenidos fueron muy similares, presentándose una alta diversidad en los márgenes izquierdos (14.82 y 20.88 respectivamente) y muy baja en los derechos (5.14 y 6.14), observándose un incremento en los valores de DBO y DQO y una aguda disminución de OD, sobre todo en el Km 5, con valores de 37.0, 48.8 y 0.8 en el mismo orden. En el Km 5 (Tenería) situado inmediatamente después de la descarga de la Tenería Morales, sucedió un fenómeno peculiar que será discutido posteriormente.

En el Km 14 y en el Km 23 se observaron buenas condiciones, con la disminución de la DBO a 2 mg/l y 1 mg/l respectivamente y a 9 mg/l para la DQO en ambas estaciones y el aumento considerable en la concentración de OD a 7.3 y hasta 14.9 mg/l para cada una de las estaciones mencionadas.

En general existieron buenas condiciones de calidad del agua, a excepción de las descargas puntuales (tenería) y dispersas (del Km 3.5 al 6.5). La autodepuración no fue abatida, manteniéndose una diversidad alta, denotando una cadena trófica larga y presentando una tendencia hacia las aguas limpias.

Abril de 1986

En el Km 0 durante el mes de abril de 1986 (Fig. 9) nuevamente se presentó una baja diversidad a pesar de las buenas condiciones reflejadas químicamente, sobre todo en el margen izquierdo, con un ISC de 4.64 (Tabla 9) en donde el valor para la DBO fue de 1 mg/l, para la DQO de 10 mg/l y para el OD de 8.1 mg/l. Lo anterior es razonable, debido a que esta estación se situó unos metros río abajo de la salida a la superficie de aguas subterráneas (manantiales), en las cuales es de suponerse una falta de organismos autótrofos debido a las limitaciones de luz en el subsuelo, sin embargo, éstos alcanzan cierto desarrollo hasta el sitio de muestreo pero presentan poca diversidad, es decir, poco alimento para los organismos bentónicos, existiendo solamente organismos tolerantes a estas condiciones, lo cual hace que la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados disminuya.

En los kilómetros 3.5 y 5 se presentó una mejor calidad del agua en comparación con el mes de febrero, ya que en esta ocasión ninguna de las dos estaciones presentó márgenes con índices que indicaran aguas contaminadas (Fig. 9) denotando menor aporte de descargas dispersas y que la depuración no es abatida. En el Km 6.5 permaneció la contaminación del agua, reflejado en sus índices de diversidad de 6.36 y 6.4 para los márgenes izquierdo y derecho, con una concentración de OD de 3.04 mg/l, una DBO de 21 mg/l y una DQO de 40 mg/l. Esta contaminación continuó al parecer hasta el Km 14, en donde se observó la menor diversidad del año con un ISC para el margen izquierdo de 3.04 y de 8.49 en el derecho, a pesar del incremento del OD (11.75 mg/l) y la disminución de la DBO (4 mg/l) y de la DQO (15 mg/l), lo cual indicó un área abatida en su calidad debido fundamentalmente a la preparación de la tierra para los cultivos aledaños durante esta época del año y por lo tanto, marcando la zona agrícola vecina al río.

En contraste a lo anterior, en este mismo mes se obtuvo la mayor diversidad del año para la estación situada en el Km 23 con un ISC de 20.79 para el margen izquierdo y de 23.52 para el derecho, señalando condiciones de calidad aceptables para la comunidad.

Junio de 1986

Durante junio de 1986 (Fig. 10), se presentó un aumento significativo en la calidad del agua para la primera estación en relación al mes anterior, alcanzando el mayor ISC del período de muestreo de 12.45 para el margen izquierdo y de 13.28 para el derecho (Tabla 9), con un buen contenido de OD (6.9 mg/l) y muy bajos de DBO (1 mg/l) y DQO (5 mg/l) indicando una cadena trófica larga y por lo tanto una mayor diversidad.

Para el siguiente punto (Km 3.5) se presentó un aumento considerable en la DQO (400 mg/l), lo cual concuerda con la

disminución del ISC (9.70 y 7.68 en sus márgenes izquierdo y derecho) indicando aguas contaminadas, debido al aumento en las descargas dispersas sobre el río.

En el Km 5, después de la descarga de la tenería, existió un marcada diferencia en la diversidad de sus márgenes, teniendo aguas limpias en el margen izquierdo con un ISC de 17.46 y aguas contaminadas en el derecho con un ISC de 7.37. El ISC demostró que en el margen izquierdo existieron buenas condiciones de calidad del agua, sin embargo, los resultados fisicoquímicos demostraron lo contrario, con una DBO de 101 mg/l, una DQO con un valor extremo de 900 mg/l y un contenido de OD de 2.4. Es lógico suponer que en este punto, posterior a la descarga de la Tenería Morelos, ésta no se mezclaba a lo ancho del río afectando sólo al margen derecho.

En el Km 6.5 las condiciones permanecieron afectadas, observándose una DBO de 11 mg/l, una DQO de 50 mg/l y una concentración de OD de 3.5 mg/l con una diversidad de 2.59 y 9.28 en sus márgenes izquierdo y derecho. En el siguiente punto (Km 14), se pudo observar un importante incremento de la diversidad, con un ISC de 13.63 para el margen izquierdo y 11.39 para el derecho, con un contenido de OD de 7.1 mg/l. La diversidad siguió en aumento hacia el Km 23, llegando a 17.72 y 18.04 en los márgenes izquierdo y derecho respectivamente (Tabla 9). Estos incrementos en la diversidad se dieron a pesar de que la DQO permaneció elevada (50 mg/l), indicando una asimilación activa de la materia orgánica al sistema que permite su autodepuración.

Agosto de 1986

Los resultados obtenidos en agosto de 1986 (Fig. 11) demuestran una vez más las diferencias que pueden existir entre dos puntos de una misma estación. Este es el caso del primer sitio de muestreo, en donde el ISC le confiere al agua condiciones de aguas limpias en el margen izquierdo con 14.28 y aguas cercanas a condiciones de contaminación con un ISC de 8.63 en el derecho. Los valores correspondientes a la DBO, DQO y OD fueron 3.0, 5.0 y 7.7 mg/l respectivamente.

Los valores del ISC obtenidos en el kilómetro 3.5 (25.68 en margen izquierdo y 16.71 en margen derecho) y en el kilómetro 5 (9.10 en margen izquierdo y 7.30 en el derecho), a pesar de los altos valores de DQO (hasta 240 mg/l en el Km 5), contrasta con lo acontecido en agosto de 1985, en el que los valores fueron de 3.0 y 1.3 para el Km 3.5 y 1.0 y 6.69 para el Km 5 en sus respectivos márgenes izquierdo y derecho. La estación localizada después de la descarga parcial municipal de la ciudad de Cuautla (Km 6.5), permaneció con una diversidad baja de 2.85 y 2.82 para los márgenes izquierdo y derecho y en el Km 14 se presentaron nuevamente condiciones de contaminación y semicontaminación (ISC de 7.17 y 11.06) no obstante los valores de OD (9.93 mg/l), DBO (4

mg/l) y DCO (5 mg/l), registrados en la tabla 7, indicando de esta manera condiciones de eutroficación y depuración activa.

Después del análisis efectuado anteriormente para cada mes de muestreo, la figura 12, en la que se graficaron las medianas obtenidas para el Índice Secuencial de Comparación, demuestran el aspecto general de las condiciones que se presentaron en cada uno de los sitios de estudio.

En el Km 0 (estación Manantiales) se presentaron condiciones de contaminación moderada en el margen izquierdo con una mediana de 10.33, provocadas, por las condiciones del manantial, aunado al constante vertimiento de rocas y arena debido a obras hidráulicas en esta parte del río. Sin embargo, en el margen derecho, las condiciones fueron favorables para el desarrollo de la comunidad bentónica resultando en un ISC de 12.43 (Tabla 9), que le confirió condiciones de aguas no contaminadas, lo cual indicó el inicio de una colonización por parte de los organismos.

Un comportamiento similar, pero en sentido inverso, ocurrió en el Km 3.5 (estación Pte. Apatlaco), en la que su margen derecho fue el que estuvo sometido más frecuentemente a alteraciones de la calidad del agua, provocada por la entrada de vehículos, que además de ser lavados en el interior del río, descargaban basura y desperdicios animales y a las descargas dispersas presentes. No obstante, la velocidad del río en este sitio, provocó una pronta dispersión de los desechos, obteniendo condiciones de aguas medianamente contaminadas con un ISC que presentó una mediana de 10.2. El margen izquierdo presentó en la mayoría de las ocasiones condiciones de aguas no contaminadas.

En el Km 5 (estación Tenería), se presentó una diferenciación marcada en cuanto a los resultados del índice (por ejemplo, los valores obtenidos para el mes de febrero de 1986, figura 9) en el que el valor para el ISC para el margen izquierdo fue de 20.88 y para el margen derecho de 6.14. Este comportamiento de la diversidad se vió fuertemente influenciado por la dirección que seguía la descarga de la Tenería Morelos, la cual era vertida hacia el río por el margen derecho y se canalizaba por el mismo sin mezclarse. En este margen, una gran parte de la materia orgánica se sedimentaba, debido a la poca velocidad de la corriente (zonas de sedimentación), creando bancos de lodo, por lo que en este punto los trastornos biocenoéticos fueron inevitables. Por otro lado, al no haber una mezcla, las comunidades presentes en el margen izquierdo no fueron dañadas, con lo cual se presentó una diversidad que le confirió al agua condiciones de contaminación moderada en este punto, con una mediana para el ISC de 11.73. Si bien los resultados de los parámetros físicos y químicos del agua no demostraron este comportamiento por no existir una mezcla de la descarga, el índice, mediante la

comunidad de macroinvertebrados bentónicos, si lo detectó (Fig. 12).

De esta forma se puede entender que los métodos biológicos, como en este caso, detectan mejor las alteraciones, además de que si se hiciera un muestreo físico y químico en ambos lados del río resultaría muy costoso.

En el Km 6.5 (estación Pte. San Pedro), situado después de la descarga municipal parcial de la ciudad de Cuautla y en la cual ya se han mezclado las aguas de la descarga de la Tenería Morelos, se presentaron condiciones de contaminación todo el año, siendo los valores de diversidad más bajos en comparación con las demás estaciones (con medianas de 6.69 para el margen izquierdo y 5.4 para el margen derecho). En este lugar, a pesar de que existió la mayor velocidad de corriente, los organismos saprófobos y saprógenos desaparecieron como consecuencia de vertidos con excesiva concentración de materia orgánica, dando paso a los saprófilos como los oligoquetos y algunos quironómidos.

En el Km 14 (estación Cebollas), a pesar de que existieron meses en los que se evaluó al río con aguas no contaminadas, la tendencia general fue hacia aguas con contaminación moderada (ISC de 10.02 y 11.06), observándose así a partir de la estación anterior (Pte. Apatlaco) una degradación progresiva de la materia orgánica suspendida en el agua. Sin embargo, el carácter de aguas medianamente contaminadas que se le confirió supone la presencia de pequeñas descargas agrícolas, siendo ésta una zona de cultivo. Además de lo anterior, este lugar de muestreo recibía la sombra de algunos árboles en la hora en la que se acostumbró muestrear, y, como supone Hynes (1970), ésta puede ser un factor limitante ya que afecta la fijación del perifiton del cual se alimentan algunos invertebrados.

En el Km 23 (estación Pescadores) se presentaron las mejores condiciones de calidad del agua en comparación con las demás estaciones con un ISC cuyas medianas fueron 17.38 para el margen izquierdo y 17.73 para el margen derecho, a pesar de que en los dos primeros muestreos los valores fueron bajos. Este lugar fue aumentando en diversidad con el paso del tiempo, dándose la mineralización activa que tuvo lugar a lo largo del tramo estudiado.

Quizá el aspecto más importante y que se observa en la figura 13, es la autodepuración biológica que tiene lugar en el río, a pesar de las fuertes entradas de contaminación (en los kilómetros 5 y 6.5) o las pequeñas descargas dispersas o alteraciones de tipo mecánico (de los kilómetros 0, 3.5 y 14) demostrada por el comportamiento de la gráfica en base a los resultados del ISC.

Para obtener el I.S.C. se necesitó determinar el número de Taxa presentes en cada muestra. De esta manera en la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos para los meses de muestreo en las diferentes estaciones, observándose el mayor número de Taxa presentes a lo largo del año en el kilómetro 23 (estación Pescadores) con una mediana de 20 Taxa determinados; y la menor diversidad con el menor número de Taxa, en el kilómetro 6.5 (estación Pte. San Pedro) con sólo 9. Las causas que determinaron estos resultados ya fueron discutidas.

En otro aspecto, existen muchos factores que regulan la presencia y distribución de los invertebrados. Hynes (1970), opina que los más importantes son la velocidad de la corriente, la temperatura, el substrato y las sustancias disueltas como el oxígeno disuelto, la salinidad, la acidez y la dureza.

En base a lo anterior, se efectuó un análisis de correlación con los parámetros mencionados por Hynes (op. cit.) (de los cuales sólo cinco se consideraron en este estudio) y el Índice Secuencial de Comparación. A continuación se muestran los resultados:

<u>Variable Dep.</u>	<u>Variable Indep.</u>	<u>r</u>
I.S.C.	vel. de corriente	-0.50
I.S.C.	temperatura	-0.27
I.S.C.	O.D.	0.71
I.S.C.	salinidad	0.23
I.S.C.	dureza	-0.17

Se puede observar que la mayor correlación se obtuvo para el O.D., siendo este uno de los factores más importantes en la distribución de la comunidad bentónica. También se observa la relación inversa que guardó en este caso la velocidad de la corriente con la diversidad. En cuanto a los demás parecieron ser poco significativos, sin embargo, en los apartados correspondientes a cada parámetro, se mencionó la importancia que tienen la velocidad de corriente, la temperatura, la salinidad y la dureza como factores que limitan la presencia y abundancia de los invertebrados bentónicos.

Se tiene que tomar en consideración que no se podría esperar una correlación positiva o negativa elevadas entre una variable y otra, como son los casos de la velocidad o la temperatura, ya que la contaminación juega un papel importante en el desequilibrio de esta relación.

Es conveniente resaltar que la disminución de la diversidad como se presenta en los meses de febrero y abril para algunas estaciones (Figs. 8 y 9) puede deberse no sólo a condiciones de

contaminación, sino entre otras cosas, a las fluctuaciones estacionales en el número de invertebrados de los ríos, dominados como en este caso por insectos acuáticos, los cuales presentan un ciclo en el cual de febrero a mayo tienden a disminuir de manera natural por las muertes de los organismos al completar su ciclo de vida y por ser la época en la cual emergen al estado adulto (Hynes, 1970).

En cuanto al Índice Secuencial de Comparación, Washington (1984), después de hacer una revisión de dieciocho índices de diversidad, diecinueve índices bióticos y cinco índices de similitud; recomienda el índice de Cairns y Dickson (I.S.C.) como uno de los cinco mejores para evaluar sistemas acuáticos, junto con los índices de diversidad de Simpson y Hurlbert, el índice TU de Keefe y Bergersen basado también en la teoría de las ocurrencias y el índice de Mc Intosh.

Esta recomendación la hace ya que considera que, además de que fue desarrollado para ecosistemas acuáticos, la teoría de las ocurrencias de la cual se derivó, es la que más se aproxima al concepto de diversidad. Chutter (1972) citado por Washington (op. cit.) concluye que el ISC no es afectado por el tamaño de la muestra.

Washington (op. cit.) finaliza diciendo que un índice de diversidad puede ser una importante herramienta para evaluar la contaminación, pero que no es suficiente por sí solo y no puede reemplazar un estudio más profundo.

3. Resultados Bacteriológicos.

Los resultados de los análisis bacteriológicos en los que se determinó la presencia de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales se presentan en la tabla 11.

Los coliformes fecales y estreptococos fecales pertenecen a las bacterias de hábitat fecal, normal y exclusivo. Su presencia en el agua aporta el índice fundamental: la certeza de una contaminación fecal.

Las materias fecales del hombre contienen cuatro veces más coliformes fecales que estreptococos fecales, las de la vaca seis veces menos y las del puerco veinte veces menos. Las aguas residuales del ganado porcino contienen casi exclusivamente estreptococos fecales (Rodier, 1978). De esta forma, es útil determinar la relación de coliformes fecales/estreptococos fecales, ya que esto puede indicar el origen de la contaminación.

Se han establecido factores que determinan este origen (SARH, 1984):

CF/EF > 4.0 = Contaminación de origen humano

CF/EF < 0.7 = Contaminación derivada de desechos de ganado o aves.

En las relaciones que caen dentro del intervalo 4.0-0.7, no se tiene la seguridad de cual es su origen, aunque es razonable decir que cuando la relación se acerca más a 0.7 es de origen animal.

De acuerdo a lo anterior y en relación a los límites establecidos presentados en la tabla 1 se encontró lo siguiente:

En el Km 0 (estación Manantiales), a excepción del mes de abril, en todos los meses de muestreo se sobrepasó el límite establecido para coliformes fecales, tanto para agua potable como para protección de la vida acuática (200 organismos/100 ml y 2000 organismos/100 ml respectivamente). Sin embargo, en todo el año (a excepción de octubre y febrero en los que el factor fue de 1.0 y 3.55 respectivamente), el factor de relación CF/EF indicó una contaminación de origen humano con valores por arriba de 4.0.

En el Km 3.5 (Pte. Apatlaco) en diciembre, abril y junio no se rebasaron los límites permisibles para coliformes totales y fecales. No así en agosto y febrero de 1986, en los que se encontraron valores hasta de 3.3×10^4 para coliformes totales y fecales en febrero, y hasta de 3.5×10^5 para coliformes fecales en agosto. El factor encontrado en todas las estaciones indica una contaminación de origen humano sobre todo en agosto de 1986 con un valor de 1 000.

En el Km 5 (estación Tenería) las determinaciones realizadas indicaron una contaminación extremadamente alta en todo el año, presentándose en esta estación los valores más elevados en cuanto a coliformes totales, fecales y estreptococos fecales en comparación con las otras estaciones con valores hasta de 8.6×10^{10} para coliformes totales en agosto de 1986; de 5.8×10^{11} para coliformes fecales en agosto de 1986 y 9×10^6 para estreptococos fecales en el mismo mes, estableciéndose este sitio como el más afectado por este tipo de contaminación. Los factores de CF/EF (hasta 225) demostraron que la fuente de esta contaminación fue el hombre.

En el Km 6.5 (estación San Pedro) junto con la estación anterior, fueron los sitios que presentaron la mayor contaminación de este tipo dentro del tramo estudiado, contaminación que se presentó en todos los meses de muestreo y cuyos resultados en la relación CF/EF demostraron nuevamente que el origen de dicha

contaminación es el hombre, obteniéndose valores hasta de 1150 en agosto de 1985. Estos resultados eran de esperarse considerando que la descarga parcial de la ciudad de Cuautla y otras pequeñas descargas domésticas se encuentran aguas arriba de este sitio.

En el Km 14 (estación Cebollas), persistió la contaminación producida en los puntos anteriores durante todos los meses, aunque en el mes de octubre de 1985 se obtuvo una relación de CF/EF de 0.13 lo que lo que indicó una contaminación derivada de desechos de ganado o de aves, sin embargo, se presentó un factor de 1154 en diciembre de 1985.

En el Km 23 (estación Pescadores), se observaron los menores valores para estreptococos fecales (90 y 795/100 ml) y coliforme fecales (9×10^2 en abril) en comparación con las estaciones anteriores. Sin embargo, en los meses de agosto, octubre y diciembre de 1985 se sobrepasó el límite para la protección de la vida acuática y, en consecuencia, el de agua potable, tanto para coliformes totales como para coliformes fecales y estreptococos fecales. Los valores de la relación CF/EF a pesar de la distancia recorrida por el agua desde las fuentes principales de contaminación, demostraron nuevamente que esta contaminación fecal fue de origen humano, alcanzando valores de 444 en octubre de 1985.

Como se puede observar de manera general, la presencia constante de coliformes y estreptococos fecales en el agua del río, en valores que sobrepasan en la mayoría de los casos los límites establecidos, atestiguan la permanencia de la contaminación por bacterias de origen fecal y el riesgo de contraer enfermedades gastrointestinales.

VIII. CONCLUSIONES

- La elevada dureza del agua del río Cuautla puede provocar problemas si es destinada para usos industriales, ya que puede ocasionar incrustaciones en las maquinarias y florecimientos algales.

- Las altas concentraciones de fosfatos en el agua, pueden ocasionar problemas al promover el desarrollo de florecimientos algales, lo cual puede afectar los usos municipales, industriales y recreativos.

- Las elevadas concentraciones de sulfatos y cromo presentes en el río después de la descarga de la Tenería Morelos, muestran que la planta de tratamiento de ésta es insuficiente para removerlos. Además, se observó un alto contenido de NH_4 , producto seguramente de la misma planta.

- La conductividad encontrada puede provocar que no exista una buena fauna en el río; sin embargo, esto no limita su uso agropecuario.

- Los resultados obtenidos para los fenoles limitan el uso del agua en todas las estaciones consideradas, ya que la vuelven inapropiada para uso potable, además de que pueden interferir con la vida acuática, para lo cual debe de implementarse su tratamiento.

- Debe hacerse un estudio más completo y específico sobre el zinc, que permita establecer los posibles riesgos de este metal a las comunidades acuáticas del río (ya que puede bioacumularse) debido a que se encontró en concentraciones elevadas.

- La contaminación orgánica de origen municipal es la que predomina en las aguas del río, observándose una cantidad de bacterias coliformes muy alta, que representa un riesgo para la salud humana si estas aguas son ingeridas. Esta situación se mantuvo aún en el último sitio de muestreo. Previo tratamiento, éstas aguas podrían ser utilizadas para cualquier uso, no sin antes considerar las situaciones anteriores.

- Se establecieron 4 zonas correspondientes a las distintas etapas del proceso de declinación y recuperación de la calidad del agua del río:

a) Una zona de degradación, en el kilómetro 5 (estación Tenería), siendo el lugar donde se vierten la mayor cantidad de desechos, el agua se enturbia de inmediato, toma color gris y en el fondo (en este caso únicamente sobre el margen derecho) se forman depósitos de partículas más pesadas. El proceso de descomposición apenas comienza.

b) Una zona de descomposición activa, en el kilómetro 6.5 (estación Pte. San Pedro) con aguas que reciben descargas relativamente saturadas de desechos biodegradables, con depósitos de lodo en el fondo; con una actividad béntica anaeróbica, confirmada por la presencia de organismos saprófilos como oligoquetos y quironómidos, y en donde el oxígeno puede faltar totalmente, provocando la menor diversidad registrada de macroinvertebrados bentónicos.

c) Una zona de recuperación, en el kilómetro 14 (estación Cebollas), en donde se observó un aumento en la concentración de oxígeno disuelto y una demanda bioquímica de oxígeno baja, con aguas transparentes y una granulación de los sedimentos más gruesa (ésto último en base a observaciones).

d) Una zona de aguas limpias, en el kilómetro 23 (estación Pescadores), en donde las aguas recuperan las condiciones originales anteriores a la contaminación, por lo menos en lo que se refiere a DBO y OD (comparado esto con la estación Manantiales en el Km 0) siendo más rica en diversidad.

- Al compararse los resultados de este estudio con los obtenidos por los diferentes autores presentados en los antecedentes de este trabajo sobre el área de estudio (SRH, 1972; SRH, 1973 y García, 1985), se observa que tanto la descarga de la Tenería Morelos como la descarga municipal parcial de la ciudad de Cuautla continúan afectando al sistema acuático, por lo que se debe considerar el control de cada una de ellas.

- La aplicación del Índice Secuencial de Comparación puede recomendarse ya que facilita la evaluación de la calidad del agua de un sistema, además de que capta información más detallada sobre las alteraciones que afectan a las comunidades en comparación con los análisis físicos y químicos los cuales resultan más laboriosos y de mayor costo.

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association. (1980). Standard methods for 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. (1978). Ecología y piscicultura de aguas dulces. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 345 p.
- Babbitt, H.E. et. al. (1955). Water Supply Engineering. Mc Graw-Hill Book Company. Sixth Ed. U.S.A. 672 p.
- Cairns, Jr., Douglas, W., Albaugh, B. y Chanay, M. (1968). The Secuencial (Comparison Index a simplified method for non-biologist to estimate relative differences in biological diversity in stream pollution studies. Journal of Water Pollution Control Federation. 40 (9) 1607-1613 pp.
- Cairns, J. y Dickson, K.L. (1971). A simple method for the biological assessment of the effects of water discharges on aquatic bottom-dwelling organisms. Journal of Water Pollution Control Federation. 43 (5) 755-772 pp.
- Cairns, J., Dickson K.L. y Lanza, G. (1973). Rapid biological monitoring systems determining aquatic community structure in receiving systems. En Cairns y Dickson (Eds.) . Biological methods for the assessment of water quality. (148-163 pp.). Philadelphia, U.S.A.: America Society for Testing and Materials.
- Capurro, L. y Vergara, S. (1975). Presente y futuro del medio humano. C.E.C.S.A. México, 314 p.
- Cubillas Castro B.; García C.J.; Gutiérrez L.E., (1986). Efecto de la descarga de agua residual industrial (Tenería Morelos) y municipal (ciudad de Cuautla) sobre la calidad del agua del río Cuautla, Edo. de Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. SARH. Subcoordinación de Calidad del Agua. México. 28-41 pp.
- Curts, J.B. (1986). El diagrama de tallo y hoja. Biología, 15 (1-4), 7-12 p.
- Environment Protection Agency. (1972). Water Quality Criteria. E.P.A. (Ed.). Washington, D.C. 594 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, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 80 p.
- Gaufin, A.R. (1973). Use of aquatic invertebrates in the assessment of water quality. En Cairns y Dickson (Eds.). Biological methods for the assessment of water quality. (96-116 pp.). Philadelphia, U.S.A. : American Society for Testing and Materials.
- Hart, C.W. y Fuller, S.L. (Eds.). (1974). Pollution ecology of freshwater invertebrates. Academic Press New York. 389 p.
- Hawkes, H.A. (1979). Invertebrates as indicators of river water quality. En James, A. y Evison, L. (Eds.). Biological indicators of water quality. (1-45 pp.) New York, U.S.A. : John Wiley and Sons Pub.
- Hew, J.D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Department of Interior. U.S. Geological Survey Water-Supply. Alexandria. 263 p.
- Hynes, H.B. (1970). The ecology of the running waters. University of Toronto Press. Canada. 335 p.
- (1974). The biology of Polluted waters. University of Toronto Press. Canada. 202 p.
- James, A. (1979). The value of biological indicators in relation to others parameters of water quality. En James, A. y Evison, L. (Eds.). Biological indicators of water quality. (1-6 pp.). New York, U.S.A.: John Wiley and Sons Pub.
- Kolkwitz, R. y Marsson, M. (1967). Ecology of animal saprobia. En U.S. Department of Interior (Ed.). and Joint Publications Research Service (Traduc.). Biology of water pollution. A collection of selected papers on stream pollution. Waste water and water treatment. (85-95 pp.). Ohio, U.S.A.: Federal Water Pollution Control Administration.
- Margalef, R. (1974). Ecología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 951 p.
- (1983). Limnología. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1009 p.
- Mason, C.F. (1984). Biología de la contaminación del agua dulce. Editorial Alhambra, Madrid, España. 289 p.

- Márquez, J.C. (1986). Los organismos bentónicos como indicadores de la calidad del agua de los ríos Amacuzac y Balsas. Tesis de licenciatura. ENEPI, UNAM. México. 73 p.
- Mc Neely, V.P., Neimanis, V.P. y Dwyer, L. (1979). Water quality sourcebook. A guide to water quality parameters. Ottawa, Canada.: Inland Waters Directorate. Water Quality Branch. 89 p.
- Merritt, R.W. y Cummins, K.W. (Eds.) (1983). An introduction to the Aquatic Insects of North America. Kendall/Hunt, Dubuke, Iowa. 722 p.
- Murgel, S. (1984). Limnología Sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington, D.C. 120 p.
- Odum, E.P. (1972). Ecología. Ed. Interamericana. 3a. Ed. México. 639 p.
- Patrick, R. (1973). Use of algae, specially diatoms, in the assessment of water quality. En Cairns, J. y Dickson, L. (Eds.). Biological methods for the assessment of water quality. (76-95 pp.). Philadelphia, U.S.A.: American Society for Testing and Materials.
- Persone, G. y De Pauw, N. (1978). Systems of biological indicators of water quality assessment. En: Biological aspects of freshwater pollution. (O. Ravera Ed.) Commission of the European Communities. Pergamon Press. Great Britain. 39-75 pp.
- Peterson, A. (1960). Larvae of insects. An Introduction to Nearctic Species. Ohio State University. 417 p.
- Rodier, J. (1981). Análisis de las aguas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 1059 p.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 p.
- Saavedra, S.J. (1982). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 45 p.
- Schwoerbel, J. (1975). Métodos de Hidrobiología. H. Blume Edit. Madrid, España. 262 p.

- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1970). Boletín Hidrológico No. 47 Región Hidrológica No. 18 (parcial). Cuenca del Río Amacuzac. Tomo I, II. México. 607 p.
- Secretaría de 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. Tomo I, II. México. 250 p.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1973). Estudio de la calidad del agua en la cuenca del Alto Amacuzac, 2a. etapa. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. I, II. México. 170 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1975 a). Manual del Curso: Técnicas de muestreo y análisis de campo. (3a. ed.). Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. México. 75 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1975 b). Legislación relativa al agua y su contaminación. Subsecretaría de Planeación. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. 143 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1982). Manual de muestreo de aguas y determinaciones en el campo. (4a. ed.). Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. México 75 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (1984). Manual de microbiología del Agua. (3a. ed.). Dirección General de Desarrollo Tecnológico. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. México. 286 p.
- Secretaría de Programación y Presupuesto. (1981). Síntesis geográfica de Morelos. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México. 110 p.
- Sládeček, V. (1979). Continental systems for the assessment of river water quality. En James, A. y Evison, L. (Eds.). Biological indicators of water quality. (1-32 pp.). New York. U.S.A.: John Wiley and Sons Pub.
- Tarzwel, C.M. y Gaufin, A.R. (1956). Aquatic macro-invertebrate communities as indicator of organic pollution in Lytle Creek. Sewage and Industrial Wastes. 28 (7): 906-924.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Terradas, J. (1974). Ecología hoy. Ed. Teide. S.A. Barcelona, España. 149 p.
- Tittizer, T. y Kothè, P. (1979). Possibilities and limitations of biological methods of water analysis. En: Biological indicators of water quality. James, A. y Evison, L. Eds. John Wiley and Sons. Chichister, Great Britain, 4-21 pp.
- Tufféry, G. (1979). Incidencias ecológicas de la polución de las aguas corrientes. Reveladores biológicos de la contaminación. En Pesson, P. (Ed.). La contaminación de las aguas continentales. (Incidencias sobre las biocenosis acuáticas). Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Usinger, R.L. (ed.). (1956). Aquatic Insects of California. University of California Press. Los Angeles, U.S.A. 508 p.
- Washington, H.G. (1984). Review: Diversity, Biotic and Similarity Indices. A review with especial relevance to aquatic ecosystems. Water Research. 18 (6) 653-694 pp.
- Wetzel, G. (1975). Limnology. W.B. Saunders Co. U.S.A. 793 p.
- Zajic, J.E. (1971). Benthic organisms as pollution indicators. En: Water Pollution. Disposal and reuse. Marcel Dekker Inc. New York. V.I. 73-87 pp.

ANEXO



FIG.1.- CUENCA DEL RIO AMACUZAC (Región Hidrológica No.18)
 (Tomado de SRH, 1970. Boletín Hidrológico No. 47).

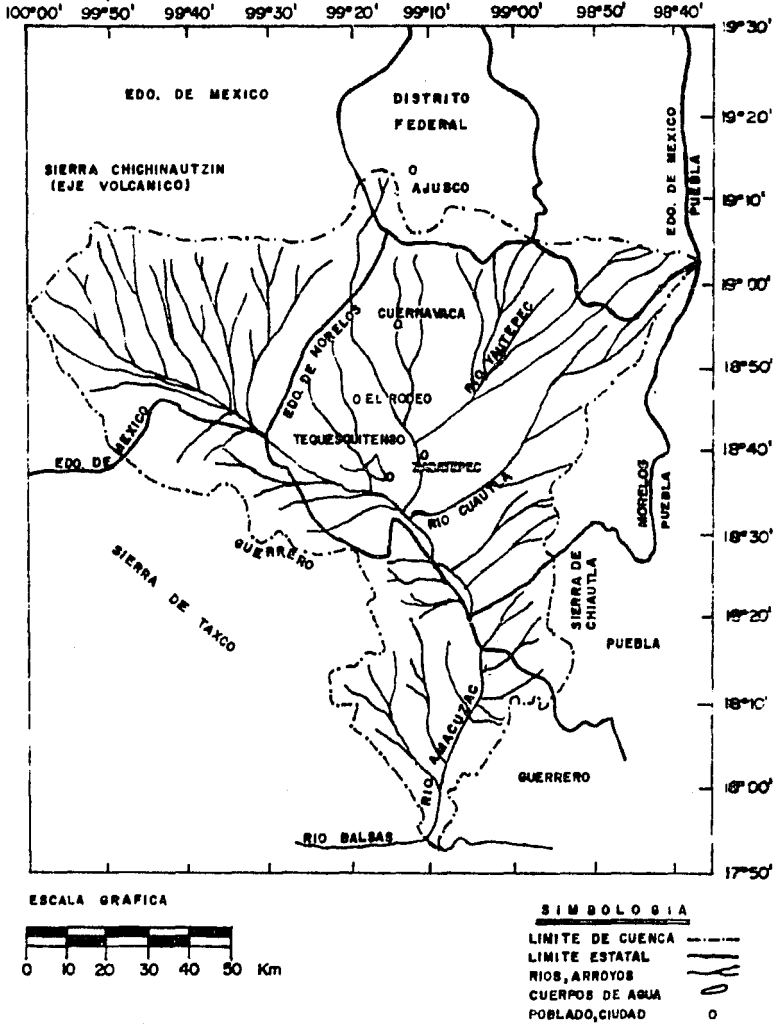


FIG. 2.- CUENCA DEL RIO AMACUZAC (Tomado de SRH, 1970, Boletín Hidrológico No. 47)

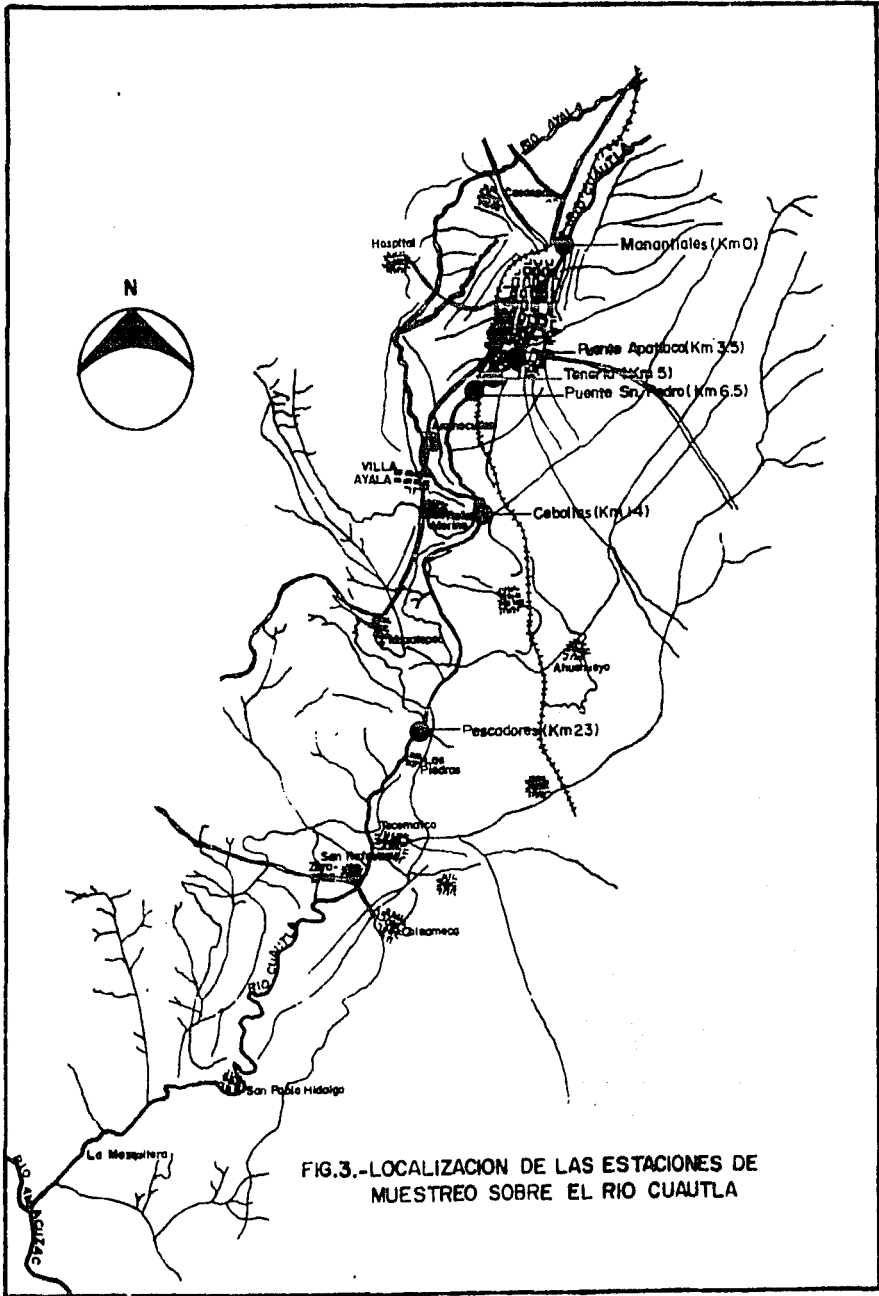


FIG.3.-LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO SOBRE EL RIO CAUTLA

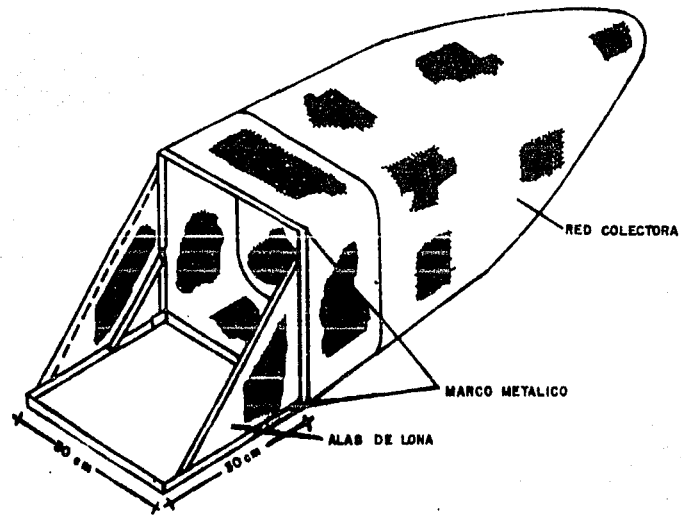
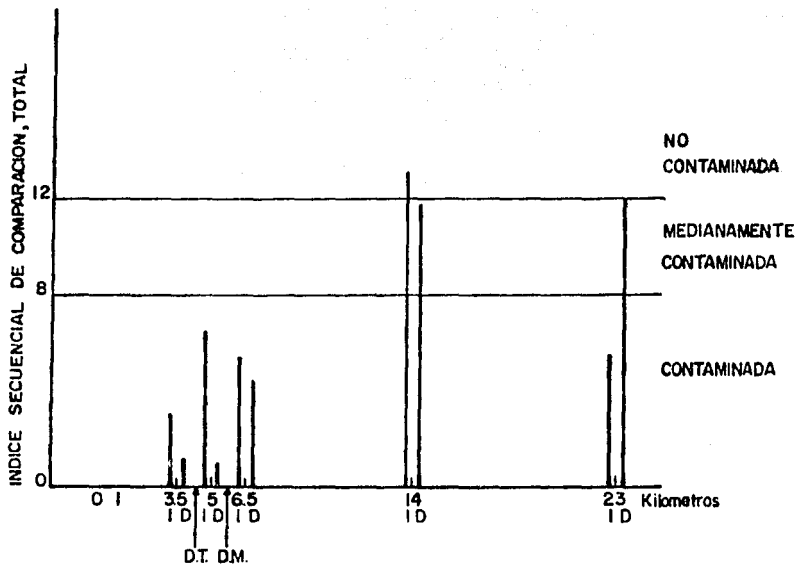


FIG.4.- Muestreador "Surber"



D.T.=Descarga Tenerife
 D.M.=Descarga Municipal

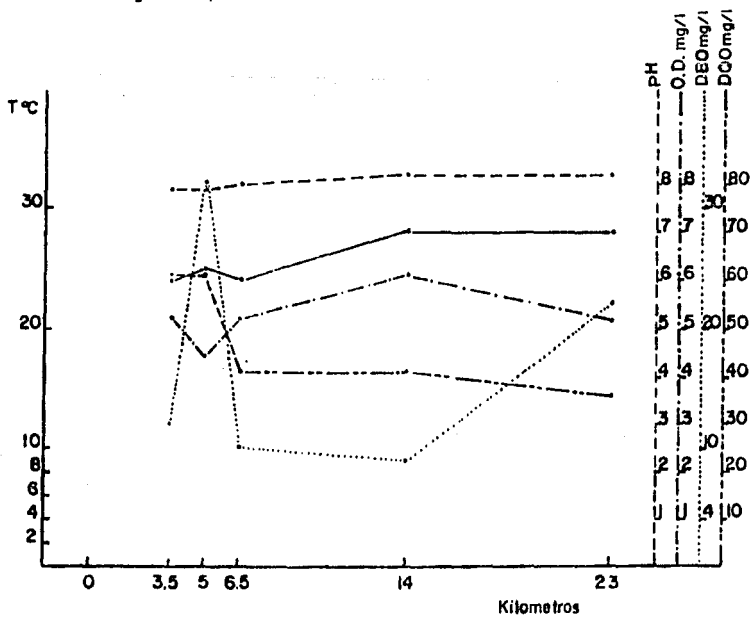
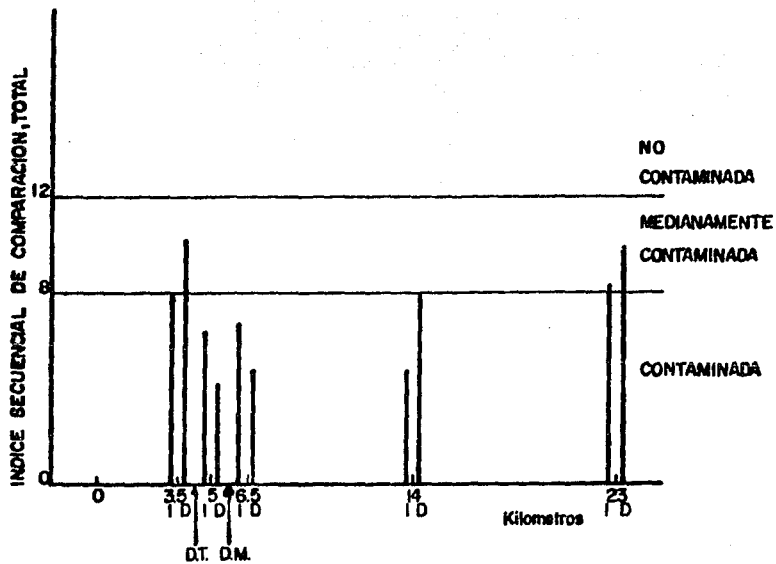


FIG.6.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierdo y derecho (I.D), en relación a la variación de Temperatura, pH, O.D., DBO y DCO para el mes de Agosto de 1985.



D.T.=Descarga Tenena
 D.M.=Descarga Municipal

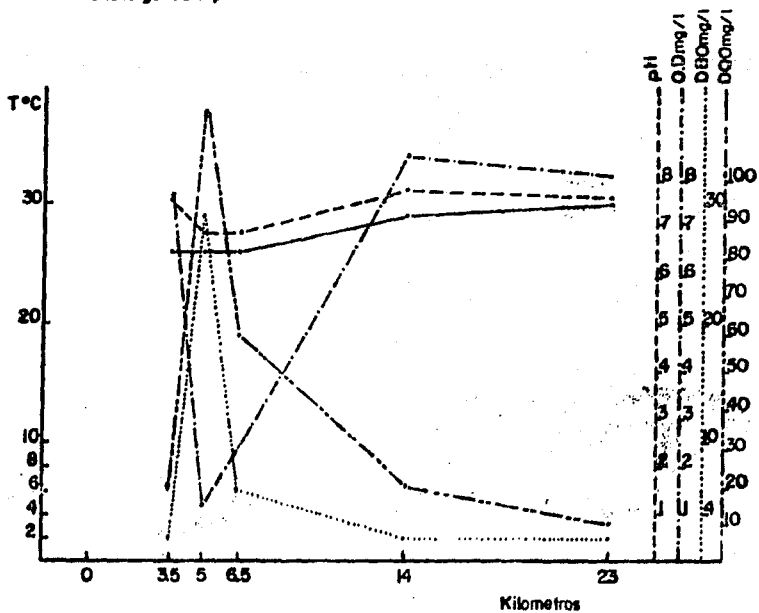
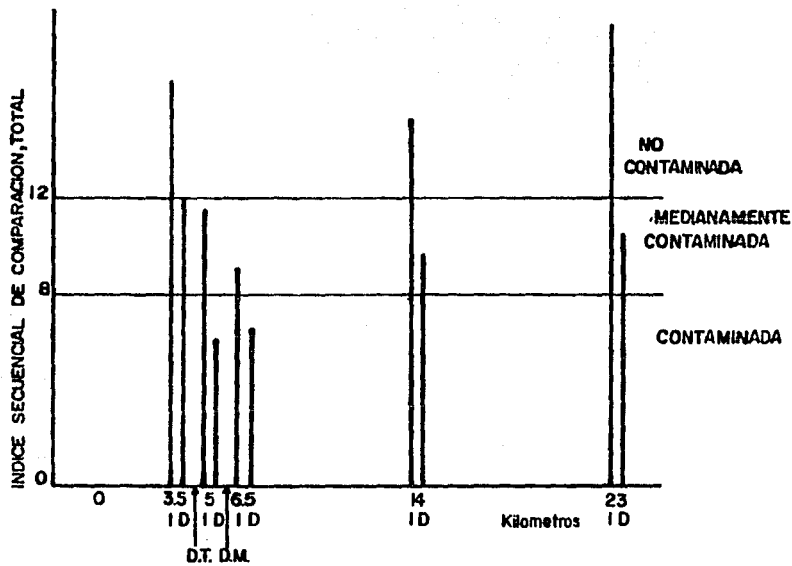


FIG. 6.- Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierda y derecha (I, D), en relación a la variación de Temperatura, pH, OD, DBO y DQO, para el mes de Octubre de 1985



D.T.=Descarga Tenería
D.M.=Descarga Municipal

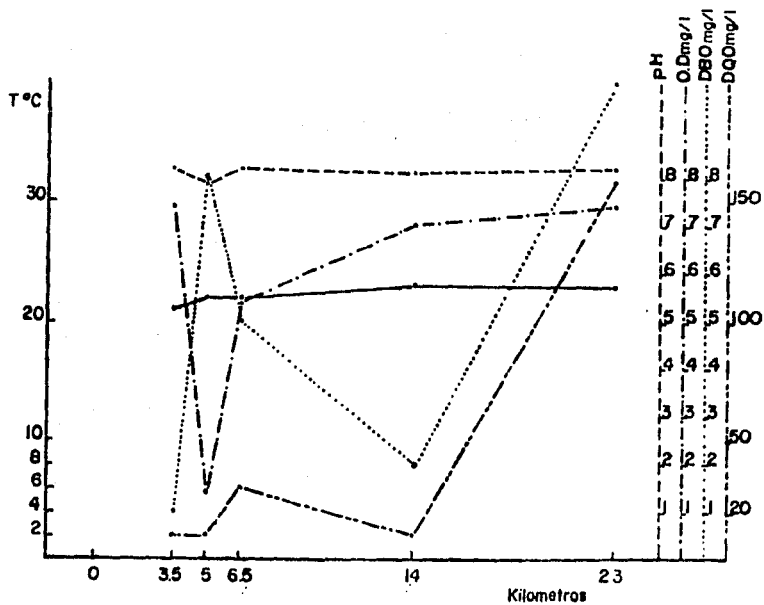
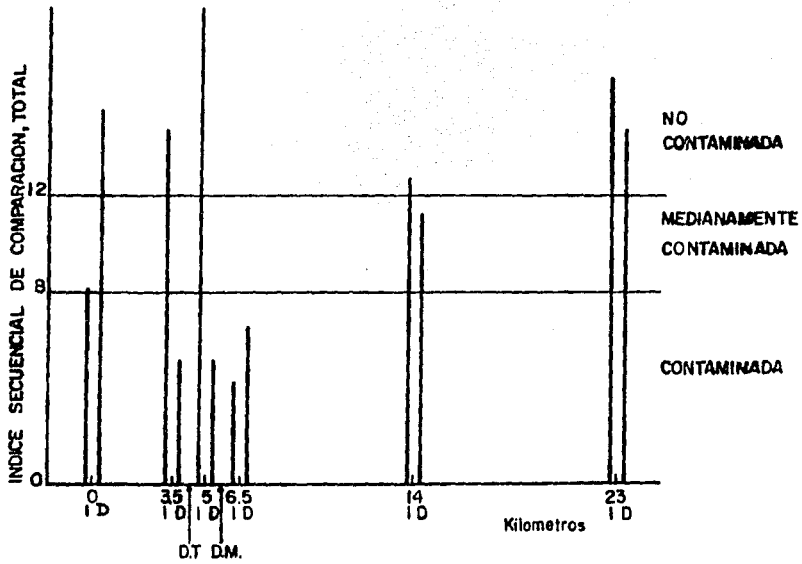


FIG.2.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparacion en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierda y derecha (I,D), en relación a la variación de la Temperatura, pH, O.D., DBO y DQO, para el mes de Diciembre de 1985



D.T.=Descarga Terrestre
 D.M.=Descarga Municipal

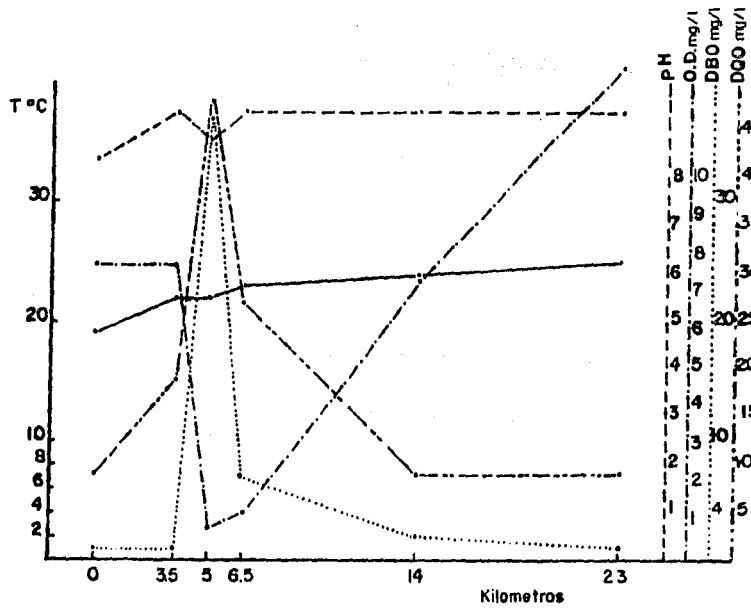
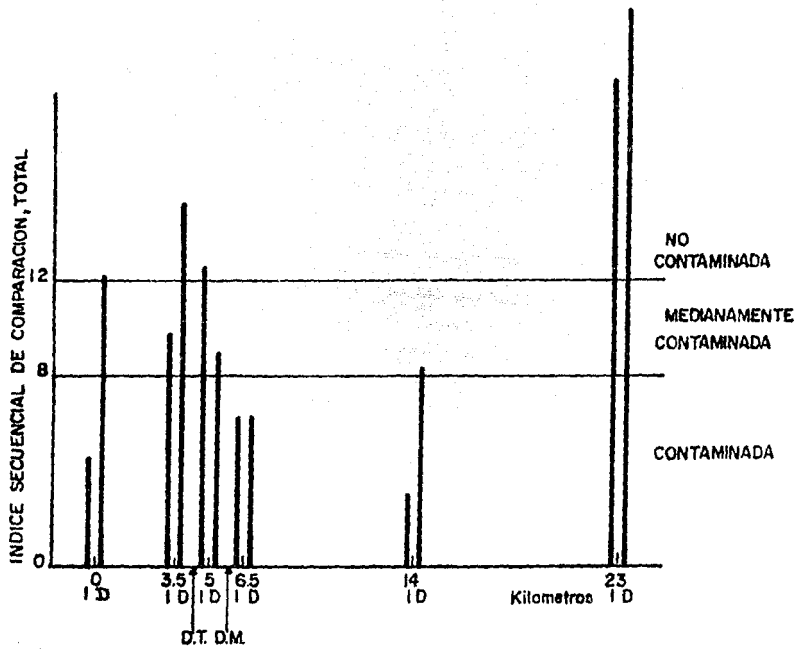


FIG.8.- Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierda y derecha (I.D), en relación a la variación de Temperatura, pH, OD, DBO y DQO, para el mes de Febrero de 1986.



D.T.=Descarga Tenenía
 D.M.=Descarga Municipal

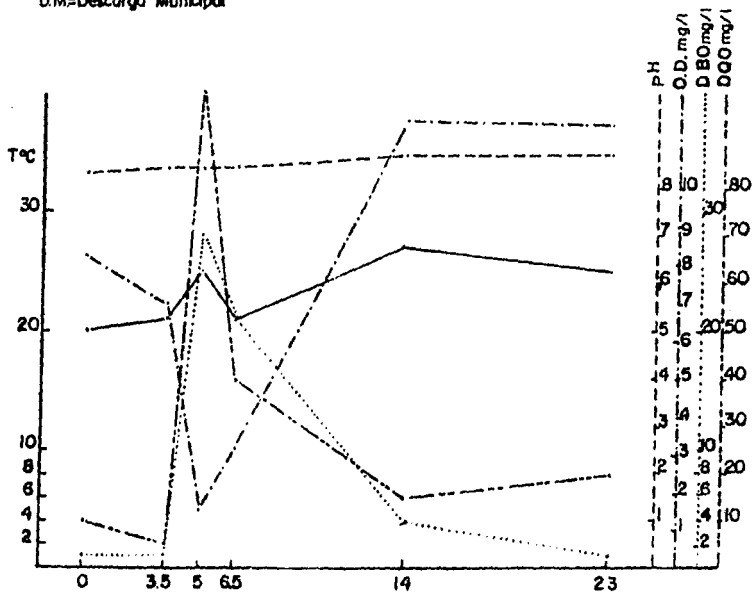
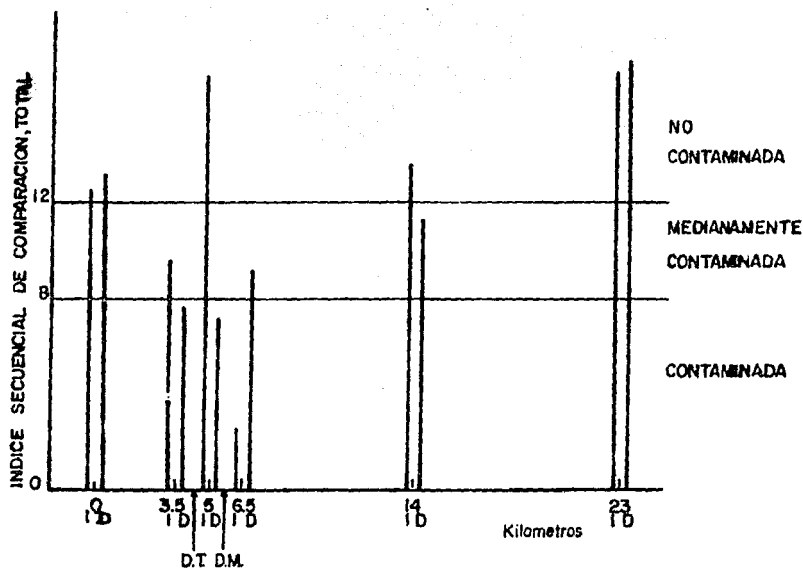


FIG. 9.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierdo y derecho (I.D) en relación a la variación de Temperatura, pH, OD, DBO y DQO, para el mes de Abril de 1986.



D.T.=Descarga Tenana
D.M.=Descarga Municipal

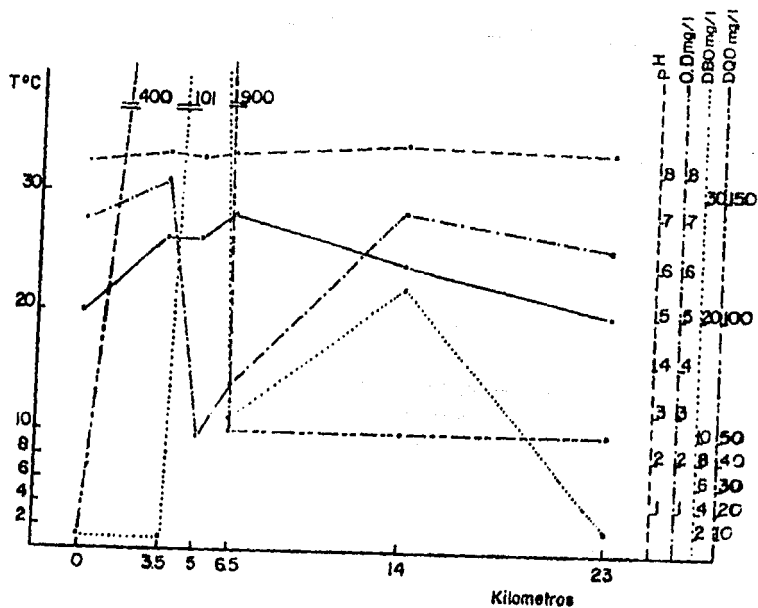
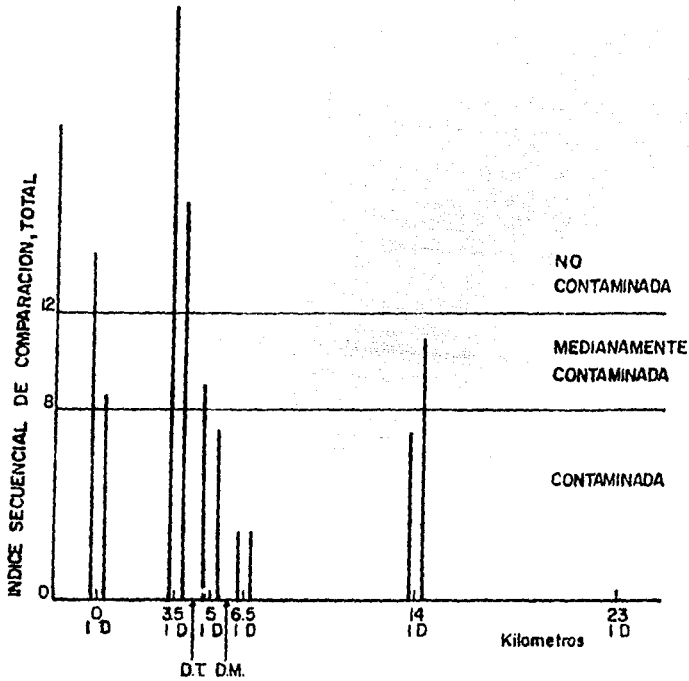


FIG.10.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierda y derecha (I.D), en relación a la variación de Temperatura, pH, OD, OBO y DQO, para el mes de Junio de 1986



D.T.=Descarga Tenena
D.M.=Descarga Municipal

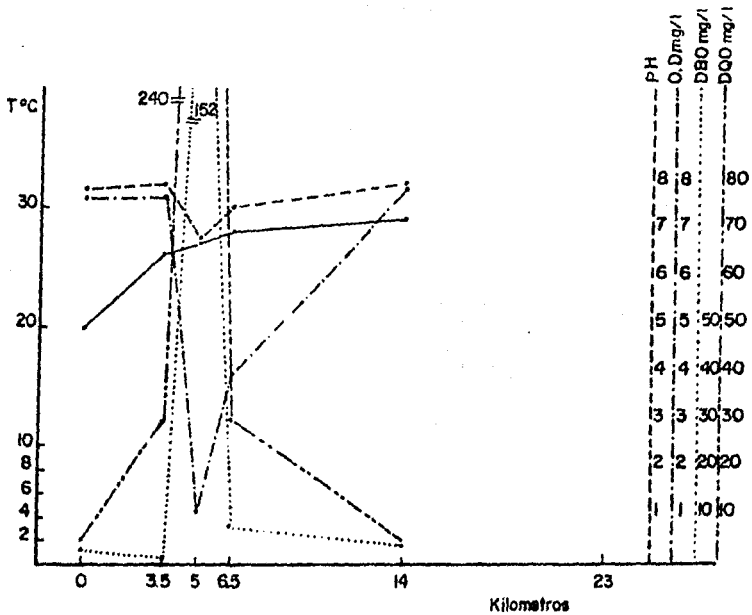
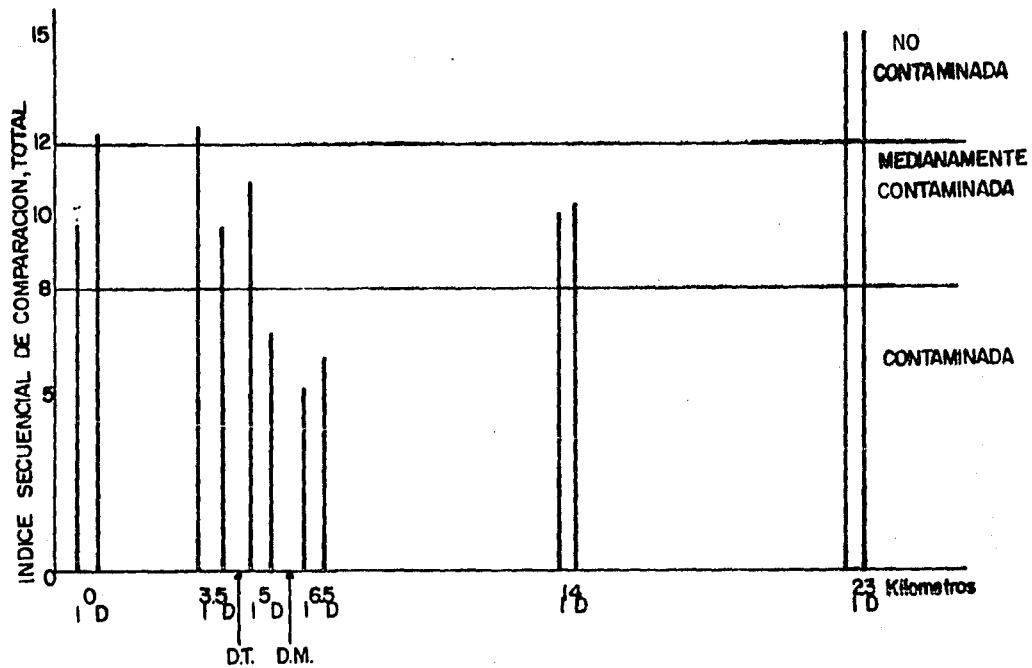


FIG.1.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierda y derecha (I,D), en relación a la variación de Temperatura, pH, OD, DBO y DQO, para el mes de Agosto de 1986



D.T.= Descarga Tenana D.M.=Descarga Municipal

FIG.12.-Variación de la calidad del agua de acuerdo al Índice Secuencial de Comparación en las 6 estaciones del Rio Cuautla, margen izquierdo y derecho (I,D) de Agosto de 1985 a Agosto de 1986.

Tabla 1. Límites permisibles para la protección de la vida acuática (agua dulce).

PARAMETRO	LIMITE PERMISIBLE	REFERENCIA
Temperatura	cond. nat. +/- 2.0 °C	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
pH	6.5 - 9.0	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Alc. total (CaCO ₃)	250 mg/l	Arrignon (1978)
Oxígeno Disuelto	4 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
D.B.O.	6 mg/l	Arrignon (1978)
D.Q.O.	6 mg/l	Arrignon (1978)
Grasas y aceites	scv *	SARH (1975 b)
SAAM	3 mg/l	SARH (1975 b)
Dureza total	150 mg/l	Arrignon (1978)
Nitrógeno total	10 mg/l	SARH (1975 b)
Nitrógeno (NH ₃)	0.025 mg/l	Alabaster <u>et. al.</u> (1980)
Nitrógeno orgánico	10 mg/l	SARH (1975 b)
Nitratos (NO ₃)	0-11 mg/l	Arrignon (1978)
Nitritos (NO ₂)	1 mg/l	Arrignon (1978)
Fosfato total	0.1 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Sulfatos	250 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Turbiedad	10 ppm	Babbitt (1955)
Conductividad	500 µmhos/cm	Babbitt (1955)
Sólidos totales	1000 mg/l	SARH (1975 b)
S. susp. totales	25 mg/l	W.Q.C (1972)
S. dis. totales	2000 mg/l	SARH (1975 b)
Fenoles	0.001 mg/l	E.P.A. (1976)
Cromo total	0.05 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Cromo hexavalente	0.1 mg/l	SARH (1975 b)
Níquel	0.025 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Cadmio	0.01 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Hierro	0.3 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Cobre	0.005 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Plomo	0.03 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Zinc	0.03 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Cloruros	250 mg/l	Mc Neely <u>et. al.</u> (1979)
Coliformes totales	10 000-20 000 org/100 ml	SARH (1975 b)
Coliformes fecales	2 000 org/100 ml	W.Q.C. (1972)
Coliformes fecales	200 org/100 ml●	W.Q.C. (1972)

* = agua potable

● = sin capa visible

W.Q.C. = Water Quality Criteria

Tabla 2. Profundidad y velocidad de corriente (promedio) en los puntos de muestreo a lo largo del tramo de estudio sobre el río Coautla.

Estación	Km. 0		Km. 3.5		Km. 5		Km. 5.5		Km. 14		Km. 23	
	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
Margen												
Profundidad (ca.)	17.8	17.8	17.8	20.8	15.1	15.3	14.0	13.1	19.8	16.6	14.1	13.0
Vel. de corriente (m/s)	0.30	0.55	0.77	1.13	0.89	0.99	0.76	0.74	0.36	0.38	0.28	0.30

I = Izquierdo
D = Derecho

Tabla 3. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Manantiales (Ka 0)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MEDIANA
Temperatura Ambiente	°C				20	37	27	33	29.25	7.41	30
Temperatura del Agua	°C				19	20	20	20	19.75	.50	20
pH	pH				8.4000	8.3000	8.2000	7.9000	8.20	.22	8.25
Alcalinidad Total	mg/l				163	144	144	141.7000	148.18	9.94	144
Oxígeno Disuelto	mg/l				7.7000	8.1000	6.9000	7.7000	7.60	.50	7.70
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l				1	1	1	3	1.50	1	1
Demanda Química de Oxígeno	mg/l				9	10	5	5	7.25	2.63	7
Grasas y Aceites	mg/l				12	7	35	29	20.75	13.38	20.50
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l				.2600	.0520	.4300	.1860	.23	.16	.22
Dureza total	mg/l				128	148	151	115	135.50	17.06	138
Nitrogeno Total	mg/l						.7000	.3300	.52	.26	.52
Nitrogeno (NH3)	mg/l						<0.05	<0.05			
Nitrogeno Orgánico	mg/l						.7000	.3300	.52	.26	.52
N-NO3	mg/l				.0020	.4390	1.3120	.2840	.51	.56	.36
N-NO2	mg/l				<0.001	<0.001	<0.001	<0.001			
Fosfato Total	mg/l				.3900	.1300	.1300	.2220	.22	.12	.18
Fosfato Orto	mg/l				.2200	.0800	.0300	.1890	.13	.09	.13
Sulfatos	mg/l				22	17	18	19	19	2.16	18.50
Turbiedad	ppm SiO2				11	2.5000	3	1.4000	4.48	4.40	2.75
Conductividad	µ mhos/cm				333	309	299	288	307.25	19.19	304
ST	mg/l				308	268	248	268	273	25.17	268
SST	mg/l				10	5	5	6	6.50	2.38	5.50
SOT	mg/l				298	263	243	262	266.50	22.93	262.50
SSe	ml/l				<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Fenoles	mg/l				<0.001	.0050	<0.001	.0500	.03	.03	
Cromo Total	mg/l				<0.10	<0.10	<0.10	<0.10			
Cromo Hexavalente	mg/l				<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Niquel	mg/l				<0.10						
Cadmio	mg/l				<0.03						
Hierro	mg/l				<0.1	<0.1					
Cobre	mg/l				<0.01						
Piomo	mg/l				<0.5	.0067			.01		
Zinc	mg/l				<0.06	.0400			.04		
Cloruros	mg/l					7	4	17	9.33	6.81	7

0 = No se muestreo

Tabla 4. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Puente Apatlaco (km 3.5)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MEDIANA
Temperatura Ambiente	°C	28	29	29	28	31	32	29	29.43	1.51	29
Temperatura del Agua	°C	24	26	21	22	21	26	26	23.71	2.36	24
pH	pH	7.9000	7.6000	8.2000	9.4000	8.4000	8.3000	8	8.26	.57	8.20
Alcalinidad Total	mg/l	130	71	190	272	194	184	188.5000	173.64	62.04	188.50
Oxígeno Disuelto	mg/l	5.2700	7.7000	7.4900	7.7000	6.8900	7.7000	7.7000	7.21	.90	7.70
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	12	2	1	1	1	1	1	2.71	4.11	1
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	61	20	10	19	5	400	30	77.86	143.22	20
Grasas y Aceites	mg/l	11	8	7	13	6	27	29	14.43	9.59	11
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l	.16	.72	2.98	.09	.15	.43	.19	.67	1.04	.19
Dureza Total	mg/l	385	77	217	364	216	226	161	235.14	108.28	217
Nitrógeno total	mg/l	2.8700	.4800				172.7900	.4000	44.14	85.78	1.67
Nitrógeno (NH3)	mg/l	<0.05	<0.05				160.8900	.2000	86.55	113.62	
Nitrogeno Orgánico	mg/l	2.8700	.4800				11.9000	.2000	3.86	5.49	1.67
N-MO3	mg/l	.5460	.5670	.4360	.9670	.3300	<0.001	.2390	.51	.23	.48
N-MO2	mg/l	.0060	<0.001	<0.001	.0090	.0130	<0.001	<0.001	.01	.00	.01
Fosfato Total	mg/l	54	.3700	3.1920	.3600	.3100	.1300	.1280	8.36	20.16	.36
Fosfato Orto	mg/l	.2700	.1600	.2400	.1200	.1800	.0300	.0820	.15	.08	.16
Sulfatos	mg/l	37	45	40	176	42	43	50	61.86	50.50	43
Turbiedad	ppm SiO2		27.5000	5.6000	22	2.5000	3	3	10.60	11.15	4.05
Conductividad	µmhos/cm	304	359	459	755	498	386	418	454.14	147.20	418
ST	mg/l	978	310	346	726	464	318	330	496	259.03	346
SST	mg/l	752	27	25	97	133	11	17	151.71	268.71	27
SDT	mg/l	226	283	321	629	331	307	313	344.29	130.32	313
SSe	ml/l	1.5000	.1000	<0.1	<0.1	1	<0.1	<0.1	.87	.71	1
Fenoles	mg/l	.0040	<0.001	.0080	<0.001	.0050	<0.001	.0480	.02	.02	.01
Cromo Total	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Niquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cadmio	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03			
Hierro	mg/l	8.3600	.4800	.4500	1.4700	2.7100			2.68	3.27	1.47
Cobre	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
Ploomo	mg/l	.0193	.2793	.0054	<0.5	.0130			.06	.13	.02
Zinc	mg/l	.0400	.0500	.0800	.0500	.0700			.06	.02	.05
Cloruros	mg/l					2	12	14	9.33	6.43	.12

Tabla 5. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Ternería (ka 5)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MEDIANA
Temperatura Ambiente	°C	34	29	26	27	35	28	23	28.86	4.30	28
Temperatura del Agua	°C	25	26	22	22	25	26	27	24.71	1.98	25
pH	pH	7.9000	7.4000	7.9000	8.8000	8.4000	8.2000	6.8000	7.91	.66	7.90
Alcalinidad Total	mg/l	188	72	254	479	231	260	291	253.57	122.50	254
Oxígeno Disuelto	mg/l	4.4600	1.2100	1.4100	.8000	1.4100	2.4000	1.2200	1.84	1.25	1.41
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	32	29	8	37	28	101	152	55.29	51.63	32
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	61	118	10	48	100	900	240	211	312.52	100
Grasas y Aceites	mg/l	23	15	19	25	10	37	43	24.57	11.77	23
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l	2.1200	2.4900	3.3760	1.8700	6.1290	2.9900	3.1600	3.16	1.42	2.99
Dureza Total	mg/l	316	76	196	282	182	245	192	212.71	78.37	196
Nitrogeno Total	mg/l	9.2800	5.6500				16.4600	20.2400	13.66	5.64	12.87
Nitrogeno (NH3)	mg/l	3.3000	3.7400				13.1300	12.4800	8.16	5.37	8.11
Nitrogeno Orgánico	mg/l	5.9800	4.9100				3.3300	7.7600	5.50	1.86	5.44
N-NO3	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	.3150	<0.001	.32		
N-NO2	mg/l	.1580	.0400	<0.001	.0010	<0.001	<0.001	<0.001	.07	.08	.04
Fosfato total	mg/l	.9300	1.5600	1.3460	2	1.2700	.4300	.8860	1.20	.51	1.27
Fosfato Orto	mg/l	.8000	1.1900	1.1020	.4800	1.1000	.3700	.2310	.75	.39	.80
Sulfatos	mg/l	53	115	103	540	43	315	125	184.86	180.62	115
Turbiedad	ppm SiO2		39	37.5000		15	.7000	48	28.04	19.53	37.50
Conductividad	µmhos/cm	620	864	831	2358	529	1781	1027	1144.29	673.60	864
ST	mg/l	1004	648	590	1470	390	1108	726	848	367.43	726
SST	mg/l	450	86	35	128	29	43	104	125	148.12	86
SDT	mg/l	554	562	555	1342	361	1065	622	723	347.39	562
SSe	ml/l	3		.5000	.4000	.2000		1.4000	1.10	1.16	.80
Fenoles	mg/l	.0270	.0130	.0370	.0350	.0170	.0050	.0340	.02	.01	.03
Cromo total	mg/l	<0.1	.16	<0.1	.35	<.01			.26		
Cromo hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Niquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cadmio	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03			
Hierro	mg/l	4.5000	.5700	.4100	1.1500	.7400			1.47	1.71	.74
Cobre	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
Plomo	mg/l	.0256	.0160	.0200	<0.5	.0270			.02	.01	.02
Zinc	mg/l	.0600	.0700	.0800	.0700	.1000			.08	.02	.07
Cloruros	mg/l					7	721	82	270	392.37	82

Tabla 6. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Puente San Pedro (km 6.5)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MEDIANA
Temperatura Ambiente	°C	36	30	26	22	29	28	31	28.86	4.34	29
Temperatura del Agua	°C	24	28	22	23	21	28	28	24.86	3.08	24
pH	pH	8	7.4000	8.2000	9.4000	8.4000	8.3000	7.5000	8.17	.67	8.20
Alcalinidad Total	mg/l	162	71	216	283	213	202	228.8000	196.54	66.02	213
Oxígeno Disuelto	mg/l	5.2700	4.8700	5.4700	1.2000	3.0400	3.5000	4.0500	3.91	1.50	4.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	10	6	5	7	21	11	8	9.71	3.41	8
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	41	59	30	27	40	50	30	39.57	11.76	40
Grasas y Aceites	mg/l	13	9	11	16	11	33	33	18	10.47	13
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l	.5300	.6200	.8380	.9500	.9520	.8800	1.5200	.90	.32	.88
Dureza Total	mg/l	422	79	230	351	417	259	195	279	125.52	259
Nitrogeno Total	mg/l	3.0200	1.3900				1.8100	3.7700	2.50	1.09	2.41
Nitrogeno (NH3)	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05			.7600	1.6800	1.22	.65	
Nitrogeno Orgánico	mg/l	3.0200	1.3900				1.0500	2.0900	1.89	.87	1.74
N-NO3	mg/l	.6120	.3500	<0.001	.2960	<0.001	.4320	<0.001	.42	.14	.39
N-NO2	mg/l	.0290	<0.001	<0.001	<0.001	.0790	<0.001	.0163	.04	.03	.03
Fosfato Total	mg/l	.4300	.6900	.6380	1.1000	.8100	.1200	.3600	.59	.32	.64
Fosfato Orto	mg/l	.3200	.4800	.3160	.4600	.4200	.0600	.2150	.32	.15	.32
Sulfatos	mg/l	16	38	89	179	52	67	75	68	52.59	52
Turbiedad	ppmSiO2		12	20		15	3	8	11.60	6.50	12
Conductividad	µmhos/cm	480	456	570	893	566	532	603	585.71	145.05	566
ST	mg/l	462	462	430	744	538	446	566	515.43	116.49	482
SST	mg/l	322	48	44	87	91	49	70	101.57	99.04	70
SBT	mg/l	160	354	386	657	447	397	496	413.86	150.58	397
SSe	ml/l	2	1		1.5000	1.5000	1.4000	.9000	1.38	.40	1.45
Fenoles	mg/l	.0060	.0010	.0160	.0140	.0100		.0470	.02	.02	.01
Cromo total	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cromo hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Niquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cadmio	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03			
Hierro	mg/l	5.2000	.5500	.1800	1	1.1600			1.62	2.04	1.16
Cobre	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05						
Plomo	mg/l	.0235	.0068	.0062		.0288			.02	.01	.02
Zinc	mg/l	.0500	.0500	.0600	.0300	.0500			.05	.01	.05
Cloruros	mg/l					14	25	17	18.67	5.69	17

Tabla 7. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Cebollas (Km 14)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MEDIANA
Temperatura Ambiente	°C	39	31	31	28	34	27	40	32.71	4.89	31
Temperatura del Agua	°C	28	29	23	24	27	24	29	26.29	2.56	27
pH	pH	8.2000	7.8000	8.1000	9.4000	8.7000	8.5000	8	8.39	.54	8.20
Alcalinidad	mg/l	182	114	244	299	275	270	275.6000	237.09	65.92	270
Oxígeno Disuelto	mg/l	6.0800	8.5700	7.0900	7.3000	11.7500	7.1000	9.9300	8.26	1.98	7.30
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	9	2	2	2	4	22	4	6.43	7.30	4
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	41	20	10	9	15	50	5	21.43	17.31	15
Grasas y Aceites	mg/l	12	7	31	15	8	25	30	18.29	10.23	15
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l	.1400	.1200	.2220	.0200	.5920	.3400	2.6600	.58	.93	.22
Dureza Total	mg/l	436	120	307	385	340	339	322	321.29	98.83	339
Nitrogeno Total	mg/l	2.4200	.4800				.4700	.8700	1.06	.93	.67
Nitrogeno (NH3)	mg/l	<.05	.05	<.05			<.05	<.05			
Nitrogeno Orgánico	mg/l	2.4200	.4800				.4700	.8700	1.06	.93	.67
N-MO3	mg/l	.5760	.9930		1.9670	.4850	4.1380	.4130	1.43	1.45	.78
N-MO2	mg/l	.0990			.1090	.1830		.0570	.11	.05	.10
Fosfato Total	mg/l	.3400	.2900	.4800	.5400	.4600	.0420	.2060	.34	.17	.34
Fosfato Orto	mg/l	.3200	.2500	.2820	.2500	.2700		.1580	.26	.05	.26
Sulfatos	mg/l	74	161	125	200	207	181	226	167.71	52.93	181
Turbiedad	ppm SiO2		37	15.2000	28	8.2000	12	2.4000	17.13	12.96	13.50
Conductividad	microhos/cm	516	720	682	781	800	731	795	717.86	99.07	731
ST	mg/l	952	562	478	698	632	634	636	656	147.96	634
SST	mg/l	520	13	26	96	20	82	19	110.86	183.45	26
SDT	mg/l	432	549	452	602	618	552	617	546	76.64	552
SSe	ml/l	2.3000				.3000	.6000		1.07	1.08	.62
Fenoles	mg/l	<0.001	<.001	.0150	.0090	<.001		.0590	.03	.03	.62
Cromo total	mg/l	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10			
Cromo hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01			
Niquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1			
Cadmio	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03			
Hierro	mg/l	3.1000	.3400	.5500	.6600	.3200			.99	1.19	.55
Cobre	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			
Ploomo	mg/l	.0161	.0091	.0062	<0.50	.0154			.01	.00	.01
Zinc	mg/l	.0400	.0400	.0500	.0300	<0.02			.04	.01	.04
Cloruros	mg/l					15	12	4.9000	10.63	5.19	12

Tabla 8. Resultados de los análisis físicos y químicos de la estación Pescadores (km 23)

PARAMETROS	UNIDADES	AGO 85	OCT 85	DIC 85	FEB 86	ABR 86	JUN 86	AGO 86	ESTADÍSTICOS		
									PROMEDIO	DESV. ESTANDAR	MODIANA
Temperatura Ambiente	°C	37	31	35	30	34	24	†	31.83	4.62	32.50
Temperatura del Agua	°C	28	39	23	25	25	20		25.17	3.54	25
pH	pH	8.2000	7.6000	8.2000	9.4000	8.70	8.4000		8.42	.60	8.30
Alcalinidad Total	mg/l	190	72	286	228	291	240		217.83	80.79	234
Oxígeno Disuelto	mg/l	5.2700	8.1100	7.4900	14.9000	11.55	6.4000		8.95	3.61	7.80
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	22	2	10	<1.00	<1.00	2		9	9.45	6
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	36	10	158	9	20	50		47.17	56.56	28
Grasas y Aceites	mg/l	12	7	26	27	12	31		19.17	9.99	19
Sust. Activas Azul de Metileno	mg/l	.1000	.0300	.1950	1.1000	.15	.2100		.30	.40	.17
Dureza Total	mg/l	426	77	365	366	54	316		267.33	160.35	340
Nitrogeno Total	mg/l	3.5600	.3600				.5200		1.48	1.80	.52
Nitrogeno (NH3)	mg/l	<0.05	<0.05				.0500		.05		
Nitrogeno Organico	mg/l	3.5600	.3600				.4700		1.46	1.82	.47
N-HO3	mg/l	1.4160	.6500	<0.001	.9450	<0.001	1.1470		1.04	.32	1.04
N-HO2	mg/l	.0280	<0.001	<0.001	.0240	.04	<0.001		.03	.01	.03
Fosfato Total	mg/l	1.1600	.0300	.1420	.0900	.06	.1800		.28	.44	.12
Fosfato Orto	mg/l	.3000	.0200	.0800	.0200	<0.01	.0300		.09	.12	.03
Sulfatos	mg/l	79	226	153	175	269	167		178.17	65.02	171
Turbiedad	ppmSiO2		38	43	6.5000	13.70			25.30	17.91	25.85
Conductividad	mbos/cm	564	852	794	856	921	658		774.17	135.92	823
ST	mg/l	1428	692	718	646	676	904		844	300.35	705
SST	mg/l	1043	5	28	4	10	388		246.33	418.39	19
SBT	mg/l	385	687	690	642	666	516		597.67	122.50	654
SSe	ml/l	3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	.7000		1.85	1.63	
Fenoles	mg/l	.0130	.0020	.0160	.0110	<0.001			.01	.01	.01
Cromo total	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
Cromo hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01				
Niquel	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1				
Cadmio	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03				
Hierro	mg/l	4.9000	.1400	.0500	.1600	.29			1.11	2.12	.16
Cobre	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05				
Ploomo	mg/l	.0158	.0222	.0104	<0.50	.0123			.0152	.0052	.01
Zinc	mg/l	.0500	.0300	.0300	.0300	<0.02			.04	.01	.03
Cloruros	mg/l						57		57		

† = No se muestro

Tabla 9. Índice Secuencial de Comparación obtenido en el análisis de la fauna de macroinvertebrados bentónicos para las diferentes estaciones de muestreo sobre el río Cuautla.

Estación	Km. 0		Km. 3.5		Km. 5		Km. 6.5		Km. 14		Km. 23	
Margen	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
Agosto 1985	----	----	3.0	1.3	1.0	6.89	5.4	4.58	13.25	11.89	5.62	11.92
Octubre 1985	----	----	7.98	10.2	6.56	4.35	6.87	4.84	4.8	8.03	8.40	10.05
Diciembre 1985	----	----	17.0	12.0	11.73	6.16	9.21	6.60	15.38	9.81	19.40	10.67
Febrero 1986	8.22	15.70	14.82	5.14	20.88	6.14	4.22	6.52	12.89	11.37	17.05	14.82
Abril 1986	4.64	12.11	9.85	15.83	12.69	9.02	6.36	6.41	3.04	8.49	20.79	23.52
Junio 1986	12.45	13.28	9.70	7.68	17.46	7.37	2.59	9.28	13.63	11.39	17.72	18.04
Agosto 1986	14.28	8.63	25.68	16.71	9.10	7.30	2.85	2.82	7.17	11.06	----	----
Mediana	10.33	12.69	9.85	10.2	11.73	6.69	5.4	6.41	12.89	11.06	17.38	17.37
Promedio	9.99	12.43	12.57	9.77	11.08	6.83	5.35	5.86	10.02	11.06	14.83	14.83
Desv. Std.	4.46	2.74	7.35	5.50	6.78	1.8	2.3	2.03	7.17	10.29	6.25	5.18

I = margen izquierda

D = margen derecha

---- = no se muestro

Tabla 10. No. de Taxa determinados en las diferentes estaciones sobre el río Cuautla durante los meses de muestreo.

Estación	Ago. 85	Oct. 85	Dic. 85	Feb. 86	Abr. 86	Jun. 86	Ago. 86	Mediana	Promedio
Km. 0	-----	-----	-----	14	12	16	16	15	14.50
Km. 3.5	5	11	17	18	15	11	26	15	14.71
Km. 5	8	9	11	18	14	17	10	11	12.42
Km. 6.5	6	8	10	9	10	10	8	9	8.70
Km. 14	16	8	14	16	10	14	17	14	13.57
Km. 23	19	12	13	28	26	20	-----	20	19.60

----- no se muestro

Tabla II. Resultados de los análisis bacteriológicos (NMP/100 ml) para las diferentes estaciones sobre el río Cuautla.

Estación	Análisis	Ago. 85	Oct. 85	Dic. 85	Feb. 86	Abr. 86	Jun. 86	Ago. 86
Km. 0	CT	-----	-----	-----	≥ 2.40E+4	3.50E+0	1.10E+5	4.30E+5
	CF	-----	-----	-----	≥ 2.40E+4	1.50E+0	3.50E+4	4.30E+5
	EF	-----	-----	-----	1.10E+3	1.59E+4	5.90E+2	4.00E+3
	CF/EF	-----	-----	-----	-----	10	59	107
Km. 3.5	CT	≥ 2.40E+8	4.00E+5	1.50E+3	3.30E+4	1.50E+4	1.65E+4	1.10E+3
	CF	≥ 2.40E+8	3.00E+5	9.30E+4	3.30E+4	8.40E+4	6.60E+3	3.50E+5
	EF	2.40E+6	3.00E+5	1.50E+3	9.30E+3	1.00E+3	6.20E+2	3.50E+2
	CF/EF	-----	1	62	3.55	8.40	10.60	1000
Km. 5	CT	2.40E+9	≥ 2.40E+8	1.10E+10	≥ 2.40E+9	8.60E+10	1.10E+11	5.80E+4
	CF	2.40E+9	1.10E+8	7.00E+8	≥ 2.40E+9	5.80E+10	6.70E+10	5.80E+11
	EF	2.10E+7	2.40E+7	4.30E+7	1.20E+9	1.20E+9	-----	9.00E+9
	CF/EF	-----	≥ 10	255	-----	48.30	-----	64
Km. 6.5	CT	4.60E+8	2.10E+8	2.40E+8	≥ 2.40E+9	1.30E+8	2.40E+7	2.40E+7
	CF	4.60E+8	1.50E+8	9.30E+7	6.50E+8	1.30E+8	1.10E+7	1.67E+8
	EF	4.00E+5	4.00E+6	9.30E+6	1.75E+6	8.00E+6	4.60E+5	3.30E+5
	CF/EF	1150	38	10	374	16	24	51
Km. 14	CT	1.10E+9	1.50E+7	1.50E+7	1.70E+9	3.50E+6	6.70E+6	3.50E+5
	CF	4.60E+8	9.30E+4	1.50E+7	9.00E+5	1.80E+6	6.70E+6	3.50E+5
	EF	4.60E+6	7.10E+5	1.30E+4	9.30E+4	2.15E+5	1.31E+6	4.00E+3
	CF/EF	100	.13	1154	9.50	8.37	51	88
Km. 23	CT	9.30E+7	7.00E+4	9.30E+4	9.00E+3	1.60E+3	1.10E+5	-----
	CF	9.30E+7	4.00E+4	4.30E+4	9.00E+3	9.00E+2	2.20E+4	-----
	EF	1.50E+6	90	9.30E+2	6.50E+2	795	2.40E+3	-----
	CF/EF	62	444	46.20	14	1.13	9.37	-----

CT = Coliformes Totales
 CF = Coliformos Focales
 EF = Enterococos Focales
 CF/EF = Coeficiente
 ----- = No se determinó