



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

43

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ACATLAN

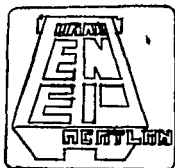
[Handwritten signature]

FALLA DE URGEN

PROGRAMA INTEGRAL DE SANEAMIENTO Y REUSO
DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO APATLACO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
ERNESTO VILLEDA CHAVEZ



ACATLAN, MEX.



1995



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.



COMISION NACIONAL
DEL AGUA

**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIÓ CON EL APOYO DE
LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**

**PROGRAMA INTEGRAL DE SANEAMIENTO
Y REUSO DEL AGUA EN LA CUENCA DEL
RIO APATLACO**



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
JEFATURA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

SR. ERNESTO VILLEDA CHAVEZ
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E :

LE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 11 DE OCTUBRE DE 1964. ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE TESIS:

"PROGRAMA INTEGRAL DE SANEAMIENTO Y REUSO DEL AGUA RESIDUAL EN LA CUENCA DEL RIO APATLACO".

- INTRODUCCION.
I.- OBJETIVOS.
II.- ANTECEDENTES.
III.- EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.
IV.- CONTROL DE LA CONTAMINACION.
V.- ACCIONES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFIA.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL ING. JORGE E. ATHALA MOLANO.

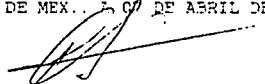
PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERA PRESTAR SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BASICO PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL, ASI COMO DE LA DISPOSICION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL ESTADO DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA TESIS. EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO, ESTA COMUNICACION DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO. RECIBA UN CORDIAL SALUDO.



ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

A T E N T A M E N T E
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
ACATLAN, EDO. DE MEX. 10 DE ABRIL DE 1965


ING. CARLOS ROSALES AGUILAR
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

DEDICATORIAS

A mis padres.

Este trabajo es dedicado a los seres que me dieron la vida y que apartir de este momento se dio el principio de la formación de los sólidos pilares espirituales y morales de mi vida; gracias por el apoyo que en todo momento me brindaron para poder realizar mis estudios profesionales y con ello ayudar al ser que necesite de nosotros, pues todo esto es el resultado del amor y comprensión que siempre me brindaron y la razón última y suprema de mis esfuerzos.

Por ello les agradezco todos los esfuerzos y momentos que me brindaron, especialmente a mi madre que me incito y me apoyo a seguir con una de las metas que tanto anhelaba y que hasta hoy se esta convirtiendo en realidad.

Los quiere Ernesto

A mis hermanos

Por brindarme el apoyo en el momento que más lo necesitaba y por todos sus consejos que me sirvieron de mucho.

Los quiere Ernesto

A mis amigos

Braulio, Juan Manuel y Alejandro por brindarme su apoyo y tiempo en la realización de este trabajo, llegando a formar una parte de los mejores momentos de mi vida.

Les agradezco también a todos aquellos compañeros de clase por brindarme su amistad y por compartir momentos muy agradables.

Gracias por su apoyo. Ernesto

Al Ing. Jorge E. Athala Molano

Por guiarme en la realización de este trabajo de tesis, dedicándole un poco de su tiempo y animándome para seguir adelante pues usted es parte de este trabajo.

Gracias por su apoyo. Ernesto

Reconocimiento

Agradezco a la Comisión Nacional del Agua y a la Subgerencia de Saneamiento de Cuencas y Reuso por el apoyo que me brindaron, en especial a los Ingenieros Carlos Tejeda y Fernando Rosale por todos los consejos e información que me proporcionaron para la realización de este trabajo.

Gracias por su apoyo. Ernesto

INDICE GENERAL

INDICE DE LAMINAS.....	III
INDICE DE CUADROS.....	IV
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	4
I. ANTECEDENTES.....	5
1.1. Características del área de estudio.....	5
1.1.1. Localización.....	5
1.1.2. Aspectos Climatológicos.....	8
1.1.3. Aspectos Hidrológicos.....	8
1.1.3.1. Aguas Superficiales.....	8
1.1.3.2. Aguas Subterráneas.....	9
1.2. Aspectos Sociales.....	12
1.2.1. Desarrollo urbano, industrial y agrícola.....	12
1.2.2. Degradación ecológica causada por la contaminación.....	20
II. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	28
2.1. Sistemas de tratamiento y reuso del agua.....	28
2.2. Diagnóstico de la calidad del agua e identificación del tipo de descarga....	30
2.3. Aplicación de la normatividad por secciones.....	45
2.4. Capacidad de autopurificación.....	51
2.5. Calidad requerida.....	74
III. CONTROL DE LA CONTAMINACION.....	80
3.1. Infraestructura requerida.....	80
3.2. Reuso potencial.....	87

IV. ACCIONES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO.....	92
4.1. Cartera de proyecto.....	92
4.1.1. Planeación de la cantidad de infraestructura requerida.....	92
4.1.2. Ubicación de la infraestructura.....	94
4.1.3. Programación de los proyectos.....	96
4.2. Evaluación económica.....	97
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
VI. BIBLIOGRAFIA.....	109

INDICE DE LAMINAS

1.- Región hidrológica número 18, cuenca del Amacuzac.....	6
2.- Principales ríos en la cuenca del alto Amacuzac.....	7
3.- Distribución de los puntos de muestreo, tomas, tramos y tipos de descargas...	10
4.- Escala general de evaluación de la calidad del agua para diferentes usos.....	35
5.- Parámetros, pesos de importancia relativa, funciones para obtener los índices de calidad individual y unidades en que deben expresarse los parámetros.....	36
6.- Representación del la contaminación del agua por medio de achuraciones.....	44
7.- Corrección en saturación de oxígeno por altura.....	60
8.- Demanda biológica de oxígeno en la cuenca del río Apatlaco.....	76
9.- Oxígeno disuelto en la cuenca del río Apatlaco.....	77
10.- Sólidos sedimentados en la cuenca del río Apatlaco.....	78
11.- Sólidos suspendidos totales en la cuenca del río Apatlaco.....	79
12.- Infraestructura en la cuenca del río Apatlaco.....	95
13.- Grafica de costo vs flujo del proceso de Laguna de Estabilización.....	101
14.- Grafica de costo vs flujo del proceso de Filtros Percoladores.....	103
15.- Grafica de costo vs flujo del proceso de Lodos Activados.....	105

INDICE DE CUADROS

1.- Balance de aguas superficiales y subterráneas.....	11
2.- Jerarquización de los municipios de morelos, según la cantidad de población y participación en el total estatal, 1990.....	13
3.- Tomas y superficies irrigadas por el río Apatlaco.....	16
4.- Caracterización de los sitios de muestreo.....	31
5.- Resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de la cuenca del río Apatlaco.....	32
6.- Representación de los índices de calidad del agua por medio de achuraciones.....	37.
7.- Resultados de los índices de calidad individual.....	41
8.- Resultados de los índices de calidad global.....	42
9.- Especificaciones que debe cumplir la industria productora de azúcar de cañaensusdescargas.....	45
10.- Especificaciones que deben cumplir las aguas residuales de origen urbano o municipal utilizadas para riego agrícola.....	47
11.- Condiciones que deben cumplir las descargas de aguas residuales de origen urbano municipal o la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua en riego de hortalizas y productos hortifrutícolas.....	50
12.- Balance hidráulico de la cuenca del río Apatlaco.....	56
13.- Areas potenciales de reuso del agua residual.....	87
14.- Sistemas de tratamiento recomendados para evitar la contaminación en el ríoApatlaco.....	93
15.- Factores de corrección para determinar el costo de construcción.....	98
16.- Costo y número de personas requeridas para operar y mantener las plantasdetratamiento.....	99

INTRODUCCION

La contaminación del agua en algunas zonas del país es palpable y sus efectos negativos ya se dejan sentir en la flora, fauna y en el hombre mismo.

Algunos ríos, al constituirse en usuales conductores de todo tipo de contaminación, además de deteriorar y empobrecer sus propios caudales, hacen extensiva la degradación a lagunas, lagos, estuarios y costas donde desembocan.

Esta situación parece incrementarse cada vez más aprisa, de tal modo que no es difícil suponer que tarde o temprano nos enfrentaremos a un grado de contaminación, cuyos efectos pongan en peligro la salud humana.

La mayor problemática de contaminación del agua es provocada por la acción del hombre, se produce por lo general a causa de las descargas de sustancias que rebasan la capacidad de autopurificación del agua en los cuerpos receptores e impiden el uso posterior del líquido. Los factores que agravan los problemas de contaminación provocados por el hombre son el crecimiento de la población, el incremento de la actividad de los diferentes sectores de la economía y los costos asociados al establecimiento de mecanismos de control.

Las aguas residuales, definidas como portadoras de desechos líquidos y sólidos generados en las diferentes actividades domésticas, industriales, recreativas y agropecuarias, en la mayoría de los casos son descargadas en forma directa y sin casi ningún tratamiento previo a los diferentes cuerpos de agua (ríos y lagos) o sobre los campos, para el riego de cultivos, ocasionando su contaminación y deterioro. Producen además problemas serios de salud originando enfermedades entre los trabajadores del campo que riegan con este tipo de aguas, o entre los consumidores de los cultivos producidos en estos lugares, especialmente cuando no se conservan las normas elementales de higiene o se consumen crudos. También las comunidades que son cruzadas por cuerpos de agua con productos residuales, son afectadas por la formación de gases malolientes, en algunos casos con la producción de enfermedades.

Por esta razón, no sólo es deseable, sino también necesario que las aguas residuales generadas por cualquier tipo de actividad, tengan un tratamiento antes de ser vertidos a los ríos o a los campos, en un grado de tratamiento de acuerdo con el uso que se le pretenda dar.

En la determinación de la tecnología para el tratamiento de las aguas residuales, se requiere de un análisis de las condiciones y necesidades locales del lugar donde se desean aplicar, a fin de generar agua con un nivel de calidad adecuado para su uso.

El trabajo que a continuación se presenta tiene como objetivo evaluar uno de los sistemas de corrientes superficiales más contaminado de la República Mexicana, el de la cuenca del río Apatlaco, perteneciente a la cuenca principal del río Amacuzac, utilizando para esto el modelo matemático de STREETER Y PHELPS, el cual determina la capacidad de asimilación y autopurificación de una corriente superficial.

Aproximadamente el 50% de la población del estado de Morelos se concentra en la cuenca del río Apatlaco y está constituida principalmente por los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata, Temixco y Zacatepec. Las descargas de estas comunidades son de tipo industrial, doméstico, agropecuario y recreativo.

El primer capítulo trata a manera de antecedentes las características del área de estudio, las cuales son un aspecto importante en el estudio de clasificación de corrientes para analizar el entorno geográfico en que estos se encuentran, también aspectos tales como geología, edafología, vegetación, climatología, hidrología e hidrometría, para posteriormente tocar los aspectos socioeconómicos tales como demografía, desarrollo industrial y agrícola. También se explica la gran problemática de la contaminación en el medio ambiente, ya existente en la cuenca.

El segundo capítulo trata sobre el análisis de la calidad del agua, para esto se investigó que sistemas de tratamiento están ya establecidos y su capacidad de tratamiento, después se determinan análisis fisicoquímicos y bacteriológicos en el río para ser usados en el modelo matemático de STREETER Y PHELPS y así determinar si existe capacidad de autopurificación y asimilación de materia orgánica en dicho río. Posteriormente se presentan tablas comparativas de los resultados obtenidos del modelo llegando al paso final que es la evaluación de los resultados obteniendo conclusiones en relación a estos.

También se hace una breve explicación de las Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental, tomándose en cuenta los principales usos y descargas a lo largo del río.

El tercer capítulo es el de control de la contaminación, en este se da un panorama amplio de la infraestructura más adecuada que se puede utilizar para el tratamiento de las aguas residuales, dando una breve explicación de cada proceso de tratamiento y el reuso que se le puede dar al agua tratada.

En el capítulo cuarto se llega a la planeación de la cantidad de infraestructura para el tratamiento del agua residual, la ubicación de ésta y su evaluación económica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Elaborar un Programa Integral de Saneamiento y Reuso de aguas residuales en la cuenca del río Apatlaco, tomando en cuenta la infraestructura de tratamiento establecida, para determinar los requerimientos de infraestructura nueva, así como la potencialidad de reuso, considerando la reconstrucción de obras y sus costos asociados.

OBJETIVOS PARTICULARES.

- 1.- Identificar la localización del área de estudio, así como sus características climatológicas, hidrológicas y los problemas de contaminación provocados por el desarrollo urbano, industrial y agrícola.**
- 2.- Evaluar la eficiencia de las plantas de tratamiento en operación y los requerimientos de rehabilitación y construcción de nuevas plantas.**
- 3.- Comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con las Normas Oficiales Mexicanas, para después determinar tipos de procesos de tratamiento y la potencialidad del reuso del agua tratada.**
- 4.- Determinar requerimientos de proyecto y obras, sus costos y la programación de éstos con un horizonte de planeación de 20 años.**

I. ANTECEDENTES

I. ANTECEDENTES

1.1. CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

1.1.1. LOCALIZACION

El estado de Morelos se localiza ente las coordenadas $18^{\circ}19'5''$ y $19^{\circ}07'30''$ de latitud norte y $98^{\circ}37'42''$ y $99^{\circ}33'30''$ de longitud oeste.

Esta limitado al norte y oeste con el Estado de México y el Distrito Federal, al sur con el estado de Guerrero, al este con el estado de Puebla, abarcando una superficie total de 4,958.22 Km².

La cuenca del río Amacuzac (Región Hidrológica No. 18), comprende casi la totalidad del estado de Morelos, ocupa el extremo suroeste del Estado de México, una pequeña fracción del sur del Distrito Federal y el suroeste del estado de Puebla, así como el extremo norte del estado de Guerrero y está formada principalmente por los ríos Tetlama, Apatlaco, Yautepec, Cuautla y Amacuzac (Lámina 1 y 2). El área total que comprende dicha cuenca es de 4,303.39 Km² a 2,600 m.s.n.m. e incluye 28 municipios.

El área de estudio de este trabajo comprende la región del río Apatlaco, a pesar de equivaler a una sub-subcuenca del río Balsas, para fines de este estudio se considera a nivel cuenca. La cuenca del río Apatlaco tiene una superficie de 725.10 km², limitada por su parteaguas, se localiza entre los paralelos $18^{\circ}36'$ y $19^{\circ}12'$ norte, y los meridianos $99^{\circ}20'$ y $99^{\circ}10'$ oeste.

Nace de la ciudad de Cuernavaca con la unión de las aguas del manantial Chapultepec con la de las barrancas Atlacomulco, Cantarranas y Flores Magón. Continuando hacia el sur, por el margen derecho, recibe las aportaciones de las siguientes corrientes: arroyo El Túnel, arroyo Palvelra, río El Pollo, arroyo Pilcayas y río Tetlama. Por el margen izquierdo, le efluye el río Palo Escrito y el arroyo Poza Onda. Recibe también algunas corrientes intermitentes y las aguas residuales de Cuernavaca, Temixco, Acatlpa, Tejalpa, Jiutepec, Emiliano Zapata, Tezoyuca, Xochitepec, Jojutla, Alpuyecá, Xoxocotla y Zacatepec.

LAMINA 1. Región hidrológica núm. 18 (parcial) cuenca del río Amacuzac.



Su trayectoria es de norte a sur, tiene una longitud aproximada de 45 Km, desde la presa de Chapultepec hasta la desembocadura con el río Yautepec. Después de 8 Km de esta confluencia se une con el río Amacuzac.

1.1.2. ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Los tres tipos de climas que se presentan en la cuenca del río Apatlaco son: templado-subhúmedo, semicálido-subhúmedo y cálido-sunhúmedo, considerando que se distribuye de norte a sur a lo largo de la cuenca. Es importante aclarar que los dos primeros tipos de clima, comprendidos a elevaciones por encima de los 1,500 (ciudad de Cuernavaca) y 800 m.s.n.m. (ciudad de Jojutla), se desarrolla la corriente del Apatlaco.

A pesar de la zonificación de climas de la cuenca, donde las temperaturas promedio son menores de 18°C en la parte alta, y mayores de 22°C en la sección baja, la temperatura promedio anual general de la cuenca es de 20°C.

La precipitación pluvial media anual varía de 1,200 mm en la zona norte a 800 mm en la zona sur. El valor promedio anual de la cuenca es de 1,000 mm.

Los valores anuales promedio de evaporación potencial registrados por la Comisión Nacional del Agua son: en la estación de Cuernavaca de 2,044.21 mm, en Temixco de 1,810.31 mm y en Zacatepec de 1,799 mm.

Con base en registros realizados entre 1981 y 1988, la dirección del viento en la estación meteorológica de Cuernavaca fue hacia suroeste, predominantemente durante todos los meses, excepto en junio que tuvo dirección noroeste; en Temixco tuvo dirección suroeste, a excepción de mayo, julio y agosto que tuvo dirección sureste.

1.1.3. ASPECTOS DE HIDROLOGÍA

1.1.3.1. Aguas Superficiales

Las aportaciones principales son: río El Pollo, río Tetlama y río Palo Escrito.

La infraestructura de extracción está constituida por nueve obras de toma, distribuidas a lo largo de la corriente principal en la forma que se indica en la lámina 3.

Los aproximadamente 45 km del desarrollo de la corriente, drenan un área de 725.10 km². Aporta un volumen anual de escurrimiento de 274 Mm³, 7.5 km antes de ser vertidos al río Yautepec. El gasto promedio aproximado es de 3.70 m³/seg, siendo el gasto máximo aforado de 387 m³/seg (23 de junio de 1957), con una velocidad media de 2.68 m/seg y profundidad máxima de 5.60 m. El gasto mínimo fue de 95 L/seg (14 de marzo de 1958). Los datos anteriores fueron medidos en la estación hidrométrica de Zacatepec (SARH, Boletín Hidrológico No. 47, 1971).

1.1.3.2. Aguas Subterráneas

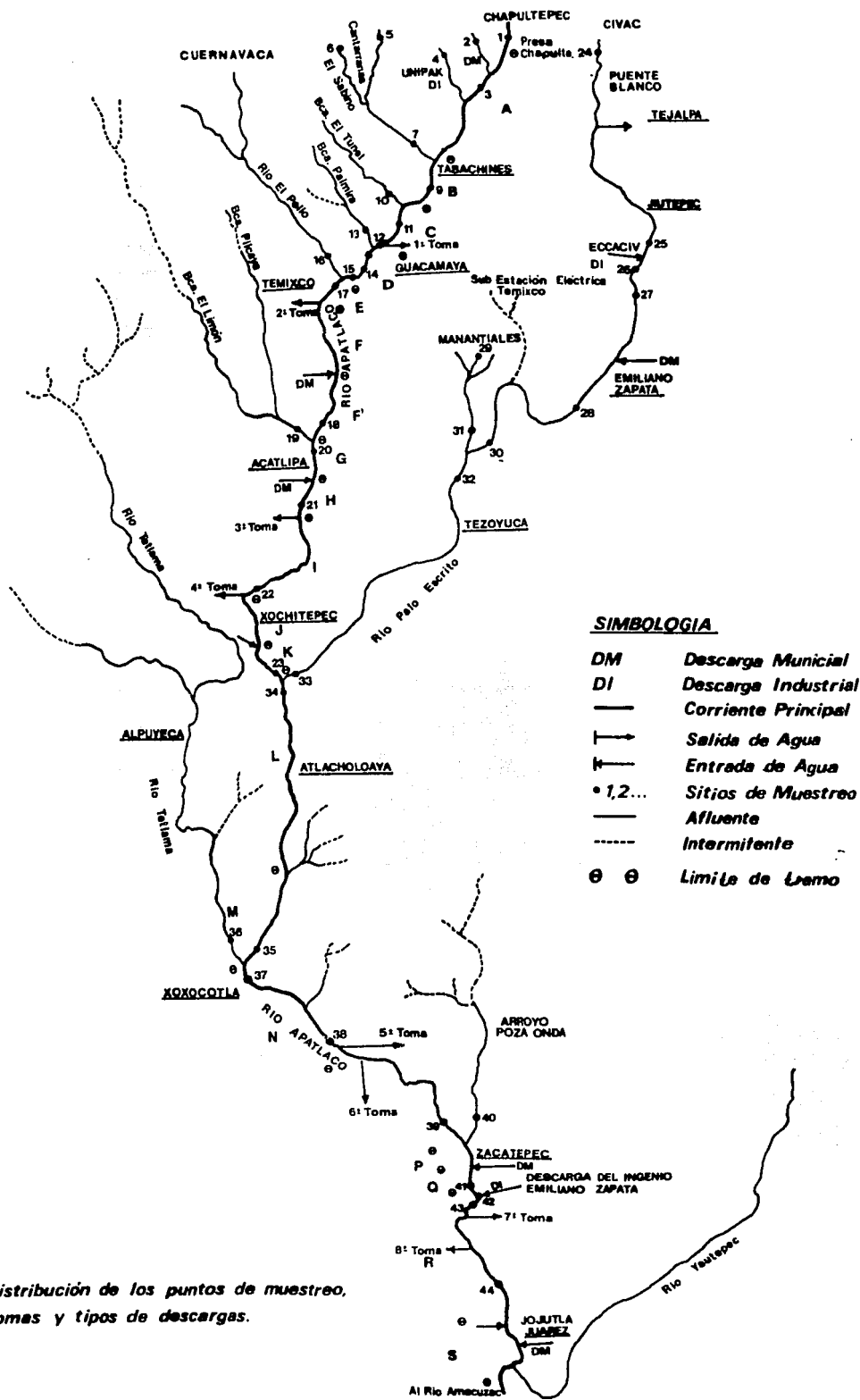
Los principales aprovechamientos de agua subterránea, se obtienen principalmente de manantiales, los cuales son abundantes y de buena calidad en la zona, y en volumen de pozos y norías (SARH.IMTA, 1988). En general, la cuenca está formada por dos zonas: al norte, (zona alta de la región), se tiene la zona de recarga natural del acuífero, que por sus características geológicas presenta alta permeabilidad y percolación; al centro y al sur del área, se encuentra la zona de afloramiento, caracterizada por la presencia de manantiales y acuíferos libres.

Los manantiales más importantes por su gasto de contribución son Las Estacas en los municipios de Tlaltzapán; Fundición, Chapultepec y El Salto en los municipios de Cuernavaca. Las aguas de otros manantiales son usadas para abastecer algunos balnearios en la zona.

En el estado de Morelos se han determinado cinco diferentes acuíferos, de los cuales dos quedan comprendidos dentro de la zona del río Apatlaco y son los siguientes:

- Acuífero Valle de Cuernavaca

Se localiza en la porción Noroccidental del estado e incluye los municipios de Coatlán, Cuernavaca, Jiutepec, Milacatlán, Temixco, Xochitepec y Emiliano Zapata, en forma parcial a los de Huitzilac, Mazatepec, Puente de Ixtla, Tepoztlán, Tetecala, Tlaltzapán, Yautepec y Zacatepec, cubriendo una extensión aproximada de 1,450 km². El marco geológico está compuesto por rocas sedimentarias de origen continental y marino así como rocas ígneas de tipo extrusivo.



SIMBOLOGIA

- DM Descarga Municipal
- DI Descarga Industrial
- Corriente Principal
- ↳ Salida de Agua
- ← Entrada de Agua
- 1, 2... Sitios de Muestreo
- Afluente
- Intermittente
- ⊗ ⊗ Limite de Ueno

Distribución de los puntos de muestreo, tomas y tipos de descargas.

El volumen de recarga anual en la zona es de 102.04 Mm³, y un volumen de extracción de 54.70 Mm³. La profundidad del nivel estático varía de 10 a 100 m, según la topografía del terreno (Ortiz, 1988). El agua subterránea que circula bajo la zona es de buena calidad y apropiada para su uso doméstico, industrial y agrícola.

- Acuífero Valle de Zacatepec

Se localiza en la porción Suroccidental del estado, el cual incluye los municipios de Amacuzac, Jojutla y Tlaquiltenango y en forma parcial en los de Zacatepec, Puente de Ixtla, Tetecala, Tlaltizapán y Zacatepec.

El volumen de recarga anual es de 31.80 Mm³ en general en la zona, las profundidades a nivel estático varían de 3.50 a 80.0 m, localizándose las más profundas en las partes altas y las someras (10 a 30 m) a lo largo de los cauces de los ríos y zona cañera de Zacatepec, Jojutla, Puente de Ixtla y San José Vista Hermosa.

Cabe mencionar que ambos acuíferos reciben infiltración del río Apatlaco, el cual drena agua con una calidad no recomendable para su uso potable y aunque el agua del río sufre una percolación, hay que considerar la posibilidad de contaminación del agua subterránea. Esto es posible en la zona donde el nivel freático es mínimo, como en los municipios de Temixco, Zacatepec y Jojutla.

La recarga del acuífero se estima en 107 Mm³/año y la descarga natural en 11.7 Mm³/año. El cuadro 1, muestra el balance de agua superficial y subterránea en la cuenca del río Apatlaco (SARH, IMTA, 1990).

Cuadro 1. Balance de aguas superficiales y subterráneas.

USO	EXTRACCION (Mm ³ /año)	FUENTE SUPERFICIAL (Mm ³ /año)	FUENTE SUBTERRENEA (Mm ³ /año)
Agrícola	16	13	3
Doméstico	33	-	33
Industrial	22	6	16
TOTAL	71	19	52
DISPONIBLE	381	274	107

FUENTE: SARH-IMTA, 1990.

1.2. ASPECTOS SOCIALES

1.2.1. DESARROLLO URBANO, INDUSTRIAL Y AGRICOLA

Desarrollo Urbano.

El estado de Morelos cuenta con una población total de 1'195,059 habitantes (Censo 1990) y con una superficie de 4,958.22 Km². Aproximadamente el 50% de la población de éste estado se encuentra en la cuenca del río Apatlaco y está constituida principalmente por los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata, Temixco y Zacatepec.

Con base a los resultados de censo de 1990 se tiene que los municipios que integran la cuenca del río Apatlaco, la ciudad de Cuernavaca con 281,294 habitantes (23.5%), es la más poblada como se muestra en el cuadro 2.

De acuerdo con el cuadro 2, se deduce que los ocho municipios que conforman la cuenca del río Apatlaco representan, con 600,034 habitantes, el 50.2% del total de la población de Morelos, con valores de densidad de hasta 500 habitantes por km². El valor promedio de la población es de 125 habitantes por km², cifra inferior solamente a los del Estado de México y la del Distrito Federal. El 95.5% de esta población que conforman los municipios del río Apatlaco, viven en áreas urbanas y el 4.5% en el campo. La población económicamente activa es del orden del 27.7% del total del estado.

La tasa de crecimiento promedio anual de la población del estado de Morelos en el período 1980-1990, fue del 2.4%. Al interior del estado, los municipios que presentaron mayor crecimiento fueron: Xochitepec con 5.6%, Emiliano Zapata 4.9% y Temixco 4.2%, registrándose los valores más bajos en Zacatepec con -0.2%, Miacatlán 0.1% y Jojutla 0.5%.

Desarrollo Industrial.

El censo industrial de 1989 en el estado de Morelos, presenta un total de 2,228 industrias distribuidas entre los 33 municipios de la entidad. Los siete municipios que integran la cuenca del río Apatlaco incluyen 1,161 industrias, es decir, el 52% del total. Además, en ella se presentan las fábricas textiles, azucareras, automotrices, de productos químicos, farmacéuticos y uso de metales pesados, entre otros. En general, el resto de los municipios presentan industrias como son molineras de nixtamal, fábricas de tortillas, productos de panadería, cerámicas, alfarería y actividades relacionadas con la contaminación.

El municipio que más industrias tiene es Cuernavaca con 550 y le siguen, Cuautla con 220, Jiutepec con 181, Yautepec con 83, Jojutla con 101, Zacatepec con 55, Temixco con 131 y Emiliano Zapata con 61.

Cuadro 2. Jerarquización de los municipios de morelos, según la cantidad de población y participación en el total estatal, 1990.

MUNICIPIO	POBLACION	
	ABSOLUTA	RELATIVA
AMACUZAC	13,659	1.1
ATLATLAHUCAN	9,255	0.8
AXOCHIAPAN	26,283	2.2
AYALA	52,969	4.4
COATLAN DEL RIO	8,665	0.7
CUAUTLA	120,315	10.1
CUERNAVACA*	281,294	23.5
EMILIANO ZAPATA*	33,646	2.8
HUITZILAC*	10,573	0.9
JANTETELCO	11,475	1.0
JIUTEPEC*	101,275	8.5
JOJUTLA*	47,021	3.9
JONACATEPEC	11,255	0.9
MAZATEPEC	7,142	0.6
MIACATLAN	19,069	1.6
OCUITUCO	13,079	1.1
PUENTE DE IXTLA	43,930	3.7
TEMIXCO*	67,736	5.7
TEPALCINGO	20,553	1.7
TEPOZTLAN	27,646	2.3
TETECALA	6,057	0.5
TETELA DEL VOLCAN	13,805	1.2
TLALNEPANTLA	4,376	0.4
TLALTIZAPAN	37,497	3.1
TLAQUILTENANGO	27,322	2.3
TLAYACAPAN	9,868	0.8
TOTOLAPAN	6,351	0.5
XOCHITEPEC*	27,828	2.3
YAUTEPEC	60,258	5.0
YECAPITLA	27,032	2.3
ZACATEPEC*	30,661	2.6
ZACUALPAN DE AMILPAS	6,924	0.6
TEMOAC	10,240	0.9
MORELOS	1'195,059	100

* MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA CUENCA DEL RÍO APATLACO.

El sector industrial consume 137 Mm³/año de agua, de los cuales el 76.7% (105 Mm³/año) cubren la demanda de los tres ingenios azucareros: Casasano, Emiliano Zapata y Oacalco, con gastos promedio de 4.3 m³/seg. El resto del sector manufacturero y de la construcción está ubicado principalmente en áreas conurbadas o cercanas a los centros urbanos mayores como son CIVAC y el complejo industrial de Cuautla.

El desarrollo industrial en el estado se ha concentrado en los polos de Cuernavaca-Jiutepec-Temixco, Jojutla-Zacatepec y Cuautla-Yautepec, en donde se encuentran las industrias que más agua consumen y contaminan tales como: los ingenios azucareros, fábricas de alimentos, textiles, químicos, curtidurías, rastros y las de producción de bebidas gaseosas. Los primeros dos polos corresponden a la cuenca del río Apatlaco. En la ciudad de Cuernavaca, Jiutepec y Zacatepec, se encuentran los complejos industriales más importantes del estado.

El único uso del agua del río Apatlaco en la actividad industrial es en el ingenio azucarero Emiliano Zapata en Zacatepec. El agua proviene de la quinta toma, después de haber pasado por los campos de cultivo de la caña de azúcar, se usa en la fase de enfriamiento, generando un vacío en el condensador barométrico multi-jet, provocando la condensación de vapor de agua. Este procedimiento se realiza durante el período de zafra (octubre-junio), con un gasto aproximado de 780 L/seg.

Desarrollo Agrícola.

Siendo Morelos una entidad importante en el país, considerado como un estado agrícola, donde el 10.32% de la superficie es irrigada por corrientes, las que en general han sido afectadas por las descargas de aguas residuales, se hace necesario la elaboración de proyectos para tratar el agua.

El aprovechamiento más importante del agua en la cuenca del río Apatlaco es el abastecimiento para riego agrícola donde la superficie irrigada es de 2,955.9 has, correspondiente al 4% de las 72,510 has que conforman la cuenca del río Apatlaco. Los poblados beneficiados con este uso son: Jiutepec, Temixco, Acatlipa, Xochitepec, Xoxocotlan, Teielpa, Zacatepec y Jojutla.

De la corriente principal del cauce del río Apatlaco, se extrae agua por medio de nueve presas derivadoras, y se utiliza en el riego de 2,955.9 has, sin un tratamiento previo, provocando la contaminación de suelos y cultivos aumentando el riesgo de contraer enfermedades.

El sector agropecuario cuenta con una superficie de riego de 72,510 has, en donde emplean un volumen de 398 Mm³/año (62.87%), de los cuales 145.5 Mm³/año (36.5%) son de fuentes subterráneas y 252.5 Mm³/año (63.45%) son de aguas superficiales. Los principales cultivos de riego son: maíz, caña de azúcar, sorgo de grano, sorgo forrajero, jitomate, arroz, cacahuete, frijól y cebolla; y como cultivos menores: tomate de cáscara, floricultura y hortalizas.

Con respecto a la superficie de temporal, la superficie aprovechable es de 171,900 has, de las cuales se utilizan 137,000 has. Los principales cultivos son: maíz, sorgo, sorgo de grano, cacahuete y frijol.

Los terrenos planos, que representan el 30% de la superficie agrícola, se encuentran en el fondo de los valles y en las vegas de los ríos. En las mesetas hay suelos ligeramente ondulados con forma de lomas alargadas con pendientes en dirección sur, sureste y suroeste. Las mesetas representan el 40% del área total agrícola de la cuenca.

El cuadro 3 muestra las ocho tomas comprendidas en el río Apatlaco y sus superficies irrigadas.

Cuadro 3. Tomas y superficies irrigadas por el río Apatlaco

NOMBRE DEL CANAL	UNIDAD DE PRODUCCION	CAMPO REGADO	SUPERFICIE (ha)			GASTO m ³ /s
			EJIDAL	PRIVADA	TOTAL	
TOMA 0	CHIPITLAN	LA HERA NUEVA	89.1		89.1	NO MEDIDA
			17.0		17.0	
		TOTAL CANAL	<u>106.1</u>		<u>106.1</u>	
1ra. TOMA	TEMIXCO	ANIMAS PILAR	24.1	8.5	24.1	
		SOTELO	8.9		17.4	
		STA. CRUZ	58.9		58.9	
		ESPEJO	81.7		81.7	
		HUIZACHERA	9.0		9.0	
		MARTINICAS	16.1		16.1	
			20.1		20.1	
		<u>216.8</u>	<u>8.5</u>	<u>225.3</u>		
	ALTA PALMIRA	ANGOSTURA STA. CRUZ	11.4		11.4	
			21.4		21.4	
		<u>32.8</u>		<u>32.8</u>		
ACATLIPA	STA. CRUZ	70.3		70.3		
		<u>70.3</u>		<u>70.3</u>		
		TOTAL CANAL	319.9	8.5	328.4	0.813
2da. TOMA	TEMIXCO	GUAJE GRANDE	12.4		12.4	
		ENCAMISADERO	40.4		40.4	
		MERCEDES	12.9		12.9	
		GUAJE CHICO	35.7		35.7	
		ESTRIBO	7.2		7.2	
		<u>108.6</u>		<u>108.6</u>		
	ALTA PALMIRA	GUAJE GRANDE	8.6		8.6	
			<u>8.6</u>		<u>8.6</u>	
	ACATLIPA	EL RAYO	95.8		95.8	
		EL PUEBLO	38.3		38.3	
GUAJE GRANDE		50.1		50.1		
	<u>184.2</u>		<u>184.2</u>			
		TOTAL CANAL	301.4		301.4	0.274

Cuadro 3. Tomas y superficies irrigadas por el río Apataco (continuación)

NOMBRE DEL CANAL	UNIDAD DE PRODUCCION	CAMPO REGADO	SUPERFICIE (ha)			GASTO m ³ /s
			EJIDAL	PRIVADA	TOTAL	
3ra. TOMA	REAL DEL PUENTE	ACOCULCO	14.7		14.7	0.43
		SAN GASPARES	37.4		37.4	
		TLAXALA	92.7		92.7	
			<u>144.8</u>		<u>144.8</u>	
		TOTAL CANAL	144.8		144.8	
4ta. TOMA	XOCHITEPEC	LA JOYA	5.8		5.8	0.293
			<u>5.8</u>		<u>5.8</u>	
	ALPUYECA	TLALIXTAC	9.2		9.2	
		EL RANCHO	7.8		7.8	
		EL REGADIO		15.2	15.2	
		LA MAROMA		19.1	19.1	
		EL OBRADOR	17.6	38.4	56.0	
		EL CORAZON	17.2		17.2	
		EL PADERON	7.7		7.7	
		EL LLANO		102.7	102.7	
		LA LAGUNA		17.0	17.0	
		EL SOLIS	134.4		134.4	
		EL GUAYABO	10.0	36.1	46.1	
		XOMULCO	47.7		47.4	
ZOMPANTLE	15.8		15.8			
	<u>267.4</u>	<u>228.5</u>	<u>495.9</u>			
	TOTAL CANAL	273.2	228.5	501.7		

Cuadro 3. Tomas y superficies irrigadas por el río Apatlaco (continuación)

NOMBRE DEL CANAL	UNIDAD DE PRODUCCION	CAMPO REGADO	SUPERFICIE (ha)			GASTO m ³ /s
			EJIDAL	PRIVADA	TOTAL	
5ta. TOMA	TETELPA	ANGOSTURA	6.6		6.6	
		LAS VAJILLAS	40.8		40.8	
		LOS ARCOS	20.4		20.4	
			<u>67.8</u>		<u>67.8</u>	
	ZACATEPEC	MEZQUITERA	8.6		8.6	
		SAN MARTIN	45.5		45.5	
		TLALTENANGO	14.3		14.3	
		LA PAROTA	34.8		34.8	
		CHICOMOZUELO	68.8		68.8	
			<u>172.0</u>		<u>172.0</u>	
	JOJUTLA	PLATANAL	4.8		4.8	
		SAN JUAN	15.2		15.2	
		IGLESIA VIEJA	6.8		6.8	
		SAN PABLO	78.8		78.8	
		LAS PURISIMAS	93.3		93.3	
		CASA BLANCA	29.3		29.3	
		ATOCLE	22.1		22.1	
		<u>250.3</u>		<u>250.3</u>		
	TOTAL CANAL	490.1		490.1	1.251	
6ta. TOMA	TETELPA	LA CORRIENTE		12.0	12.0	
		EL LLANO		40.0	40.0	
		COMPUERTA GDE	79.0		79.0	
			<u>79.0</u>	<u>52.0</u>	<u>131.0</u>	
	ZACATEPEC	LA VICTORIA	88.8		88.8	
			<u>88.8</u>		<u>88.8</u>	
	GALEANA	BOVEDAS BAJAS	54.3		54.3	
		COMPUERTA GDE	43.8		43.8	
		COMPUERTA	56.0		56.0	
		CHICA	<u>154.1</u>		<u>154.1</u>	
	JOJUTLA	ATOCLE	9.3		9.3	
			<u>9.3</u>		<u>9.3</u>	
	PANCHIMALCO	EL CANO	45.2		45.2	
		TULAR VIEJO	32.4		32.4	
		<u>77.6</u>		<u>77.6</u>		
	TOTAL CANAL	408.8	52.0	460.8	0.501	

Cuadro 3. Tomas y superficies irrigadas por el río Apatlaco (continuación)

NOMBRE DEL CANAL	UNIDAD DE PRODUCCION	CAMPO REGADO	SUPERFICIE (ha)			GASTO m ³ /s
			EJIDAL	PRIVADA	TOTAL	
7ta.TOMA	JOJUTLA	NEXPA	35.70		37.5	
		LA PALMA	133.2		133.2	
		TEOALCINGO	46.5		46.5	
		ZAPOTE		9.2	9.2	
		HIGUERON VIEJO	86.4	9.5	95.9	
		JUNTAS		9.4	9.4	
				<u>301.8</u>	<u>28.1</u>		329.9
		TOTAL CANAL	301.8	28.1	329.9	0.0*
8ta.TOMA	PANCHIMALCO	EL CANO	24.5		24.5	
		TULAR VIEJO	43.9		43.9	
		EL JAGÜEY	72.5		72.5	
		SAN JERONIMO		51.7	51.7	
		SAN ANTONIO		35.3	35.3	
		AMILA		34.1	34.1	
		ESPIRITUSANTO		11.4	11.4	
		TULAR NUEVO	19.3		19.3	
		<u>160.2</u>	<u>132.5</u>	<u>292.7</u>		
		TOTAL CANAL	160.2	132.5	292.7	0.39
ABASTECIMIENTO TOTAL			2506.3	449.6	2955.9	3.952

1.2.2 DEGRADACION ECOLOGICA CAUSADA POR LA CONTAMINACION

Aunque algunos ecosistemas son más susceptibles que otros, cualquier desequilibrio en su funcionamiento los predispone al deterioro. Un ecosistema está equilibrado por la inmensa actividad intrínseca del mismo, muchos organismos nacen pero otros mueren, manteniendo dentro de cierto margen una población constante.

Es posible que la armonía de un sistema ecológico se encuentre bajo la acción de presiones que lo desajusten temporalmente. Para seguir subsistiendo tendría que reajustarse. Si sus mecanismos reguladores son eficaces, puede sobreponerse a una degradación sin extinguirse.

Hasta hace poco se tenía la idea de que el hombre y la naturaleza estaban en perfecta concordancia, sin embargo, la realidad es otra. El desmedido crecimiento de la población así como los desmesurados avances técnicos con sus nefastas consecuencias, han conducido a una desproporción en relación a los recursos y capacidades de la naturaleza, lo que provoca la destrucción de otras formas de vida organizada con el consiguiente desarreglo en el propio ecosistema humano.

El problema de la contaminación puede enmarcarse así, como la necesidad de resolver adecuadamente el proceso de reciclar la producción humana de energía y materiales, lo que desgraciadamente no sucede debido a que el hombre frecuentemente olvida que es parte del proceso biológico y jamás ajeno a él y que de no adquirir de ello plena conciencia y mediar una pronta acción, inevitablemente presenciaremos una dramática situación de irreversibles consecuencias.

Para definir qué es la contaminación, se definirá primero que es contaminante: "Toda materia o sustancia, o sus combinaciones, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos, desperdicios, y cualesquiera otros que al incorporarse o adicionarse al aire, agua o tierra, puede alterar o modificar sus características naturales o las del ambiente: Así como toda forma de energía como calor, radioactividad y ruidos que al operar en o sobre el aire, agua o tierra, alteren su estado normal".

La Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación ambiental expedida en México en marzo de 1971 define como contaminación: " La presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen o molesten la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, el agua, la tierra, los bienes y los recursos de la nación en general o de los particulares".

Con el transcurrir del tiempo, el concepto de aprovechamiento del agua sufrió grandes cambios. Como consecuencia de la explosión demográfica las grandes aglomeraciones humanas le han ido dando múltiples y muy dispares usos; el continuo proceso de urbanización, la explotación intensiva de los campos agrícolas, la desenfrenada carrera tecnológica e industrial, la necesidad de generación de energía hidroeléctrica, y en fin, el afán de supervivencia y alimentación del hombre han basado su desarrollo en la despilfarrada e irracional utilización del agua.

En épocas pasadas, la descarga de los desechos domésticos e industriales no provocaba mayores problemas de contaminación debido a la poca cantidad de los mismos, teniendo las aguas receptoras la capacidad suficiente para diluirlos totalmente.

Tradicionalmente se consideraba a los océanos y los ríos como medios de evacuación de los desechos de las sociedades humanas. Hasta hace poco los ciclos biológicos del agua aseguraban la reabsorción de tales restos, hasta el punto de que sólo con evitar el contacto o utilización de las aguas vertidas por los desagües de las cloacas, las aguas fluviales y las de las costas se consideraban naturalmente purificadas.

Actualmente al río o la costa, no solo van a parar restos orgánicos, sino masas cada vez más considerables de productos químicos de múltiples efectos nocivos; como la muerte de peces y la aniquilación de algas y microorganismos.

La contaminación de los océanos es consecuencia exclusiva del hombre y de sus actividades; y la diferencia entre la época presente y hace no muchos años, radica en que el hombre está aumentando las concentraciones de sustancias que originalmente no significaban daño alguno a los océanos, pero actualmente constituye una seria amenaza al equilibrio del ecosistema marino.

Las variedades de contaminación del agua son:

Natural, térmica, de aguas residuales urbanas, desechos industriales y agrícolas.

La contaminación térmica, se origina cuando las plantas eléctricas y la fábricas arrojan materias calientes a los ríos y depósitos de aprovisionamiento acuático. En estos casos, la causa de la contaminación es el calor que se descarga a una corriente, lago o río, no los materiales mismos. La más grave consecuencia de este tipo de

contaminación es la alteración de las propiedades físicas del agua. El agua tibia no puede mantener en solución tantos gases como el agua fría; por consiguiente, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, sin oxígeno no hay vida y cuanto menor es la cantidad de este elemento en el agua, tanto más reducido será el número de organismos vivos en ella presente.

Las aguas residuales urbanas llamadas también aguas negras, o de albañal, contienen detritos líquidos y sólidos de procedencia humana, además de todo aquello que comúnmente se elimina a través de los desagües y sumideros de las viviendas. Este contaminante está constituido por el agua de baños y retretes, detergentes y en general todos los desperdicios que escapan por los drenajes.

En cuanto a los desechos industriales, la acidez o alcalinidad de las aguas residuales producida por este tipo de desechos, son índices importantes a medir, porque pueden producir condiciones sumamente perjudiciales en las aguas a las que son vertidas.

Las principales industrias que descargan aguas residuales conteniendo compuestos ácidos y/o alcalinos son: productos químicos, pulpa y papel, metalúrgicas, galvanoplastia, textiles y tenerías.

El daño principal que dichos contaminantes ocasionan a los cuerpos receptores es la creciente mortandad de la vida acuática en general además de otros trastornos que se presentarían al usarse dichos cuerpos como fuentes de abastecimiento público o centro de recreación.

La contaminación agrícola, proviene del uso de plaguicidas y productos químicos utilizados en la agricultura, que al ser asimilados por la tierra y después arrastrados debido a las precipitaciones, llega finalmente la materia y el agua a una corriente y la deteriora.

A continuación se da un panorama general de las fuentes de contaminación, considerando el tipo de desecho que se genera y clasificándolos en industriales, domésticos, agrícolas y pluviales que se presentan en la cuenca del río Apatlaco.

Contaminación industrial.

Las dos fuentes principales de contaminación de origen industrial del río Apatlaco son: la descarga del ingenio azucarero Emiliano Zapata, que produce desechos orgánicos y genera contaminación térmica, ocasionando el abatimiento total de oxígeno; y la descarga de la planta de tratamiento ECCACIV (Empresa para el Control de la

Contaminación del Agua en la zona de CIVAC [Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca] cuya eficiencia promedio de remoción de DBO es del orden del 70% y que genera contaminación orgánica e inorgánica, incluyendo metales pesados tóxicos como Pb, Cu, Zn y Cr hexavalente.

El censo de aguas residuales registra 74 descargas, de las cuales 7 son industriales, 64 son de servicios y 3 municipales. Sin embargo, tan sólo la descarga industrial de ECCACIV, tiene establecidas 65 industrias, 2 poblaciones y 4 fraccionamientos, predominando las industrias químicas de tipo orgánico y las textiles. Su carga orgánica promedio es de 300 mg/L, equivalente a 2.14 Ton/día de DBO.

Después de las industrias arriba citadas, el segundo centro industrial altamente contaminante de más importancia es el ingenio azucarero Emiliano Zapata en Zacatepec. El agua se usa en los procesos de enfriamiento y condensación, generando agua con niveles altos de DBO (315 mg/L en promedio) en su colector general, y temperaturas promedio de 40°C, siendo 20°C el nivel normal y 30°C el máximo nivel aceptable, pero causado por condiciones naturales.

Con el objeto de identificar los materiales utilizados por las industrias, y consecuentemente el tipo de desecho que pueden generar, se presenta el siguiente listado:

ESQUIMA, S.A. Productos empleados: Furfural, anhídrido acético, ácido nítrico, sosa caústica, metanol, óxido de etileno, dietil carbonato, hidrato de hidracina, ácido sulfúrico, urea y amoniaco. El total mensual del consumo de estos productos es de 121 toneladas.

ORSABE, S.A. Productos empleados: Cloruro de metileno, alcohol butílico (butano), penicilina G potásica, N.N. dimetil anilina, dimetil diclorosilano, pentacloruro de fósforo, hidróxido de amonio (amoníaco), acetona, MIBK, ácido clorhídrico, cloroformo de etilo, N-metilformolina, NAP, hidróxido de sodio, celite, sulfato de magnesio, anhídrido, dietil amina, alcohol isopropílico, metóxido de sodio, cloruro de disol, ácido sulfúrico, etil exanoato de sodio y cloruro de clarasol. El consumo total mensual es de 113.5 toneladas.

TEXTILES DEL VALLE DE CUERNAVACA. Productos empleados: Hidrosulfito de sodio, sosa caústica, ácido acético, cloruro de sodio, mapropon, resinas acrílicas. El consumo total mensual es de 1.3 Ton.

CASA LOS GALLOS, S.A. Productos empleados:

- 1) Para tintes dispersos: sulfato de aluminio, hexametáfosfato de sodio, antiespumante NOPCO, meyprogum NP3 (espesante) y gas nafta (solvente).

Para pigmentos: bayer, fosfato de amoníaco, clear-acramina TLN, clear-acramina SLC, eliofix NC y glicerina.

Tintes reactivos: carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, sal para reserva, cloruro de sodio (antioxidante) y urea.

- 2) Detergentes: Heripon HD, necanil LN, hostapal CVM, latinoverina, rapidoce W y tinopal 2B.
- 3) Aditivos en el lavado: tintes de hidróxido de sodio diluido, dispersos hidrosulfitos de sodio para naylon, ácido acético glacial, tintes erenol, ácido finovetina y algodón tinofix.
- 4) Desmontantes de estampados defectuosos: algodón hipoclorito de sodio (removero), políester bisulfito de sodio (neutralizador), anadorón y ácido muriático.
- 5) Lavado de telas oxidables: ácido oxálico.
No hay información del consumo total mensual existente.

QUIMICA DE MORELOS. Productos empleados: silicato de sodio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, bicarbonato de sodio, óxido de mercurio, hidróxido de aluminio, carbonato de sodio, hidróxido de sodio y agua. El consumo total mensual es de 7.1 Ton y 750 m³ de agua.

RIVETEX, S.A. Productos empleados: Sylical SS extra concentrado, acetato de cromo verde, ácido acético, ácido oxálico, ácido fórmico, agua oxigenada, amoníaco, arosití BL, antimuso W.L., avolan 1S., avolan SC, aibegal B, bicromato de potasio, edumina OS, glicerina QP, hostapal WN, leucofor WS, irgosol SW, lanalbina B, teban ES, permadon especial, clorato de sodio, solvitose sintepal, levalín y colorantes. El consumo total mensual es de 2,600 Ton.

TENERIA DE MORELOS, S.A. Productos empleados: aceite sulfonado, ácido sulfúrico, calhidra, formiato de sodio, oropon, quebracho, cloruro de sodio, carbonato de sodio,

sulfato de amonio, sulfidato de sodio, sulfato de sodio y sulfuro de sodio. El consumo total mensual es de 124 Ton, 70,000 L de licor de cromo y 1,200 m³ de agua por día.

QUIMICA MEXAMA, S.A. Productos empleados: azúcar, ácido sulfurico, ácido sulfurico, ácido clorhídrico, cal, sosa cáustica, hidróxido de amonio, filtro ayuda y carbón activado. El consumo total mensual es de 1,343.5 Ton., 1,100 m³ de crudo y 35,000 L de diesel.

INDUSTRIA AUTOMOTRIZ DE CUERNAVACA, S.A. Productos empleados: aceite penetrante, aceite emulsificador, ácido muriático, sosa cáustica, detergente, ácido acético, etanoato de potasio, ácido sulfúrico, fosfato de zinc, neutralizador, cianuro, acero y aluminio. El consumo total es de 1.5 Ton. sin considerar los metales usados.

NISSAN MEXICANA, S.A. Productos empleados: Pintura violeta, amarillo, blanco, azul, rojo, alcohol industrial, petróleo diáfano, aceite nacional, desengrasante, gasolmex, pintura azul para motor, solvente, primario rojo, primario gris, gasolvente, thinner, gasolina blanca, jabón líquido, sosa cáustica, removedor, ácido muriático. El consumo total mensual es de 634 kg de los tres últimos compuestos y 416.41 L del resto de los compuestos, sin considerar 30 galones de las pinturas.

LABORATORIOS JULIAN DE MEXICO, S.A. Productos empleados: N-Butilnilina, sulfaguanidina, formil-amini-antipirina, ácido acético glacial, anhídrido acético, ácido sulfúrico QP, ácido nítrico, sulfidato de sodio, sosa cáustica, hidróxido de sodio en escamas, cianamida, metil cloroformiato, pentadiona, carbón activado, ácido clorhídrico, sulfato de dimetilo, alcohol etílico, carbonato de sodio, formaldehído, dióxido de azufre, ácido fórmico, ácido clorosulfónico, m-cloro-anilina, cloruro de tionilo, t-butanol, gas amoníaco, etil glicol y cloruro magnésico. El consumo total mensual es de 86.9 Ton., 13,524 L de metanol, 26,000 L de benceno y 12,000 L de acetona.

Las industrias anteriores, muestran la gran cantidad de materiales contaminantes presentes en el río Apatlaco, aunque es importante aclarar los siguientes dos puntos:

- La mayor parte de los compuestos anteriores son materias primas que se usan para elaborar nuevos productos como son: autos, medicamentos, telas, etc. y el resto que son desechos, son descargados en forma de detergentes, solventes orgánicos e inorgánicos, colorantes, combustibles, grasas, aceites, sosa cáustica, ácidos, fosfatos y compuestos nitrogenados.

- La mayoría de las industrias descargan sus desechos en colectores que conducen las aguas residuales a ECCACIV, donde se les aplica el tratamiento de lodos activados. El resto descargan directamente a las barrancas, a las zonas de cultivos o a las corrientes principales, generalmente sin ningún tratamiento.

Contaminación municipal.

El norte del municipio de Cuernavaca se caracteriza por tener pocas fuentes de contaminación de las aguas superficiales. Las descargas de las poblaciones de Huitzilac y Tres Marias son prácticamente las únicas contaminantes, las que no por ello son menos importantes considerando que es el área de recarga de la cuenca y la gran permeabilidad de los suelos.

Hacia el centro de la cuenca, las descargas de Cuernavaca, Temixco, Acatlpa, Jiutepec, Emiliano Zapata y Xochitepec, son las principales aportadoras de contaminantes domésticos. Es en esta área donde se concentran las fuentes principales de contaminación, lo que es importante, tomando en cuenta que es la zona de descarga natural de acuífero en forma de manantiales, la mayoría de los cuales están contaminados prácticamente desde el lugar donde nacen.

La zona sur de la cuenca, comprendidas por las poblaciones de Alpuyecá, Zacatepec y Jojutla es probablemente la porción más contaminada, debido a que, además de las descargas de aguas residuales de dichas poblaciones, la corriente posee aún los contaminantes aportados y no asimilados en las zonas norte y centro. Aunque la principal fuente de contaminación en esta zona es el ingenio azucarero Emiliano Zapata.

Contaminación Agrícola.

Los fertilizantes, insecticidas, fungicidas y pesticidas, son compuestos químicos que se usan en el manejo y control de cultivos.

Algunos de estos compuestos pueden ser degradados en periodos de 15 a 20 días, como los plaguicidas organofosforados; otros en cambio, pueden permanecer activos de 10 a 15 años como los DDTs. Estos compuestos se transforman en contaminantes de los cuerpos receptores provocando su eutroficación al aumentar la carga orgánica e inorgánica y consecuentemente afectando sus formas de vida por la modificación de las condiciones naturales.

El grado de peligrosidad de estos compuestos depende de la toxicidad de su naturaleza química y de su tiempo de vida. Algunos de ellos se incorporan a la cadena alimenticia ocasionando la extinción de un tipo de organismo y la proliferación de otros.

Estos contaminantes, se incorporan al río en dos formas: en aguas de retorno agrícola y/o por escurrimiento pluvial de los suelos usados en estas prácticas.

En la entidad de Morelos se utilizan 49 plaguicidas de los cuales 21 se consideran altamente peligrosos para la salud de los seres vivos, y de éstos, sólo 9 son de uso autorizado, con vigilancia estricta. El listado de plaguicidas es el siguiente:

1.- Plaguicidas considerados más peligrosos.

a) Autorizados por las leyes mexicanas (1987)

- | | |
|---------------------|------------------|
| - Malatión | - 2, 4-D (amino) |
| - Paratión metílico | - Captán |
| - Gusatión | - Diazinón |
| - Folimat | - Azodrin |
| - Thiodán | |

b) No autorizados aún por las leyes mexicanas

- | | | |
|-------------|------------|------------|
| - Dimetoato | - Lannate | - Phosdrín |
| - Manzate | - Clordano | - Gelecrón |
| - Sevín | - Akar | - Temik |
| - Volaton | - Tamarón | - Dimecrón |

2.- Otros plaguicidas utilizados en Morelos, no considerados como peligrosos:

- | | | | | |
|------------|--------------|---------------|------------|-----------|
| - Fungisol | - Difalátán | - Tirodán | - Basudim | - Lorsbán |
| - Nuvacrón | - Trition | - Fundal | - Gardona | - Bux |
| - Manet | - Acrició | - Metasystrox | - Ethión | - Pirimor |
| - Daconil | - Diptex | - Mirex | - Karathan | |
| - Dyrene | - Stan LV-10 | - Supració | - Zinif | |
| - Benlate | - Morestán | - Belmark | - Curatión | |

Contaminación por corrientes pluviales.

El agua de lluvia al precipitarse, lava a plaguicidas, herbicidas y fertilizantes utilizados en la agricultura; también lava a grasas, aceites, basuras, arenas, etc. de las calles de los poblados, escurriéndose posteriormente hacia drenajes, barrancas o directamente al río, incrementando su contenido de carga orgánica e inorgánica, contribuyendo finalmente a un aumento de la contaminación de los cuerpos receptores.

II. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA

II. EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA

2.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y REUSO DEL AGUA

En el estado de Morelos, según el inventario de plantas de tratamiento de julio de 1994, realizado por la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua, del mismo estado, existen 62 plantas de tratamiento.

En la cuenca del río Apatlaco existen diversos tipos de sistemas de tratamiento, los cuales están clasificados en Municipales, Industriales y plantas de pretratamiento conectadas a ECCACIV.

En el municipio de Cuernavaca, existen 15 plantas de tratamiento de las cuales 4 utilizan un proceso de tratamiento de tanque imhoff, uno con un proceso de tanque de sedimentación, 5 con proceso fisicoquímico, uno con proceso de lodos activados, uno con proceso biológico-anaerobio, uno con proceso de sistemas de biodiscos y 2 no especificado.

En el municipio de Jiutepec existen 32 plantas de tratamiento de las cuales una utiliza un proceso de tratamiento de torres de oxidación, 2 con un proceso de tanque imhoff, 1 con un proceso biológico-aerobio, 2 con un proceso de lodos activados, 8 con un proceso fisicoquímico, 1 con un proceso de laguna de oxidación, 5 con un proceso de neutralización, 3 con un proceso de homogenización y neutralización, 1 con un proceso fisico-biológico, 3 con un proceso de floculación, 1 con un proceso de homogenización, 1 con un proceso de homogenización y sedimentación, 1 con un proceso de decantación y homogenización y 2 no especificados.

En el municipio de Xochitepec existen 3 plantas de tratamiento, 1 con un proceso fisicoquímico, otra con un tratamiento biológico y la última con rayos ultravioleta.

En el municipio de Temixco existe una planta de tratamiento con un proceso de lodos activados con areación.

En el municipio de Jojutla existe una planta de tratamiento con un proceso de torre de oxidación.

El reuso de las aguas residuales en la cuenca del río Apatlaco es primordial, ya que es usada principalmente para el riego en la agricultura. La mayoría de las descargas de aguas residuales de los municipios y de las industrias son vertidas al río Apatlaco sin un tratamiento previo a excepción de algunas descargas que van a la planta de tratamiento de ECCACIV. En el caso de las descargas que van directamente al río, son estas las que provocan la contaminación en él, en el cual se han abierto nueve tomas de agua para riego distribuidas a lo largo de todo el río obteniéndose así una mala calidad del agua en todas las tomas.

En relación al reuso del agua residual en la industria, el único uso en la cuenca es en el ingenio azucarero Emiliano Zapata en Zacatepec.

2.2 DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA E IDENTIFICACION DEL TIPO DE DESCARGA

Para la determinación de la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco, se seleccionaron diferentes sitios de muestreo a lo largo del río, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Debido a que el río Apatlaco se forma por la unión de las corrientes de varias barrancas, se consideró que la corriente principal nace en la presa de Chapultepec, sitio que se fijó como estación testigo.
- Los sitios de muestreo se establecieron antes, sobre y después de cada aportación (descarga industrial, municipal, agua de retorno o confluencia de otras corrientes) y en las extracciones ya que modifican velocidad, tirante y sección del río y pueden influir en los procesos de autopurificación.

En la cuenca del río Apatlaco se establecieron 44 puntos de muestreo, se presentan en el cuadro 4, junto con su descripción.

Los análisis de las muestras fueron hechos por el LABORATORIO Y ASESORIA EN CONTROL DE LA CONTAMINACION, S.A. DE C.V. en Cuernavaca, Morelos. Las muestras se tomaron por duplicado y los resultados obtenidos por el promedio de estos valores se presenta en el cuadro 5.

Cuadro 4. Caracterización de los sitios de muestreo

SITIO No.	NOMBRE DEL SITIO DE MUESTREO	CLAVE *	manm	DISTA. Km **	TEM. AGUA °C
1	PRESA CHAPULTEPEC (TESTIGO)	A	1 400	0.02	19.9
2	DESCARGA MUNICIPAL CHAPULTEPEC	D	1 400	0.03	20.7
3	BARRANCA CHAPULTEPEC	d	1 401	0.03	20.1
4	DESCARGA INDUSTRIAL UNIPAK, CHAPULTEPEC	D	1 401	0.04	20.0
5	BARRANCA CANTA RANAS.TABACHINES	D	1 410	1.50	23.0
6	BARRANCA EL SABINO.TABACHINES	D	1 410	1.70	25.0
7	CONFLUENCIA CANTA RANAS-EL SABINO.TABACHINES	D	1 373	1.80	22.0
8	CANTA RANAS-EL SABINO, TABACHINES	D	1 370	1.80	22.0
9	CONFLUENCIA EL TUNEL-APATLACO.TABACHINES	A	1 351	2.63	23.0
10	CONFLUENCIA EL TUNEL-APATLACO, TABACHINES	s	1 350	2.65	22.0
11	CONFLUENCIA EL TUNEL-APATLACO, TABACHINES	d	1 350	2.68	22.0
12	CONFLUENCIA PALMIRA-APATLACO, GUACAMAYAS	A	1 331	4.18	23.0
13	CONFLUENCIA PALMIRA-APATLACO, GUACAMAYAS	D	1 330	4.20	24.0
14	CONFLUENCIA PALMIRA-APATLACO, GUACAMAYAS	d	1 330	4.23	23.0
15	CONFLUENCIA EL POLLO-APATLACO, TEMIXCO	A	1 290	6.19	22.0
16	CONFLUENCIA EL POLLO-APATLACO, TEMIXCO	s	1 290	6.20	22.0
17	CONFLUENCIA EL POLLO-APATLACO, TEMIXCO	d	1 288	6.25	22.0
18	CONFLUENCIA PILCAYAS-APATLACO, ACATLIPA	A	1 201	11.08	29.0
19	CONFLUENCIA PILCAYAS-APATLACO, ACATLIPA	s	1 200	11.10	22.0
20	CONFLUENCIA PILCAYAS-APATLACO, ACATLIPA	d	1 202	11.14	26.0
21	3a DERIVACION DEL RIO APATLACO, ACATLIPA	A	1 150	13.30	25.0
22	4a DERIVACION DEL RIO APATLACO, XOCHITEPEC	A	1 080	17.45	26.0
23	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-APATLACO, XOCHITEPEC	A	1 053	20.11	25.0
24	PALO ESCRITO (BCA, PUENTE BLANCO) CIVAC	A	1 430	3.30	25.0
25	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-ECCACIV, JIUTEPEC	A	1 310	8.50	23.0
26	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-ECCACIV, JIUTEPEC	D	1 310	8.61	31.0
27	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-ECCACIV, JIUTEPEC	d	1 308	8.65	29.0
28	PALO ESCRITO, SALIDA DE EMILIANO ZAPATA	A	1 220	13.00	28.0
29	MANANTIALES, SUBESTACION C.F.E. TEMIXCO	s	1 220	17.40	22.0
30	CONF. MANANTIALES C.F.E.-PALO ESCRITO, TEMIXCO	A	1 210	17.36	21.0
31	CONF. MANANTIALES C.F.E.-PALO ESCRITO, TEMIXCO	s	1 210	17.40	24.0
32	CONF. MANANTIALES C.F.E.-PALO ESCRITO, TEMIXCO	d	1 209	17.43	23.0
33	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-APATLACO, XOCHITEPEC	s	1 052	25.10	24.0
34	CONFLUENCIA PALO ESCRITO-APATLACO, XOCHITEPEC	d	1 050	20.40	24.0
35	CONFLUENCIA TETLAMA-APATLACO, APOTLA	A	970	28.50	23.0
36	CONFLUENCIA TETLAMA-APATLACO, APOTLA	s	967	28.45	22.0
37	CONFLUENCIA TETLAMA-APATLACO, APOTLA	d	965	28.58	22.0
38	5a DERIVACION ZACATEPEC	A	940	32.90	28.0
39	ENTRADA DEL RIO A ZACATEPEC, ZACATEPEC	A	920	36.85	22.0
40	CONFLUENCIA POZA ONDA-APATLACO, ZACATEPEC	D	923	37.07	23.0
41	CONFLUENCIA INGENIO E, ZAPATA-APATLACO.ZACATEPEC	A	910	38.20	25.0
42	CONFLUENCIA INGENIO E, ZAPATA-APATLACO.ZACATEPEC	D	910	38.22	38.0
43	CONFLUENCIA INGENIO E, ZAPATA-APATLACO.ZACATEPEC	d	910	38.25	34.0
44	PUENTE JOJUTLA, JOJUTLA	A	890	42.80	34.0

* LOS MUESTREOS SE REALIZARON:

A = ANTES

D = SOBRE LA DESCARGA

s = SOBRE EL AFLUENTE

d = DESPUÉS DE LA CONFLUENCIA

** DISTANCIA A PARTIR DEL SITIO NO. 1 EN EL LUGAR DONDE CONFLUYEN.

Cuadro 5. Resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de la cuenca del río Apatlaco.

SITIO No.	COLIF. FECALES NMP/100ml	DBO ₅ A20°C mg/L	OXI. DIS. mg/L	SAAM DETERGENTES mg/L	GyA mg/L	SOL. SED. mg/L	SOL. SUSP. TOT. mg/L	N NH3 mg/L	pH
1	35x10 ⁴	8.80	6.69	0.17	20.50	0.0	0.20	12.20	8.3
2	>24x10 ⁴	43.90	5.48	2.65	37.00	0.30	36.00	2.00	7.3
3	>24x10 ⁴	58.50	6.40	2.22	24.00	0.20	0.32	1.20	7.3
4	65x10 ⁴	361.00	0.00	1.67	66.00	21.50	285.00	1.30	6.6
5	>24x10 ⁴	103.80	3.00	5.47	18.00	1.50	74.00	6.30	7.1
6	>24x10 ⁴	165.00	3.70	12.00	46.00	1.00	138.00	10.90	6.9
7	>24x10 ⁴	32.70	2.63	3.82	28.70	0.30	27.00	5.40	7.2
8	>24x10 ⁴	10.20	5.50	4.35	23.00	0.50	22.00	4.50	7.4
9	>24x10 ⁴	35.40	4.87	3.47	24.00	0.30	20.00	2.50	7.2
10	>24x10 ⁴	37.60	4.40	5.10	48.00	0.30	22.00	2.70	7.5
11	>24x10 ⁴	27.30	6.10	3.70	36.00	0.50	14.00	3.00	7.4
12	>24x10 ⁴	54.40	4.26	2.71	25.20	2.70	47.00	2.10	7.1
13	>24x10 ⁴	23.00	3.24	6.45	22.50	0.20	18.00	4.50	7.2
14	>24x10 ⁴	42.80	3.20	3.25	37.20	3.50	34.00	2.10	7.1
15	>24x10 ⁴	34.00	4.90	4.00	22.80	0.70	13.00	2.30	7.40
16	>24x10 ⁴	46.80	4.60	4.86	26.50	0.50	26.00	22.10	7.40
17	>24x10 ⁴	33.60	4.50	4.50	17.00	0.40	35.00	1.70	7.30
18	>54x10 ⁴	44.40	3.00	1.42	8.80	0.00	42.00	0.00	8.40
19	>24x10 ⁴	29.80	2.60	4.61	12.50	0.30	23.00	4.60	7.20
20	>24x10 ⁴	41.50	4.10	3.07	26.50	0.30	23.00	3.50	8.30
21	>24x10 ⁴	24.30	4.30	6.80	13.00	0.10	26.00	1.70	7.60
22	16x10 ⁴	23.40	4.00	5.65	10.00	0.10	24.00	0.00	8.30
23	24x10 ⁴	17.50	2.60	0.15	17.80	0.00	17.00	0.00	7.30
24	35x10 ⁴	197.40	0.30	9.19	33.50	2.50	83.00	21.10	7.30
25	92x10 ⁴	106.70	0.00	5.96	50.60	1.10	113.00	9.60	7.20
26	24x10 ⁴	536.00	0.00	5.50	54.50	8.10	2.78	39.80	7.10
27	>24x10 ⁴	443.00	0.00	4.80	50.00	9.50	3.70	46.80	6.90
28	13x10 ⁴	500.00	0.00	5.40	75.00	41.00	1060.00	35.10	7.20
29	490	0.30	7.10	0.10	16.00	0.00	0.00	0.00	6.70
30	>24x10 ⁴	296.80	0.00	3.97	40.00	4.20	207.00	21.40	7.10
31	92x10 ⁴	42.70	2.00	0.97	115.0	0.70	12.00	2.50	6.90
32	>24x10 ⁴	138.70	0.00	1.31	59.50	1.10	138.00	7.50	6.80
33	54x10 ⁴	132.00	5.50	0.13	94.70	0.00	7.00	0.20	7.00
34	17x10 ⁴	26.35	7.10	0.17	19.80	0.00	14.00	0.00	7.00
35	130	35.10	4.10	0.82	62.50	3.50	160.00	1.80	7.90
36	1800	8.90	6.30	0.18	56.50	0.00	14.00	0.00	7.70
37	170	42.40	4.90	0.87	46.00	4.00	123.00	0.50	8.00
38	780	37.60	8.00	0.20	15.00	0.00	10.00	0.20	8.00
39	36x10 ⁴	33.60	3.30	0.81	45.00	5.00	237.00	2.50	7.40
40	21x10 ⁴	70.80	1.50	1.56	65.00	3.00	97.00	1.40	7.00
41	>24x10 ⁴	178.40	2.40	0.83	163.0	1.70	234.00	1.10	7.20
42	>24x10 ⁴	292.40	0.00	0.35	193.2	3.00	134.00	0.20	5.90
43	81x10 ⁴	284.00	2.00	0.68	41.20	7.00	434.00	1.70	7.30
44	35x10 ⁴	282.00	0.00	0.74	67.50	10.50	235.00	3.80	7.40

Según los análisis obtenidos de DBO₅, se observa que los valores más altos se presentan en las descargas, especialmente las del Ingenio Azucarero Emiliano Zapata, ECCACIV y UNIPAK en los puntos 42, 26 y 4 respectivamente. En la subcuenca del río Palo Escrito casi todos los valores son mayores de 60 mg/L de DBO. El valor mínimo en esta subcuenca lo presenta el punto 33 que es justamente el que afluye al río Apatlaco. Al inicio de la corriente, a partir de la Presa de Chapultepec, los valores de DBO se incrementan rápidamente por la aportación continua de descargas de tipo industrial (UNIPAK) y domésticas. Posteriormente se presentan altibajos en éstos valores, siendo un promedio general de 30 a 40 mg/L. Hasta antes de las descargas de Zacatepec los valores de DBO tienden a reducirse, sin embargo, después de las descargas de esta ciudad y de la descarga del Ingenio Emiliano Zapata los valores de DBO se incrementan de 30 a 400 mg/L; con este último valor afluye al río Yautepec.

Los valores de oxígeno disuelto en la subcuenca del río Palo Escrito, son prácticamente de cero, a excepción del punto 29, correspondiente a un manantial, por lo que su DBO es cero y su oxígeno disuelto es de 7 mg/L.

Las descargas de UNIPAK y del ingenio presentan la extinción total de oxígeno y de igual manera esto se tiene en la afluencia del río Apatlaco con el río Yautepec. El promedio general de oxígeno disuelto es de 4 mg/L.

Referente a la presencia de detergentes en la corriente principal, se tiene que los valores más altos se presentan durante los primeros kilómetros de recorrido, que corresponden a la zona más urbanizada. Después de la confluencia con el río Palo Escrito, en el punto 23, los valores se reducen considerablemente con un promedio aproximado de 1 mg/L.

Los detergentes en la subcuenca del río Palo Escrito, el promedio aproximado es de 4 mg/L, debido a la presencia de zonas urbanas en sus dos márgenes.

En general en esta subcuenca a excepción del punto 29, se tienen los valores más altos y constantes de DBO, detergentes, grasas y aceites, sólidos sedimentados, sólidos suspendidos totales y nitrógeno amoniacal; y los valores mínimos de oxígeno disuelto.

Los valores de grasas y aceites, sólidos sedimentados y sólidos suspendidos totales, se incrementan en general en los últimos sitios de estudio, justo antes de la confluencia con el río Yautepec.

El nitrógeno amoniacal en promedio se presenta con valores de 4 a 5 mg/L en el área más urbanizada aledaña al río Apatlaco. Posteriormente éstos valores presentan altibajas durante su recorrido. Finalmente con este mismo promedio afluye al río Yautepec.

En este trabajo se tratará de adecuar la información disponible sobre la calidad del agua superficial a nivel fácilmente manejable y comprensible para la mayoría de las personas, mediante el uso de un "Índice de Calidad" que uniformiza y pondera los principales parámetros indicadores de contaminación del agua.

La metodología usada es sencilla y requiere datos del análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua, generados por las estaciones de monitoreo en intervalos de tiempo regulares. La presentación de resultados se hace mediante planos y gráficas que representan la variación espacial y temporal del índice, respectivamente.

La información obtenida constituye un panorama de gran visión, adecuado para fines de planeación y mejoramiento de la calidad de las aguas.

Para calificar la calidad del agua, se utilizaron nueve parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Estos parámetros son: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, sólidos suspendidos totales, detergentes, grasas y aceites, coliformes fecales, sólidos sedimentables y nitrógeno amoniacal.

La metodología se basa en establecer una escala de calificación de cero a cien en valores que corresponden al que denominaremos Índice de Calidad del Agua, donde se le asigna el valor de cero al agua muy contaminada, nociva para cualquier uso y el valor de cien al agua que está en excelentes condiciones de calidad, para todos los usos. Los valores intermedios de esta escala, se emplean para calificar niveles de calidad del agua comprendidos entre las condiciones extremas mencionadas.

Las limitaciones que impone el deterioro de la calidad del agua, a los diferentes usos de éstas, pueden indicarse con los valores del Índice de Calidad, de acuerdo a los criterios presentados en la lámina 4.

Lámina 4. Escala general de evaluación de calidad del agua para diferentes usos.

	ABASTESIMI- ENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION	TRANSP. DESECHOS TRATADOS
100	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE	ACEPTABLE
80	LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS		
60	NECESIDAD DE TRATAMIENTO	NO RECOMENDA- BLE	EXCEPTO ESPECIES SENSIBLES	SIN TRATAMIENTO PARA LA INDUSTRIA		
50			DUDOSO CONTACTO CON AGUA				DUDOSO ESPECIES SENSIBLES
40	DUDOSO	SIN CONTACTO CON AGUA	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA		
30	NO ACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO	NO ACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO	RESTRINGIDO	
20		NO ACEPTABLE		NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	
10		NO ACEPTABLE		NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE	NO ACEPTABLE
0						

El índice de calidad determinado para cada parámetro se le denomina Índice de Calidad Individual.

Por otra parte, también se asignan pesos o índices de importancia relativa a los diferentes parámetros, de acuerdo a los problemas que evalúa cada parámetro. En la lámina 5, se presentan las funciones de estandarización antes mencionadas, los pesos de importancia relativa y las unidades en que deben expresarse los parámetros para emplear las funciones señaladas.

Lámina 5. Parámetros, pesos de importancia relativa, funciones para obtener los índices de calidad individual y unidades en que deben expresarse los parámetros.

PARAMETRO	PESO	FUNCION	UNIDAD	
pH	1	$10^{0.2235pH + 0.44}$ 100 $10^{4.22 - 0.29pH}$	pH < 6.7 pH = 7.3 pH > 7.3	1 - 14
OXIGENO DISUELTO	5	$100 * 0.D. / (14.4918 - 0.3838T + 0.0064T^2)$		mg/L
DBO ₅	5	$107 * (DBO_5)^{-0.842}$		mg/L
SOLIDOS DISUELTOS	0.5	$109.1 - 0.0175 * S.D.$		mg/L
SOLIDOS SUSPENDIDOS	1	$266.5 * (S.S.)^{-0.37}$		mg/L
DETERGENTES	3	$100 - 16.687 * D + 0.1587 * (D)^2$		mg/L
GRASAS Y ACEITES	2	$87.25 * (G + A)^{-0.2881}$		mg/L
NITROGENO AMONICAL	2	$45.8 * (N NH_3)^{-0.343}$		mg/L
COLIFORMES FECALES	4	$100 * (C.F.)^{-0.3}$		ORG/ml
FOSFATOS	2	$34.215 * (PO_4)^{-0.44}$		mg/L
NITROGENO DE NITRATO	2	$162.2 * (N NO_3)^{-0.343}$		mg/L
COLOR	1	$128 * (C)^{-0.288}$		
TURBIEDAD	0.5	$108 * (Tu)^{-0.178}$		JACKSON
COLIFORMES	3	$100 * (COL.)^{-0.3}$		ORG/ml
DUREZA	1	$10^{1.874 - 0.00133 * D_0}$		mg/L
CLORUROS	0.5	$490.4 * (U)^{-0.307}$		mg/L
ALCALINIDAD		$105 * (a)^{-0.188}$		mg/L
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA		$540 * (CE)^{-0.378}$		mg/L

Finalmente, considerando todos los parámetros mencionados se obtiene una calificación promedio de la calidad del agua, que se denomina Índice de Calidad Global y que es un promedio pesado de los índices de calidad individuales, que se expresa con la fórmula siguiente:

$$I G = \frac{\sum_{i=1}^{16} I_i P_i}{\sum_{i=1}^{16} P_i}$$

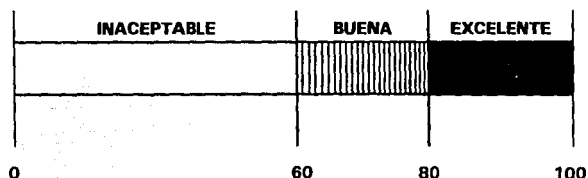
Donde: IG = Índice de calidad global
 I_i = Índice de calidad individual, parámetro i
 P_i = Peso de importancia relativa, parámetro i

En el cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos por la aplicación de las fórmulas de la lámina 5, para la determinación de los índices de calidad individuales de cada parámetro.

En el cuadro 8 se presentan los resultados de los promedios de los índices de calidad individual de cada parámetro, llamado Índice de Calidad Global.

Para facilitar la comunicación se asocia a los valores obtenidos para el índice de calidad, global o individual, una escala con achuraciones para representar el grado de contaminación a lo largo del río, como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Representación de los índices de calidad del agua por medio de achuraciones



La metodología a seguir para la obtención de los índices de calidad individual y global en el primer sitio de muestreo se da a continuación, utilizando sus funciones principales:

SITIO No. 1

INDICES DE CALIDAD INDIVIDUAL

Coliformes Fecales (C.F. = org / ml)

$$I.C.I._{C.F.} = 100 * (C.F.)^{-0.3}$$

Donde: $I.C.I._{C.F.}$ = Índice de calidad individual en el parámetro de coliformes fecales.

C.F. = Coliforme fecal obtenido del análisis fisicoquímico y bacteriológico del cuadro 5

$$I.C.I._{C.F.} = 100 * (35 \times 10^2)^{-0.3} = 8.645$$

Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días (DBO = mg / L)

$$I.C.I._{DBO} = 107 * (DBO)^{-0.642}$$

$$I.C.I._{DBO} = 107 * (8.80)^{-0.642} = 26.486$$

Oxígeno Disuelto (O.D. = mg / L)

$$I.C.I._{O.D.} = \frac{100 * O.D.}{(14.4918 - 0.3838 T + 0.0064 T^2)}$$

Donde: T = temperatura en °C = 19.9 °C

$$I.C.I._{O.D.} = \frac{100 * 6.69}{(14.4918 - 0.3838 * 19.9 + 0.0064 * (19.9)^2)} = 71.256$$

Detergentes (D = mg / L)

$$I.C.I._D = 100 - 16.687 * D + 0.1587 * (D)^2$$

$$I.C.I._D = 100 - 16.687 * 0.17 + 0.1587 * (0.17)^2 = 97.167$$

Grasas y Aceites (G Y A = mg / L)

$$I.C.I._{G Y A} = 87.25 * (G Y A)^{-0.2981}$$

$$I.C.I._{G Y A} = 87.25 * (20.5)^{-0.2981} = 35.459$$

Sólidos Disueltos (S.D. = mg / L)

$$I.C.I._{S.D.} = 109.1 - 0.0175 * S.D.$$

$$I.C.I._{S.D.} = 109.1 - 0.0175 * 0 = 109.1 = 100$$

Sólidos Suspendidos Totales (S.S. = mg / L)

$$I.C.I._{S.S.} = 266.5 * (S.S.)^{-0.37}$$

$$I.C.I._{S.S.} = 266.5 * (0.2)^{-0.37} = 483.41 = 100$$

Nitrógeno Amoniacal (N NH₃ = mg / L)

$$I.C.I._{N NH_3} = 45.8 * (N NH_3)^{-0.343}$$

$$I.C.I._{N NH_3} = 45.8 * (12.20)^{-0.343} = 19.419$$

Potencial de Hidrógeno (pH)

$$I.C.I._{pH} = 10^{(4.22 - 0.29 * pH)}$$

$$I.C.I._{pH} = 10^{(4.22 - 0.29 * 8.3)} = 65.013$$

INDICE DE CALIDAD GLOBAL

$$IG = \frac{\sum_{i=1}^{16} I_i P_i}{\sum_{i=1}^{16} P_i}$$

$$\sum_{i=1}^9 I_i P_i = 8.64 * 4 + 26.48 * 5 + 71.25 * 5 + 97.16 * 3 + 35.46 * 2 +$$

$$100 * 0.5 + 100 * 1 + 19.42 * 2 + 65.01 * 1 = 1139.46$$

$$\sum_{i=1}^9 P_i = 4 + 5 + 5 + 3 + 2 + 0.5 + 1 + 2 + 1 = 23.5$$

$$IG = \frac{1139.46}{23.5} = 48.4876$$

Cuadro 7. Resultados de los índices de calidad individual

SITIO No.	COLIF. FECALLES NMP/100ml	DBO ₅ A20°C mg/L	OXI. DIS. mg/L	SAAM DETER-GENTES mg/L	GyA mg/L	SOL. SED. mg/L	SOL. SUSP. TOT. mg/L	N NH3 mg/L	pH
1	8.64	26.48	71.25	97.16	35.46	100	100	19.42	65.01
2	2.43	9.45	58.99	56.90	29.73	100	70.77	36.11	100
3	2.43	7.85	68.35	63.73	33.83	100	100	43.02	100
4	1.80	2.44	0	72.57	25.02	100	32.49	41.86	90.73
5	2.43	5.43	33.15	13.47	36.86	100	54.21	24.36	100
6	2.43	4.03	41.58	0	27.86	100	43.04	28.18	100
7	4.85	11.40	28.75	38.57	32.07	100	78.72	25.68	100
8	2.43	24.09	60.13	30.41	34.26	100	84.92	27.34	100
9	2.43	10.84	53.81	44.00	33.83	100	87.96	33.45	100
10	4.85	10.42	48.11	19.02	27.51	100	84.92	32.57	100
11	2.43	12.80	66.70	40.43	30.00	100	100	31.42	100
12	2.43	8.22	47.07	55.94	33.34	100	64.12	35.51	100
13	2.43	14.29	36.13	0	34.50	100	91.46	27.34	100
14	2.43	9.60	35.36	47.44	29.70	100	72.28	35.51	100
15	4.85	11.12	53.57	35.80	34.44	100	100	34.42	100
16	2.43	9.06	50.30	25.68	32.84	100	79.83	35.51	100
17	2.43	11.20	49.20	28.12	37.50	100	71.51	38.18	100
18	3.80	41.33	34.31	76.62	45.62	100	66.85	100	60.8
19	2.43	12.10	28.43	26.44	41.09	100	83.53	27.13	100
20	2.43	9.78	46.78	50.26	32.84	100	83.53	29.80	65.01
21	4.85	13.80	48.33	0	40.61	100	79.83	38.18	00
22	5.48	14.13	45.26	10.78	43.92	100	82.22	100	65.0
23	9.68	17.03	29.22	97.50	36.92	100	93.42	100	100
24	2.17	3.60	3.37	0	30.63	100	49.81	16.10	100
25	0.81	5.33	0	6.18	27.08	100	46.35	21.10	100
26	1.22	1.89	0	13.02	26.49	100	100	12.93	100
27	0.153	2.14	0	23.56	27.18	100	100	12.24	100
28	0.37	2.00	0	14.51	24.08	100	20.24	13.51	100
29	15.60	100	77.63	98.33	38.18	100	100	100	100
30	0.61	2.78	0	36.25	29.05	100	37.05	16.01	100
31	3.24	9.61	22.30	83.96	21.20	100	100	33.45	100
32	1.22	4.61	0	78.41	25.81	100	43.04	22.94	100
33	7.60	4.65	61.33	97.83	22.47	100	100	79.54	100
34	10.73	13.10	79.18	97.16	35.93	100	100	100	100
35	23.22	10.89	46.30	86.42	25.43	100	40.75	37.43	84.9
36	10.55	26.30	68.90	97.00	26.21	100	100	100	97.0
37	21.42	9.65	53.57	88.90	27.86	100	44.92	58.10	79.4
38	13.51	10.42	91.30	96.67	38.82	100	100	78.54	79.4
39	4.30	11.20	36.08	86.58	28.05	100	35.24	33.45	100
40	5.05	7.00	16.57	74.35	25.14	100	49.04	40.81	100
41	2.43	3.83	26.97	86.26	19.11	100	35.41	44.32	100
42	2.43	2.80	0	94.18	18.16	100	43.51	79.54	65.71
43	3.37	2.84	22.62	88.72	28.80	100	28.17	38.18	00
44	1.09	2.86	0	87.74	24.86	100	35.35	26.97	10

Cuadro 8. Resultados de los índices de calidad global.

SITIO No.	INDICE GLOBAL
1	48.48
2	37.23
3	41.94
4	23.15
5	24.24
6	22.42
7	28.94
8	37.45
9	35.64
10	30.81
11	38.35
12	34.29
13	26.68
14	31.04
15	35.66
16	31.92
17	32.72
18	46.47
19	28.15
20	32.64
21	30.53
22	35.58
23	45.94
24	14.33
25	14.51
26	16.26
27	17.48
28	12.78
29	75.40
30	17.11
31	33.35
32	23.54
33	47.14
34	56.07
35	39.76
36	55.69
37	43.18
38	56.13
39	34.96
40	29.45
41	31.26
42	28.12
43	30.60
44	24.46

Según los análisis obtenidos del índice de calidad del agua, se observa que a todo lo largo del río Apatlaco, existe una mala calidad del agua, como se muestra en el plano de la lámina 6.

De acuerdo con la lámina 4, la escala general de evaluación de la calidad del agua para uso general, se observa una fuerte contaminación e inaceptable para uso general; según el uso del agua para la industria y la agricultura, debe de tenerse un tratamiento previo para la mayoría de las industrias y para el uso agrícola o restringir el uso de está.

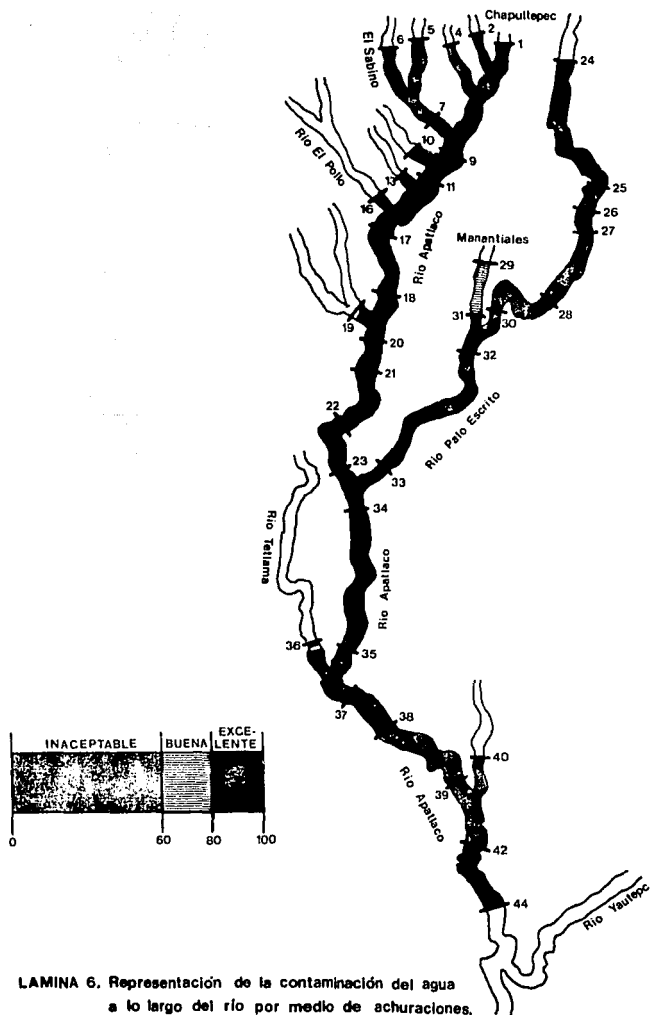
En la parte alta del río Apatlaco, comprendida entre el inicio de la corriente de los manantiales Chapultepec, y la confluencia con el río Palo Escrito, las principales fuentes de contaminación son las descargas de las poblaciones de Cuernavaca, Temixco, Jiutepec y Emiliano Zapata y las descargas de origen industrial de la planta de tratamiento de ECCACIV.

En Cuernavaca la descarga industrial de UNIPAK presentó una DBO de 361 mg/L y la descarga de la barranca El Sabino presento un valor de 165 mg/L. La planta de ECCACIV tuvo una DBO de 536 mg/L.

En la subcuenca del río Palo Escrito, los tramos comprendidos entre el Puente Blanco y la confluencia con los manantiales de Temixco, el valor de oxígeno disuelto resulto totalmente extinto y la DBO promedio fue de 277 mg/L. Esta zona es de las más afectadas en la cuenca.

En la parte media del río, comprendida a partir de la confluencia con el río Palo Escrito, hasta la confluencia con el arroyo Poza Onda, antes de la ciudad de Zacatepec, la contaminación apartada es relativamente poca, y por tanto el deterioro de la calidad del agua lo provocan las descargas de la parte alta, debido a que la DBO en el río Palo Escrito y Tetlama es de 132 y 8.9 mg/L respectivamente y la DBO promedio en la parte media del río es de 36 mg/L.

En la parte baja, comprendida entre las descargas de la ciudad de Zacatepec hasta la confluencia con el río Yautepec, la contaminación principal es la descarga de la población de Zacatepec y la descarga industrial del ingenio azucarero, el cual tiene valores de DBO de 292 mg/L.



LAMINA 6. Representación de la contaminación del agua a lo largo del río por medio de achuraciones.

2.3 APLICACION DE LA NORMATIVIDAD POR SECCIONES

Para la aplicación de las Normas Oficiales Mexicanas en Materia de protección ambiental a lo largo del río Apatlaco, se tomaron en cuenta los principales usos y descargas más importantes a lo largo de éste. El principal uso que se le da al agua del río, es el de riego agrícola; las descargas más importantes son, de tipo industrial que son la del ingenio azucarero y las de diferentes poblaciones, por lo cual se aplicarán las normas para establecer los límites máximos permisibles a este tipo de descargas y corregir la afectación al medio ambiente por el incumplimiento de estas normas.

La norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria productora de azúcar de caña, es la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-002-ECOL/1993, que fundamentalmente dice:

Las descargas de aguas residuales en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en los terrenos, provenientes de la industria productora de azúcar de caña, deben cumplir con las especificaciones que se indican en el cuadro 9.

Cuadro 9. Especificaciones que debe cumplir la industria productora de azúcar de caña en sus descargas.

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/L)	60	72
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	1.2
Grasas y aceites (mg/L)	15	20
Fenoles (mg/L)	0.5	0.75

NORMAS OFICIALES MEXICANAS, 1993.

Para fines de la presente norma se entenderá por límite máximo permisible promedio diario, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de esta industria; y por límite máximo permisible instantáneo, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras instantáneas de las aguas residuales provenientes de esta industria.

Una muestra simple es la que se tome ininterrumpidamente durante el período necesario para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que éste resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el momento del muestreo; y una muestra compuesta, la que resulta de mezclar varias muestras simples.

Los límites máximos permisibles de coliformes totales medidos como número más probable por cada 100 ml en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria productora de azúcar de caña son:

- 10,000 como límite promedio diario y 20,000 como límite instantáneo cuando se permita el escurrimiento libre de las aguas residuales de servicios o se descarga a un cuerpo receptor, mezcladas con las aguas residuales del proceso industrial.
- Sin límite, en el caso de que las aguas residuales de servicios se descarguen separadamente y el proceso para su depuración prevea su infiltración en terreno, de manera que no se cause un efecto adverso en los cuerpos receptores.

Las condiciones particulares de descarga se utilizarán en caso de que se identifiquen descargas que apesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en estas normas causen efectos negativos en el cuerpo receptor, la Comisión Nacional del Agua, fijará condiciones particulares de descarga para señalar límites máximos permisibles más estrictos de los parámetros mencionados en el cuadro 9; además, podrá establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los siguientes parámetros:

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| - Color | - Materia flotante |
| - Conductividad eléctrica | - Nitrógeno total |
| - Cloro libre residual | - Temperatura |
| - Cromo total | - Tóxicos orgánicos |
| - Demanda química de oxígeno | - Fósforo total |

La norma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola, es la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032-ECOL/1993, que fundamentalmente dice:

Considerando que las aguas residuales de origen urbano o municipal sin tratamiento o mezcladas, son utilizadas en gran proporción para el riego agrícola, por lo que para prevenir el deterioro ecológico y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población, es necesario fijar los parámetros físicos, químicos y en su caso bacteriológicos de los mismos.

Las descargas de aguas residuales de origen urbano o municipal que se dispongan mediante riego agrícola, deben cumplir con las especificaciones que se indican en el cuadro 10.

Cuadro 10. Especificaciones que deben cumplir las aguas residuales de origen urbano o municipal utilizadas para riego agrícola.

PARAMETRO	LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES
pH (unidades de pH)	6.5 a 8.5
Conductividad eléctrica (micromhos/cm)	2000
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	120
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	120
Aluminio (mg/L)	5.0
Arsénico (mg/L)	0.1
Boro (mg/L)	1.5
Cadmio (mg/L)	0.01
Cianuros (mg/L)	0.02
Cobre (mg/L)	0.2
Cromo total (mg/L)	0.1
Hierro (mg/L)	5.0
Fluoruros (mg/L)	3.0
Manganeso (mg/L)	0.2
Níquel (mg/L)	0.2
Plomo (mg/L)	5.0
Selenio (mg/L)	0.02
Zinc (mg/L)	2.0

NORMAS OFICIALES MEXICANAS, 1993.

Para las condiciones particulares de descarga se tiene que identificar descargas que a pesar del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en esta norma causen efectos negativos en el cuerpo receptor (entendiéndose a éste como el terreno de cultivo), la Comisión Nacional del Agua, fijará condiciones particulares de descarga para señalar límites máximos permisibles más estrictos de los parámetros del cuadro 10, además podrá establecer límites máximos permisibles si lo considera necesario, en los siguientes parámetros:

- Demanda química de oxígeno
- Fósforo total
- Grasas y aceites
- Nitrógeno total
- Metales pesados
- Relación de adsorción de sodio
- Temperatura
- Sustancias activas al azul de metileno
- Tóxicos orgánicos

La norma que establece las condiciones bacteriológicas para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, en el riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, es la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-033-ECOL/1993.

Considerando que las aguas residuales de origen urbano y municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, sean utilizadas en gran proporción para el riego de cultivos hortícolas, hortofrutícolas y otros productos que se consumen crudos, y considerando que las mismas contienen microorganismos patógenos que puedan afectar la salud humana, es necesario determinar las condiciones bacteriológicas para su uso y asegurar una calidad de agua satisfactoria para el bienestar de la población.

Para efectos de esta norma, se asumen las siguientes definiciones:

1.- Hortalizas.-

Son la acelga, ajo, apio, berro, betabel, brócoli, cebolla, cilantro, col, coliflor, epazote, espinaca, frijol ejotero, hierbabuena, hongo, lechuga, pápalo, perejil, quelite, quintonil, rábano, zanahoria, pepinillo pickle, pepino, calabacita, jitomate, tomate y tomate verde. Se adicionaron a las hortalizas los siguientes frutos: fresa, jícama, melón, sandía y zarcamora.

2.- Productos hortofrutícolas.-

Las señaladas en el punto anterior y todas las demás hortalizas y frutos en general.

Las restricciones de las aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua, que se dispongan a través de su uso en el riego de hortalizas de consumo crudo, en lo relativo a parámetros bacteriológicos se clasifican en los siguientes tipos para efectos de determinar las clases de cultivos no permitidos:

- I. Tipo 1.- La que contenga menos de 1000 coliformes totales por cada 100 ml. y ningún huevo de helminto viable por litro de agua.**
- II. Tipo 2.- La que contiene de 1 a 1000 coliformes fecales por cada 100 ml. y cuando mas 1 huevo viable de helminto por litro de agua.**
- III. Tipo 3.- La que contiene 1001 a 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml.**
- IV. Tipo 4.- La que contiene más de 100,000 coliformes fecales por cada 100 ml.**

La Comisión Nacional del Agua, otorgará autorizaciones, permisos y concesiones para el uso de aguas residuales de origen urbano o municipal o de la mezcla de éstas con la de los cuerpos de agua en riego de hortalizas y productos hortofrutícolas, a las condiciones que a continuación se indican en el cuadro 11.

Cuadro 11. Condiciones que deben cumplir las descargas de aguas residuales de origen urbano municipal o la mezcla de estas con la de los cuerpos de agua en riego de hortalizas y productos hortofrutícolas.

TIPO DE RIEGO	TIPO DE AGUA	INTERVALO DE TIEMPO MINIMO (días) ENTRE EL ULTIMO RIEGO Y LA COSECHA	CULTIVOS NO PERMITIDOS
I N U N D A C I O N	1	20	Todas las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto ajo, frijol ejotero, pepinillo pickle, pepino, jicama, melón y sandía.
	2	20	Las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto melón y sandía.
	3	20	Las hortalizas señaladas en el punto 1.
	4	20	Los productos hortofrutícolas señalados en el punto 2.
S U R C O	1	15	Las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto ajo, frijol ejotero, pepino, pepinillo pickle, jicama, melón y sandía, así como el tomate verde.
		20	Libre cultivo
	2	20	Las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto ajo, pepino, jicama, melón y sandía, así como el tomate verde.
	3	20	Las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto melón y sandía.
	4	20	Los productos hortofrutícolas señalados en el punto 2.
A S P E R S I O N	1	20	Las hortalizas señaladas en el punto 1, excepto ajo, pepino, pepinillo pickle, jicama, melón y sandía.
	2	20	Los productos hortofrutícolas señalados en el punto 2.
	3		
	4		

2.4 CAPACIDAD DE AUTOPURIFICACION

Todas las sustancias orgánicas son capaces de oxidarse (biodegradarse) con la participación de determinados organismos, realizándose esta oxidación a distinta velocidad de unas sustancias a otras, dependiendo fundamentalmente de su composición y estructura, así como de la concentración de las sustancias, temperatura del agua, etc. El conocimiento de la velocidad de la biodegradación es imprescindible para poder prever el comportamiento que puede tener, y el daño que se puede realizar a un río, un determinado vertido de aguas residuales con materia orgánica.

La cantidad de oxígeno consumido por el agua residual almacenada, conteniendo materia orgánica, depende del tiempo de almacenamiento, y que este consumo de oxígeno es realizado biológicamente dependiendo no sólo de la cantidad de oxígeno utilizado, sino también de la velocidad con que se utiliza.

Por otra parte, desde hace mucho tiempo se sabe que si las aguas de un río se contaminan en un punto determinado del mismo, vuelven a recobrar su pureza inicial, sin intervención de la mano del hombre, en otro punto, más o menos alejado del primero, aguas abajo según la carga contaminante admitida.

El término autopurificación está definido como el restablecimiento, por medios naturales del estado de pureza de un río después de una descarga de materia contaminante en él. En un sistema natural, la materia orgánica es asimilada por diferentes procesos incluyendo sedimentación, la cual se ve mejorada por la floculación física o biológica, oxidación química y la muerte de microorganismos entéricos y patógenos por exposición a la luz del sol. La capacidad de asimilación de un río así como la extensión en la cual pueda recibir desechos sin algún deterioro significativo en su calidad (usualmente en la concentración de oxígeno disuelto), varía en relación a cada corriente debido a la capacidad autopurificadora.

En la autopurificación de las aguas contaminadas de los ríos se contemplan tres aspectos: el fisicoquímico, el biológico y el termodinámico, aunque todos ellos están estrechamente ligados.

Proceso biológico: Se llama autopurificación biológica al conjunto de reacciones biológicas que se realizan en el seno de las aguas contaminadas, como consecuencia de la actividad de los organismos presentes en estas aguas. La realización de estas reacciones biológicas trae como consecuencia la eliminación de determinados compuestos contaminantes mediante su oxidación, produciendo energía y/o biomasa.

El proceso más importante en la autpurificación es la oxidación bioquímica (el abatimiento de materia orgánica por microorganismos aerobios). La materia orgánica biodegradable es gradualmente eliminada de los ríos, debido a la acción bacteriana. Moléculas orgánicas complejas, son convertidas a moléculas simples en un proceso que requiere oxígeno. Este proceso de autpurificación es debido a microorganismos, colectivamente conocidos como PERIPHYTON, que son normalmente responsables de una gran remoción.

La solubilidad del oxígeno en el agua depende en mayor grado de tres factores: presión, temperatura y la concentración de minerales disueltos (salinidad). Mientras la concentración de oxígeno está afectada por factores tales como la temperatura, DBO_5 y salinidad, el agotamiento de oxígeno puede ser prevenido mediante aeración, además otras fuentes de oxígeno tales como la fotosíntesis pueden ser importantes bajo ciertas condiciones. Es importante saber que tan rápido se disuelve el oxígeno en el agua y esto depende en gran medida de la concentración de oxígeno existente en solución, en relación a la concentración de saturación (déficit de oxígeno).

Proceso fisicoquímico: En la autpurificación se realizan diversas reacciones fisicoquímicas que tienen una gran trascendencia en el desarrollo de este importantísimo proceso, como son la dilución y mezcla, sedimentación, sorción, transferencia de gases, pH, reacciones ácido-base, oxidación-reducción, formación de complejos, etc. Todos estos procesos unidos a las reacciones fotoquímicas y bioquímicas, son los que en definitiva realizan la autpurificación de las aguas.

Una vez que se ha incorporado un vertido a un cauce, y si se tomaran muestras de agua a intervalos dados, se observaría como algunos parámetros han variado a lo largo del tiempo de recorrido.

Dentro del proceso de autpurificación pueden establecerse a partir del punto de vertido cuatro zonas, que pueden definirse como sigue:

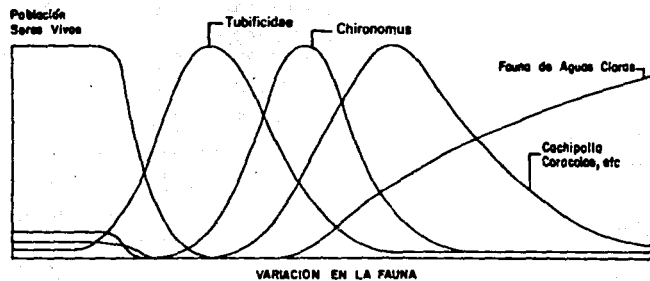
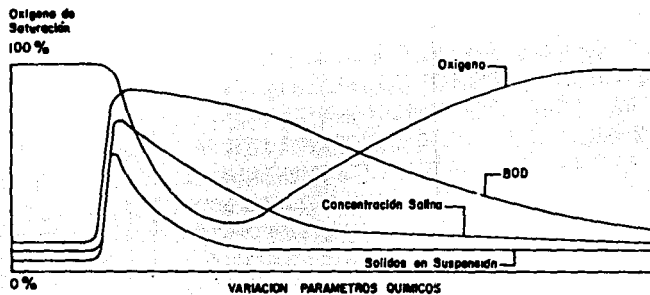
Zona de degradación. Se produce al incorporarse las aguas contaminadas al río, apareciendo sólidos flotantes, turbidez y reducción de oxígeno.

- **Zona de descomposición activa.** Baja el oxígeno a cero para subir lentamente, agua grisácea oscura, pueden darse condiciones sépticas, no viven peces, los organismos de descomposición orgánica trabajan activamente, pueden desprenderse gases como metano, hidrógeno, nitrógeno, ácido sulfhídrico y otros de mal olor, puede formarse espuma en la superficie. Cuando va disminuyendo la descomposición activa es cuando aumenta el oxígeno. En caso de fuerte contaminación y descomposición extremadamente activa puede retrasarse el paso a la zona siguiente.
- **Zona de recuperación.** Aumenta el oxígeno, aguas más claras, reaparición de la vida acuática macroscópica, disminución de hongos y aparición de algas, posibilidad de encontrar nitratos, sulfatos, fosfatos y carbonatos.
- **Zona de agua limpia.** Se restauran las condiciones de la corriente natural y el oxígeno disuelto está cerca de la saturación. Condiciones normales especialmente caracterizadas por la presencia de peces útiles para la pesca. Quedan las materias patógenas y parte de los compuestos metálicos, pues no se han alterado por los procesos bioquímicos existentes.

De un estudio de autopurificación se pretende conocer los cambios que se producen entre las sustancias contaminantes en el agua, la cantidad de sustancias que cambian y la velocidad a que se realiza este cambio.

Para determinar el grado de contaminación de cualquier cuerpo receptor, así como la capacidad de autopurificación del mismo, es necesario hacer una serie de estudios y análisis dentro de los cuales se debe aplicar una serie de modelos matemáticos los cuales son herramientas analíticas que nos permiten simular el comportamiento del cuerpo receptor y de esta forma determinar su grado de contaminación, capacidad de autopurificación, simular condiciones especiales y de esta forma predecir el comportamiento del agua.

La elección de estrategias y acciones correctivas para saneamiento de una corriente superficial afectada por el vertimiento de contaminantes en su cauce o la implantación de medidas preventivas para conservar la calidad de un cuerpo de agua, debería estar sustentada a la simulación del comportamiento de la calidad con respecto a la distancia y al tiempo, con el objeto de garantizar que sean realistas y eficaces a la vez.



Variación en las características de un cauce por un vertido

La forma más sencilla y aceptable para realizar una simulación de calidad del agua, es emplear modelos matemáticos correlacionando los parámetros de interés sanitario o ambiental de los que existen datos provenientes de mediciones y cuyos mecanismos de evolución en el medio acuático sean conocidos.

Al emplear un modelo matemático, deberá tomarse en cuenta que sólo va a proporcionar una representación aproximada de las condiciones reales, y que, mientras mayor precisión sea requerida, será mayor el número de elementos que deban agregarse al modelo, con las consiguientes complicaciones debidas al cúmulo de información requerida y por incrementarse significativamente las necesidades de tiempo para los cálculos a efectuar, de ahí que al escoger un modelo será suficiente o necesario con que se consideren las principales entradas y salidas de materia o energía al sistema.

Actualmente, se han desarrollado diferentes modelos para simular la calidad del agua en corrientes superficiales, contrados principalmente al comportamiento del oxígeno disuelto, ante la presencia de materia orgánica provenientes de distintos tipos de descargas de aguas residuales, en virtud de que el contenido de oxígeno disuelto es fundamental para el sostenimiento de la vida acuática aerobia, así como para cuales quiera de los usos a que el agua se destine.

Para efectuar el balance de oxígeno, algunos modelos consideran solamente las principales entradas y salidas, como la reaereación a través de la superficie del cuerpo de agua, la solubilidad en función de la temperatura y la remoción debido a la actividad microbiana (DBO) sobre la materia orgánica carbonosa. En cambio, modelos más detallados incluyen además la producción de oxígeno por la actividad fotosintética de las algas, la solubilidad en función de la presión barométrica y la remoción por oxidación de nitrógeno amoniacal en el proceso de nitrificación, por la demanda bioquímica de los sedimentos y por la respiración de las algas.

El trabajo que a continuación se presenta tiene como objeto evaluar uno de los sistemas de corrientes superficiales más contaminado de la República Mexicana, el de la cuenca del río Apatlaco, utilizando el modelo matemático de STREETER Y PHELPS, el cual determina la capacidad de asimilación y autopurificación de una corriente superficial. Para ello se dividió en tramos a la corriente principal y al río Palo Escrito (lámina 3), el cual por afluir al río Apatlaco se le consideró como una aportación.

El balance hidráulico de la cuenca del río Apatlaco se presenta en el cuadro 12.

CUADRO 12. BALANCE HIDRAULICO DE LA CUENCA DEL RIO APATLACO

TRAMO	ESTACIONES DE MUESTREO COMPRENDIDAS	APORTACION (m ³ /s)	EXTRACCION (m ³ /s)	GASTO (m ³ /s)	VELOCIDAD (m/s)	DISTANCIA (m)	TEMPERATURA (°C)	DBO1 (mg/L) *	DBO2 (mg/L) **	ASNM (m)
A	1,2,3 Y 4	0.408	0.000	0.486	0.324	1,800	20	98.45	96.58	1,400
B	8 Y 9	0.283	0.000	0.689	0.343	1,900	22	83.19	81.45	1,373
C	10 Y 12	0.169	0.000	0.858	0.397	1,800	22	66.36	64.50	1,351
D	13,14,15 Y 16	0.116	0.813	0.161	0.127	1,900	23	52.05	49.32	1,330
E	17A	0.431	0.000	0.592	0.330	800	22	33.60	33.10	1,290
F	17A Y 17B	0.000	0.274	0.318	0.330	800	29	33.10	32.86	1,201
F-1	17B Y 18	0.069	0.000	0.387	0.330	2,900	29	34.97	33.78	1,200
G	19 Y 20	0.289	0.000	0.676	0.350	1,300	28	33.79	32.85	1,202
H	20A - 21	0.050	0.000	0.726	0.350	1,400	25	24.30	23.40	1,176
I	21 Y 22	0.000	0.430	0.296	0.350	4,700	26	17.50	16.44	1,150
J	22 Y 23	0.000	0.293	-	-	-	25	-	-	1,080
K	23 - 33A	0.238	0.000	0.241	0.350	180	24	-	-	1,053
L	34 - 34A	0.685	0.000	0.926	0.268	6,400	24	26.35	23.80	1,050
M	34A - 35	0.182	0.000	1.108	0.268	2,100	23	36.00	35.10	970
N	37 Y 38A	0.460	0.000	1.339	0.421	4,600	28	42.00	39.85	965
O	38A Y 39	0.321	1.752	0.137	0.421	3,800	22	37.20	35.60	940
P	40A - 41	0.325	0.000	0.462	0.333	600	23	72.00	70.80	920
Q	41 - 43	0.200	0.000	0.662	0.333	1,900	34	292.4	287.0	910
R	43 - 44	0.000	0.390	0.272	0.333	600	25	287.0	284.0	910
S	44 - 45	0.176	0.000	0.448	0.333	1,700	25	288.0	282.0	8

* DBO1 = DBO_t al inicio del tramo

** DBO2 = DBO_t al final del tramo

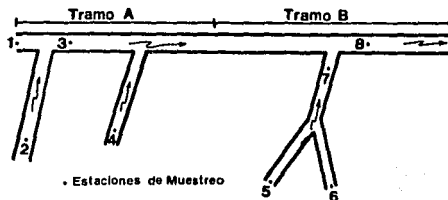
Características de la corriente:

V = 0,324 m/s

L = 1,800 m

V = 0,343 m/s

L = 1,900 m



La metodología para la aplicación del modelo matemático de STREETER Y PHELPS se da a continuación, aplicándose ya en la cuenca del río Apatlaco en sus primeros dos tramos de recorrido de la corriente.

TRAMO A

- Cálculo del tiempo de recorrido (T_R).

$$T_R = \left(\frac{L}{V} \right)$$

$$T_R = \left(\frac{1,800 / 0,324}{86,400} \right) = 0,064 \text{ días}$$

- Cálculo de la constante de desoxigenación (K_D).

Esta constante indica con que velocidad se consume el oxígeno disuelto para cada tramo del río como consecuencia de la degradación de la materia orgánica carbonosa, se obtiene con la aplicación de la siguiente ecuación:

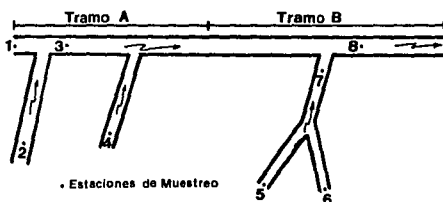
Características de la corriente:

V = 0,324 m/s

L = 1,800 m

V = 0,343 m/s

L = 1,900 m



La metodología para la aplicación del modelo matemático de STREETER Y PHELPS se da a continuación, aplicándose ya en la cuenca del río Apatlaco en sus primeros dos tramos de recorrido de la corriente.

TRAMO A

- Cálculo del tiempo de recorrido (T_R).

$$T_R = \left(\frac{L}{V} \right)$$

$$T_R = \left(\frac{1,800 / 0,324}{86,400} \right) = 0,064 \text{ días}$$

- Cálculo de la constante de desoxigenación (K_D).

Esta constante indica con qué velocidad se consume el oxígeno disuelto para cada tramo del río como consecuencia de la degradación de la materia orgánica carbonosa, se obtiene con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$K_D = \left(\frac{1}{T_R} \right) + \ln \left(\frac{DBO1}{DBO2} \right)$$

Donde: T_R = Tiempo de recorrido en días.

DBO1 = Demanda bioquímica de oxígeno (última) al inicio del tramo, en mg/L, (ver cuadro 12).

DBO2 = Demanda bioquímica de oxígeno al final del tramo, en mg/L, (ver cuadro 12).

$$K_D = \left(\frac{1}{0.064} \right) + \ln \left(\frac{98.45}{95.58} \right) = 0.462 \text{ d/a}^{-1}$$

- Corrección de K_D por temperatura.

La temperatura es uno de los más importantes factores en cualquier sistema biológico. Los cambios de temperatura producen aumento o reducción en la velocidad de reacción así como de la transferencia de oxígeno.

Tanto la producción estándar de la DBO como el cálculo de la tasa de reoxigenación se realiza a temperaturas estándar de 20°C. Por consiguiente cuando se requiere conocer las tasas de reacción y reoxigenación a diferentes temperaturas se emplea la expresión propuesta por Van 't Hoff-Arrhenius:

$$K_T = K_{20} * \theta^{T-20}$$

Los valores típicos para θ son:

K_D Tasa de desoxigenación: 1.047
 K_2 Tasa de reoxigenación: 1.024
 K_R Tasa de remoción de DBO: 1.047

Por lo tanto la formula es:

$$K_{DC} = K_D \cdot 1.047^{(T-20)}$$

$$K_{DC} = 0.462 \cdot 1.047^{(20-20)} = 0.462 \text{ día}^{-1}$$

- Obtención de la DBO_t en el tiempo "t" (L₂).

$$L_2 = DBO_1 \cdot e^{(-K_{DC} \cdot T_2)}$$

$$L_2 = 98.45 \cdot e^{(-0.462 \cdot 0.064)} = 95.58 \text{ mg/L}$$

- Cálculo del Oxígeno de Saturación (Cs).

El agua de un río a temperatura normal contiene muy poco oxígeno comparado con el del aire. En la atmósfera, las moléculas de gas se difunden o se mueven de un área de alta concentración a un área de baja concentración. De la misma manera, las moléculas de oxígeno se difunden a través de la interfase aire-agua hacia el agua donde se llega a disolver. Al mismo tiempo, el oxígeno se difunde en dirección opuesta, pero cuando el volumen de oxígeno difundido en cada dirección por unidad de tiempo es igual, entonces se dice que el agua esta en equilibrio y está saturado con oxígeno al 100 %.

El oxígeno de saturación se calculó con base a la fórmula 7 obtenida de la siguiente ecuación:

$$Cs = (14.652 - 0.3943T + 0.007714T^2 - 0.0000646T^3) \cdot \left(\frac{PB}{760}\right)$$

Donde: Cs = Oxígeno de saturación en mg/L

T = Temperatura en °C

PB = Presión barométrica en mm de Hg

Para una altura de 1,400 msnm y una temperatura de 20°C el oxígeno de saturación es:

$$Cs = 7.45 \text{ mg / L}$$

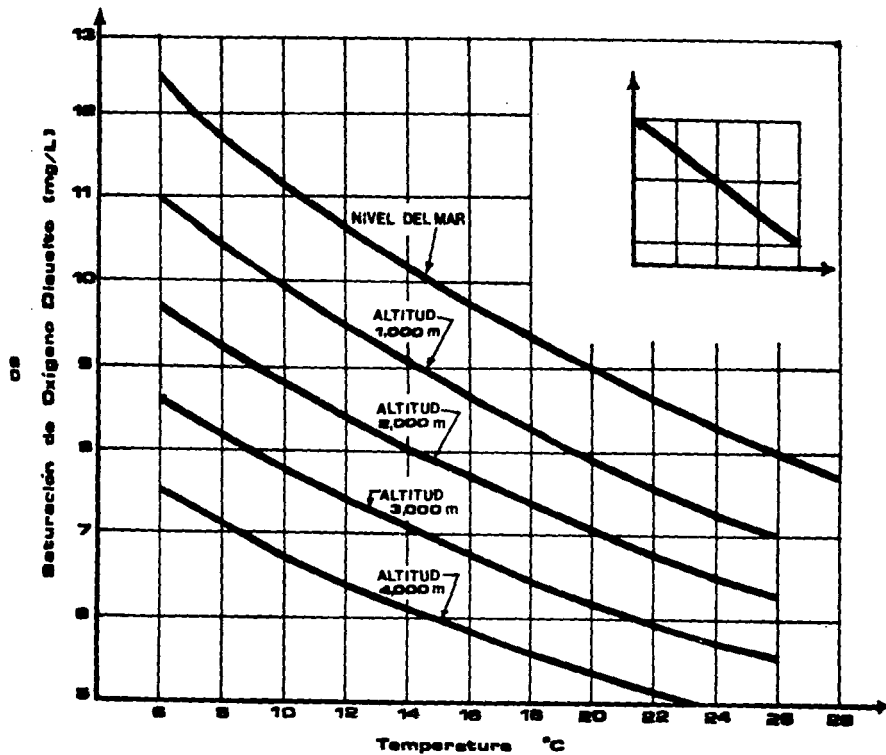


Lámina 7. Corrección en Saturación de Oxígeno por altura

- Obtención del Déficit inicial de Oxígeno (D₀).

El déficit inicial se calcula apartir del oxígeno de saturación, utilizando la siguiente ecuación:

$$D_0 = Cs - ODr$$

Donde: D₀ = Déficit inicial de oxígeno disuelto en mg / L.

Cs = Oxígeno disuelto de saturación en mg / L.

ODr = Oxígeno disuelto presente en el río en mg / L.

$$D_0 = 7.45 - 6.69 = 0.76 \text{ mg/L}$$

- Cálculo del Déficit crítico de oxígeno (D_c).

El déficit crítico se cacula con la siguiente ecuación:

$$Dc = Cs - (ODp + D_0)$$

Donde: Dc = Déficit crítico en mg / L.

ODp = Oxígeno disuelto mínimo permisible en el río, en función del uso, en mg/L (3.2 mg / L es el valor mínimo permisible, en función del uso agrícola predominante).

$$Dc = 7.45 - (3.2 + 0.76) = 3.49 \text{ mg/L}$$

- Cálculo de la Carga Asimilable (L_c).

Para los tramos de la corriente que aún cuentan con oxígeno, disponible para oxidar la materia orgánica, la capacidad de asimilación, se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_c = \frac{D_c \cdot f}{e^{(-K_{DC} \cdot T)}} \cdot T$$

Donde: L_c = Carga asimilable en el tramo, en Kg / día
 D_c = Déficit crítico de oxígeno, en mg / L
 K_{DC} = Constante de desoxigenación, en día⁻¹
 T_R = Tiempo de recorrido, en días
 f = Factor de autpurificación

Para éste cálculo utilizaremos el coeficiente de autpurificación "f", el cual está en función de la velocidad de la corriente y se obtiene de la siguiente tabla:

VELOCIDAD DE LA CORRIENTE	FACTOR "f"
$V \leq 0.02$	1.0
$0.02 < V \leq 0.056$	1.1
$0.056 < V \leq 0.092$	1.2
$0.092 < V \leq 0.128$	1.3
$0.128 < V \leq 0.164$	1.4
$0.164 < V \leq 0.2$	1.5
$0.2 < V \leq 0.26$	1.6
$0.26 < V \leq 0.32$	1.7
$0.32 < V \leq 0.38$	1.8
$0.38 < V \leq 0.44$	1.9
$0.44 < V \leq 0.5$	2.0
$0.5 < V \leq 0.66$	2.1
$0.66 < V \leq 0.72$	2.2
$0.72 < V \leq 0.88$	2.3
$0.88 < V \leq 1.04$	2.4
$1.04 < V \leq 1.20$	2.5
$1.20 < V \leq 1.36$	2.6
$1.36 < V \leq 1.52$	2.7
$1.52 < V \leq 1.68$	2.8
$1.68 < V \leq 1.84$	2.9
$1.84 < V \leq 2.00$	3.0
$V > 2.00$	4.0

$$L_c = \frac{3.49 + 1.8}{e^{(-0.462 + 0.064)}} = 6.47 \text{ mg/L} = 0.56 \text{ Kg/día}$$

- Cálculo de la carga real transportada (L_r).

$$L_r = DBO1 + 0.0864$$

$$L_r = 98.45 + 0.0864 = 8.506 \text{ Kg/día}$$

- Porcentaje de remoción (Re).

$$Re = \left(\frac{L_r - L_c}{L_r} \right) * 100$$

$$Re = \left(\frac{8.506 - 0.56}{8.50} \right) * 100 = 93.41 \%$$

TRAMO B

- Cálculo del tiempo de recorrido (T_R)

$$T_R = \left(\frac{1,900 / 0,324}{86,400} \right) = 0,064 \text{ días}$$

- Cálculo de la constante de desoxigenación (K_D)

$$K_D = \left(\frac{1}{0,064} \right) + \ln \left(\frac{83,19}{81,45} \right) = 0,330 \text{ días}$$

- Corrección de K_D por temperatura (K_{DC})

$$K_{DC} = 0,330 \cdot 1,047^{(22-20)} = 0,362 \text{ días}$$

- Obtención de la DBO_t en el tiempo "t" (L_2)

$$L_2 = 83,19 \cdot e^{(-0,362 \cdot 0,064)} = 81,28 \text{ mg/L}$$

- Cálculo del oxígeno de saturación (C_s)

$$C_s = (14.652 - 0.3943 T + 0.007714 T^2 - 0.0000646 T^3) \cdot \left(\frac{P.B.}{760} \right)$$

$$C_s = 7.17 \text{ mg/L}$$

- Obtención del déficit inicial de oxígeno (D_o)

$$D_o = C_s - ODr$$

$$D_o = 7.17 - 4.87 = 2.30 \text{ mg/L}$$

- Cálculo del déficit crítico de oxígeno (D_c)

$$D_c = C_s - (ODp + D_o)$$

$$D_c = 7.17 - (3.2 + 2.3) = 1.67 \text{ mg/L}$$

- Cálculo de la carga asimilable (L_c)

$$L_c = \frac{D_c \cdot f}{e^{(-K_{oc} \cdot T_d)}}$$

$$L_c = \frac{1.67 \cdot 1.80}{e^{(-0.342 \cdot 0.0864)}} = 3.07 \text{ mg/L} = 0.260 \text{ Kg/día}$$

- Cálculo de la carga real (L_r)

$$L_r = DBO1 \cdot 0.0864$$

$$L_r = 83.19 \cdot 0.0864 = 7.187 \text{ Kg/día}$$

- Porcentaje de remoción (Re)

$$Re = \left(\frac{L_r - L_c}{L_r} \right) \cdot 100$$

$$Re = \left(\frac{7.187 - 0.260}{7.187} \right) \cdot 100 = 96.38 \%$$

A continuación se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los tramos del río existentes, mediante tablas comparativas.

CALCULO DE COEFICIENTES Y TIEMPO DE RECORRIDO

TRAMO	T_r días	DBO1 mg/L	DBO2 mg/L	K_D día ⁻¹	TEMPERATURA °C	K_{DC} día ⁻¹
A	0.064	98.45	95.58	0.462	20	0.462
B	0.064	83.19	81.45	0.330	22	0.362
C	0.052	66.36	64.50	0.546	22	0.598
D	0.173	52.05	49.32	0.313	23	0.359
E	0.028	33.60	33.10	0.535	22	0.586
F	0.028	33.10	32.86	0.259	29	0.391
F1	0.102	34.97	33.58	0.339	29	0.512
G	0.043	33.79	32.85	0.672	28	0.970
H	0.046	24.30	23.40	0.820	25	1.031
I	0.155	17.50	16.44	0.403	26	0.631
J	-	-	-	-	25	-
K	-	-	-	-	24	-
L	0.276	26.35	23.80	0.368	24	0.442
M	0.091	36.00	35.10	0.278	23	0.319
N	0.126	42.00	39.85	0.417	26	0.602
O	0.104	37.20	35.80	0.423	22	0.463
P	0.021	72.00	70.80	0.800	23	0.918
Q	0.066	292.4	287.0	0.282	34	0.536
R	0.021	287.0	284.0	0.500	25	0.629
S	0.059	288.0	282.0	0.357	25	0.449

Nota: 1.- En el tramo "J" se extrae la totalidad de agua en la 4a toma, por lo tanto tiene la misma calidad que el tramo "I".

2.- En el tramo "K" existe una longitud muy corta que es de 180 m y no existe capacidad de autopurificación.

T_r = Tiempo de recorrido.

DBO1 = Demanda bioquímica de oxígeno al inicio del tramo.

DBO2 = Demanda bioquímica de oxígeno al final del tramo.

K_D = Constante de desoxigenación.

K_{DC} = Constante de desoxigenación corregida por temperatura.

OXIGENO DE SATURACION

TRAMO	MSNM	TEMPERATURA °C	Cs mg/L
A	1,400	20	7.45
B	1,373	22	7.17
C	1,351	22	7.18
D	1,330	23	7.10
E	1,290	22	7.23
F	1,201	29	6.49
F1	1,200	29	6.49
G	1,202	28	6.50
H	1,176	25	7.07
I	1,150	26	8.00
J	1,080	25	7.20
K	1,053	24	7.25
L	1,050	24	7.25
M	970	23	7.30
N	965	28	6.70
O	940	22	7.40
P	920	23	7.30
Q	910	34	5.30
R	910	25	7.20
S	890	25	7.35

OXIGENO DE SATURACION, DEFICIT INICIAL Y CRITICO

TRAMO	Cs mg/L	ODr mg/L	ODp mg/L	Do mg/L	Dc mg/L
A	7.45	6.69	3.2	0.76	3.49
B	7.17	4.87	3.2	2.30	1.67
C	7.18	6.10	3.2	1.08	2.90
D	7.10	3.20	3.2	3.90	0 *
E	7.23	4.50	3.2	2.80	1.23
F	6.49	3.00	3.2	3.49	-0.2 *
F1	6.49	3.00	3.2	3.49	-0.2 *
G	6.50	4.10	3.2	2.40	0.90
H	7.07	4.30	3.2	2.77	1.10
I	8.00	4.30	3.2	3.70	1.10
J	7.20	4.00	3.2	3.20	0.80
K	7.25	5.50	3.2	1.75	2.30
L	7.25	5.50	3.2	1.75	2.30
M	7.30	4.10	3.2	3.20	0.90
N	6.70	4.90	3.2	1.80	1.70
O	7.40	4.90	3.2	2.50	1.70
P	7.30	3.30	3.2	4.00	0.10
Q	5.30	2.00	3.2	3.30	-1.2 *
R	7.20	0.00	3.2	7.20	-3.2**
S	7.35	0.00	3.2	7.35	-3.2**

* Capacidad de asimilación agotada.

** Capacidad de asimilación totalmente agotada, la única fuente de oxígeno para degradar la materia la constituye el intercambio con la atmosfera, el cual está regido por la ley de Henry.

Cs = Oxígeno de saturación.

ODr = Oxígeno disuelto en el río.

ODp = Oxígeno disuelto permisible.

Do = Déficit inicial.

Dc = Déficit crítico.

CARGA ASIMILABLE

TRAMO	VELOCIDAD (m/s)	f	L ₂ (mg/L)	Lc		Lr (Kg/día)	Re (%)
				(mg/L)	Kg/día		
A	0.324	1.8	95.58	6.47	0.560	8.506	93.41
B	0.343	1.8	81.28	3.07	0.260	7.187	96.38
C	0.397	1.9	64.33	5.68	0.491	5.733	91.43
D	0.127	1.3	48.91	*	*	4.497	> 95
E	0.330	1.8	33.05	2.25	0.194	2.803	93.32
F	0.330	1.8	32.74	*	*	2.859	> 95
F1	0.330	1.8	33.19	*	*	3.021	> 95
G	0.350	1.8	32.41	1.69	0.146	2.919	94.99
H	0.350	1.8	23.17	2.07	0.179	2.099	91.47
I	0.350	1.8	16.11	2.15	0.185	1.512	87.76
J	.	.	.	.	.	.	.
K	.	.	.	.	.	.	.
L	0.268	1.7	23.32	4.42	0.381	2.276	83.26
M	0.268	1.7	34.97	1.57	0.136	3.110	95.63
N	0.421	1.9	38.93	3.48	0.301	3.629	91.70
O	0.421	1.9	35.45	3.39	0.293	3.214	90.88
P	0.333	1.8	70.62	0.18	0.016	6.221	99.74
Q	0.333	1.8	282.23	*	*	25.263	> 95
R	0.333	1.8	283.23	*	*	24.796	> 95
S	0.333	1.8	280.47	*	*	24.883	> 95

- * No existe oxígeno disuelto en el tramo del río, por lo tanto no existe autopurificación y las eficiencias de tratamiento deben ser mayores del 95 %.

L₂ = DBO en el tiempo "t".

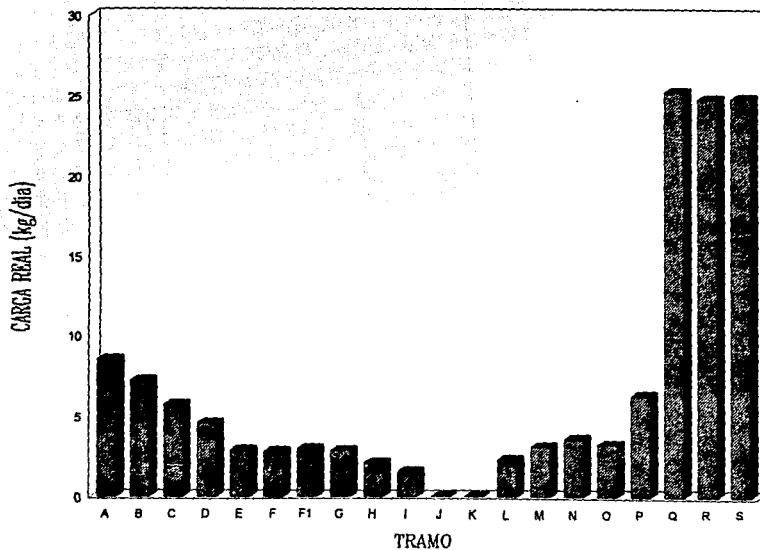
Lr = Carga real transportada en el tramo.

Lc = Carga asimilable en el tramo.

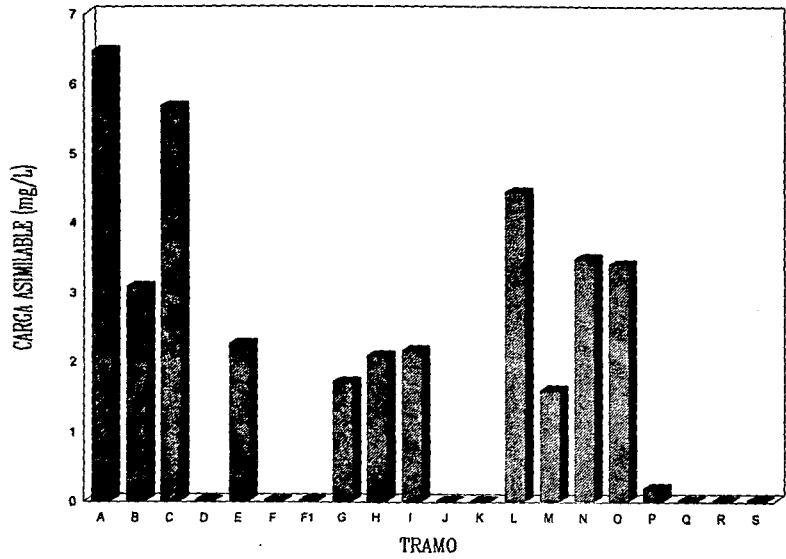
Re = Porcentaje de remoción indicado en el tramo para las descargas de aguas residuales.

f = Factor de autopurificación.

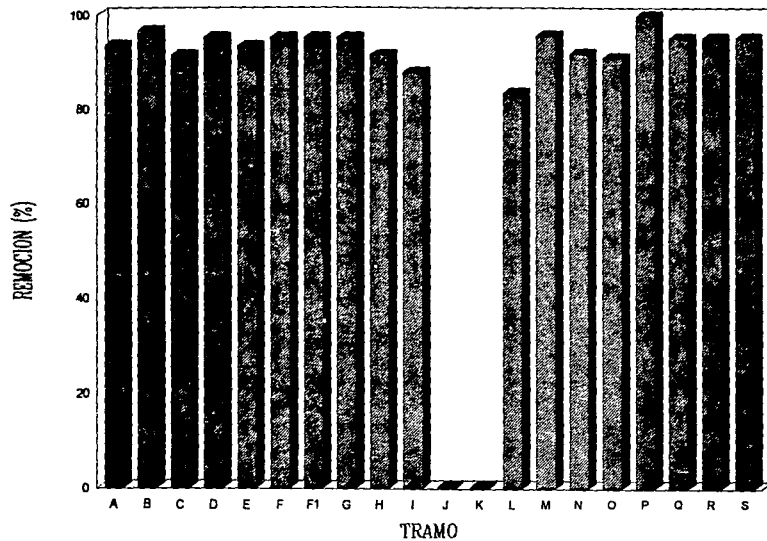
CARGA REAL TRANSPORTADA



CARGA ASIMILABLE



PORCENTAJE DE REMOCION



2.5 CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA

- **Según los resultados obtenidos, la carga asimilable esta por debajo de la carga real transportada, debido a las actividades de desarrollo que se efectúan en esa zona.**
- **Como puede observarse en la mayoría de los tramos, excepto el F, F1, Q, R y S, la cantidad de oxígeno disuelto esta por arriba de lo marcado por los criterios ecológicos.**
- **El oxígeno de saturación presenta un promedio de 7.05 mg/L. La relación de este factor con el oxígeno inicial produce un déficit inicial, cuyos valores oscilan entre 0.76 mg/L hasta 7.35 mg/L. Igual relación existe entre el oxígeno de saturación y el oxígeno permisible dando como resultado el déficit crítico el cual varia de -3.2 mg/L hasta 3.499 mg/L.**
- **Los porcentajes de remoción en los tramos que así lo necesitan (todos) varían de 83.26 hasta > 95 %, en todos los tramos la remoción supera el 40% lo que da idea de la alta concentración de carga orgánica que se recibe, esto se explica debido a que los afluentes en estos tramos transportan las descargas de aguas residuales de las ciudades que se encuentran en sus riveras, las cuales descargan sus efluentes sin tratamiento previo.**
- **La contaminación en la cuenca del río Apatlaco se ha incrementado en los últimos 15 años, de acuerdo a la comparación con estudios realizados en esa fecha en la siguiente forma:**

Parte alta.

Hace 15 años, se requería de implantar sistemas con una eficiencia global de remoción de carga orgánica del 70%, actualmente por el incremento de la población e industrias, en Cuernavaca, los sistemas deben tener eficiencias promedio del 90%.

Parte media.

La remoción que se necesita en esta zona, se ha incrementado del 60% al 80%. Cabe destacar, que en esta zona, la contaminación aportada es

relativamente baja por lo tanto, el tratamiento requerido, se debe a las descargas que se encuentran en la parte alta. Por lo anterior para esta zona se recomienda utilizar filtros percoladores en cada una de las tomas de extracción del agua para el riego agrícola.

Parte baja.

La capacidad de asimilación en esta zona es prácticamente nula. Consecuentemente se requieren eficiencias de tratamiento superiores al 95%, lo que difícilmente se logra con la tecnología disponible. Ante esta situación, se hace necesario implantar en forma inmediata sistemas de tratamiento, con eficiencias entre el 70 y 85% de remoción para las descargas de Zacatepec, el ingenio Emiliano Zapata y Jojutla. Los efluentes de estos sistemas de tratamiento se recomiendan para su reuso en riego.

En la lámina 8, 9, 10 y 11 se representan respectivamente los valores de Demanda Biológica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Sólidos Sedimentados y Sólidos Suspendidos Totales obtenidos de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

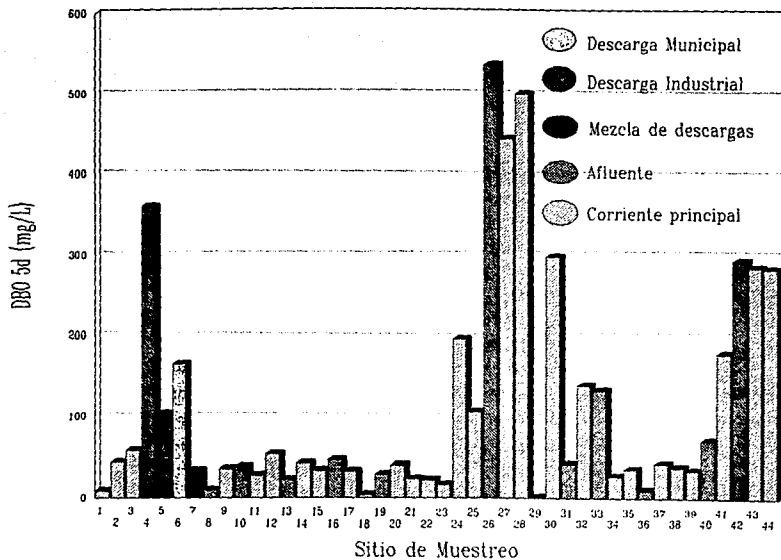
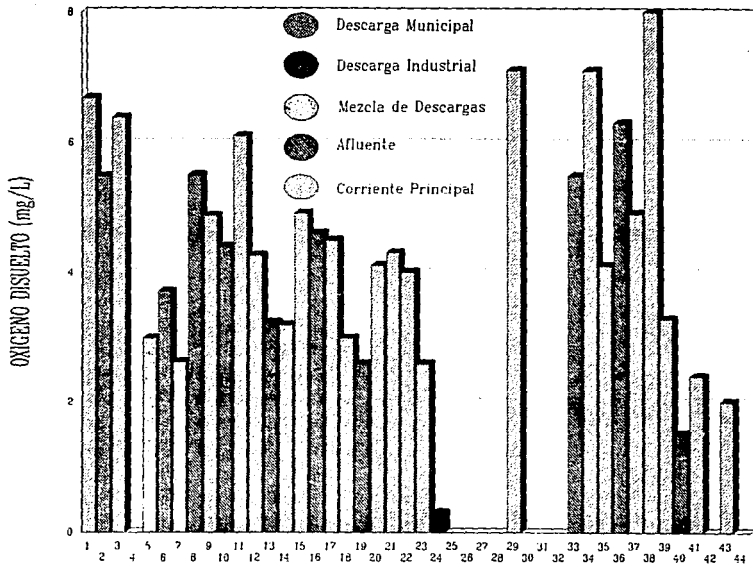


Lámina 8. Demanda Biológica de Oxígeno en la cuenca del río Apallaco.



Sitio de Muestreo

Lamina 9. Oxigeno Disuelto en la cuenca del rio Apatlaco, los números 24 al 33 corresponden a la subcuenca del rio Palo Escrito.

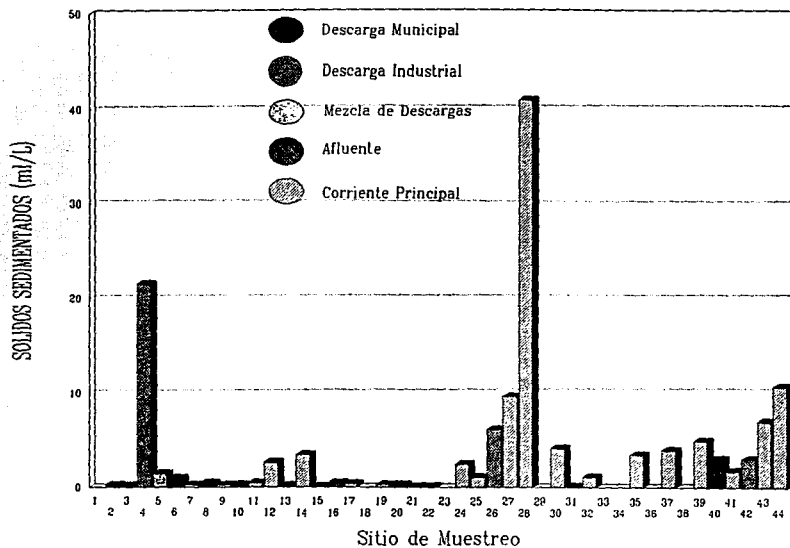


Lámina 10. Sólidos Sedimentados en la cuenca del río Apatlaco, los números 24 al 33 corresponden a la subcuenca del río Palo Escrito.

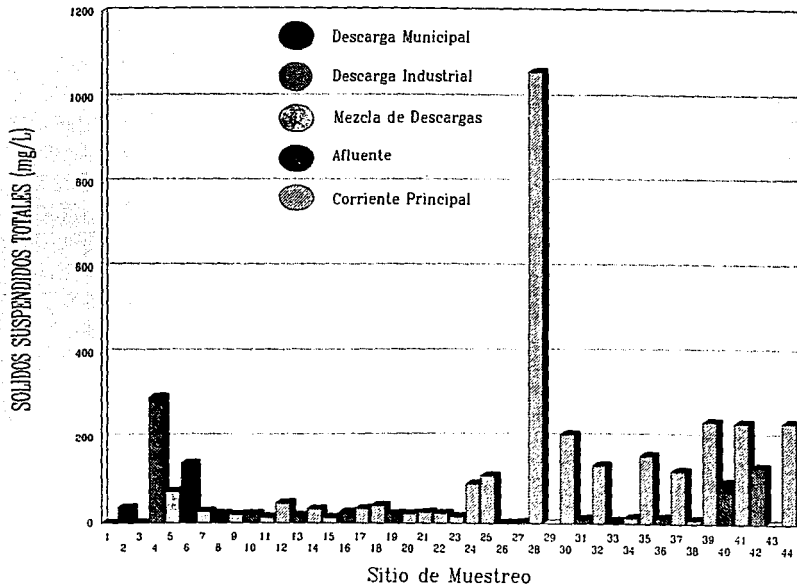


Lámina 11. Sólidos Suspendedos Totales en la cuenca del río Apallaco, los números 24 al 33 corresponden a la subcuenca del río Palo Escrito.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

III. CONTROL DE LA CONTAMINACION

III. CONTROL DE LA CONTAMINACION

3.1 INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

Para lograr una calidad adecuada del agua residual y que sea ambientalmente segura, se deben de adaptar tecnologías de tratamiento apropiadas. En los países que se encuentran en vías de desarrollo los objetivos de un eficiente tratamiento de agua residual es:

- Proteger de la contaminación fecal las aguas receptoras que serán usadas posteriormente para consumo humano;
- Proteger las aguas receptoras de un agotamiento de oxígeno y daño ecológico; y
- Producir efluentes microbiológicamente seguros para su reutilización en la agricultura y la acuicultura.

Muchos de los métodos de tratamiento de aguas residuales que se adoptan en las regiones más desarrolladas del mundo dependen de tecnologías cuyo principal propósito es reducir el contenido orgánico de las aguas residuales. La prioridad es diferente para las regiones en desarrollo en donde la presencia de patógenos es más elevada poniendo en riesgo la vida humana. En muchos casos, la tecnología de los países desarrollados es inapropiada por dos razones, primero incurre en elevados costos de operación y mantenimiento y es por lo tanto, un elemento de infraestructura medio ambiental frecuentemente descuidado y segundo, no logra un efluente de agua bacteriológicamente seguro.

Por lo cual se debe de adoptar una tecnología apropiada que tenga la meta de reducir los patógenos.

La selección deberá ser entonces, una opción de tecnología no muy complicada para su operación, con una habilidad permanente de eliminar patógenos.

Las lagunas de estabilización de residuos son las más adecuadas a este respecto. Estos tipos de sistemas de tratamiento, aunque estén siendo usados ampliamente en

Europa y Norte América, son particularmente adecuados en los climas cálidos de los países en desarrollo. Las Lagunas de Estabilización, son de baja profundidad, hechas por el hombre, en donde las aguas residuales fluyen y de las cuales, después de un período de días de retención (medido en días más que en horas en procesos convencionales), se descarga un efluente bien estabilizado. Las ventajas de las Lagunas de Estabilización, pueden resumirse como sencillas, de bajo costo y altamente eficientes.

Las Lagunas de Estabilización son fáciles de construir, la principal actividad sería la excavación de tierra, con mínima obra civil para el tratamiento preliminar, las entradas, salidas y protecciones de las orillas, también son mucho más económicas en su operación que otros procesos de tratamiento de aguas residuales, ya que no hay necesidad de importar equipo ni de consumir elevadas cantidades de energía.

Su gran eficiencia, particularmente es remover excretas patógenas, contrasta con otros procesos de tratamiento que son muy ineficientes y siempre requieren un proceso de tratamiento terciario tal como la cloración (con todos los problemas operacionales y medio ambientales asociados) para lograr la destrucción de los patógenos fecales.

Las lagunas o estanques de estabilización son medios simples de tratamiento de aguas residuales para la descomposición biológica del material orgánico.

Los tipos y modificaciones del sistema de lagunas son variados. Las lagunas se clasifican como anaerobias, aerobias, facultativas o aerobias-aireadas o facultativas-aireadas. Las lagunas aireadas frecuentemente son llamadas lagunas de oxidación.

Como unidad de proceso para el tratamiento de material residual orgánico, las lagunas pueden ser usadas en serie o en paralelo seguidas de tanques de sedimentación con recirculación de lodos al influente de la laguna y operadas como una de las muchas variantes del proceso de lodos activados o también pueden ser usadas como lagunas de pulimento para tratamiento terciario.

Lagunas aerobias.

Las lagunas aerobias son tanques poco profundos utilizados para el tratamiento del agua residual. Los contaminantes orgánicos en el flujo de agua residual son degradados por bacterias aerobias y facultativas.

El oxígeno disuelto para el metabolismo bacteriológico aerobio es suministrado por la transferencia de oxígeno entre el aire y la superficie del agua y por las algas fotosintéticas. La cantidad de oxígeno abastecido por la reareación natural superficial depende en gran medida de la turbulencia inducida por el viento. La principal fuente de oxígeno proviene de la fotosíntesis de las algas y por lo tanto, es el factor limitante en el diseño de las lagunas aerobias.

La producción fotosintética de oxígeno es cíclica, y durante un día soleado el líquido contenido en una laguna poco profunda se sobresaturará con oxígeno. La fotosíntesis cesa en la noche, pero la respiración continúa, resultando en un incremento de dióxido de carbono y un decremento en la concentración de oxígeno.

Lagunas aireadas.

Las lagunas aireadas pueden ser aerobias-aireada o facultativa-aireada. Este tipo de lagunas no dependen de las algas y de la luz del sol para suministrar oxígeno disuelto (OD) para la respiración bacteriana. Pero en su lugar, son usados difusores u otros instrumentos de aireación mecánica para proporcionar la mayor transferencia de oxígeno y crear cierto grado de mezclado. Debido al mezclado, la remoción de sólidos suspendidos en el efluente de la laguna es importante.

Las lagunas aireadas se utilizan en serie con lagunas aerobias. En tal caso, el principal propósito de la laguna sin aireación (generalmente referida como laguna de pulimento) es para remoción de sólidos.

Lagunas facultativas.

En las lagunas aerobias la degradación bacteriológica de los contaminantes es completa en presencia de OD. En la laguna facultativa, la estabilización del agua residual se alcanza por una combinación de microorganismos anaerobios, aerobios y una preponderancia de microorganismos facultativos, que prosperan bajo condiciones tanto anaerobias como aerobias.

La laguna facultativa es diseñada para permitir la acumulación de sólidos sedimentables en el fondo del tanque donde los sólidos son descompuestos anaeróbicamente.

Otro proceso adecuado para el tratamiento del agua residual en esta zona, es el de Lodos Activados. El proceso de lodos activados es quizá el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales, orgánicas e industriales.

El principio básico del proceso consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de suspensión floculenta en un sistema aireado y agitado. La materia en suspensión y la coloidal, se eliminan rápidamente de las aguas residuales por adsorción y aglomeración en los floculos microbianos. Esta materia y los nutrientes disueltos se descomponen lentamente por metabolismo microbiano, proceso conocido como "estabilización". En éste, parte del material nutriente se oxida a sustancias simples como el anhídrido carbónico (mineralización), y parte se convierte en una materia celular microbiana (asimilación). Parte de la masa microbiana se descompone a su vez mediante un proceso llamado "respiración endógena".

El proceso oxidativo suministra la energía necesaria para la operación de los procesos de adsorción y asimilación. Una vez que se alcanza el grado de tratamiento que se desea, la masa microbiana floculenta conocida como "lodo", se separa del agua residual asentandose, por lo general, en recipientes separados, especialmente diseñados para ello. La etapa de separación, se conoce también como "clarificación" o "sedimentación". El sobrenadante de la etapa de separación es el agua residual tratada y debe estar virtualmente libre de lodos. La mayor parte del lodo asentado en la etapa de separación se regresa a la etapa de aireación para mantener la concentración de los lodos en el tanque de aireación al nivel necesario para un tratamiento efectivo y para que actúe como un inóculo microbiano. El lodo restante se extrae para su descarga, y se conoce como lodos activados desechados o de purga". En un sistema balanceado, el lodo desechado representa la cantidad neta de masa microbiana producida por asimilación en la etapa de aireación y es, efectivamente, el "concentrado de contaminación" del sistema. La naturaleza floculenta de los lodos activados es importante, en primer lugar para la absorción de las materias coloidales, iónicas y en suspensión dentro del agua residual y, en segundo lugar, para la separación rápida, eficiente y económica de la masa microbiana del agua residual tratada.

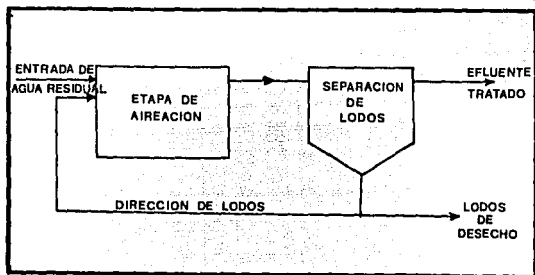
La alimentación del agua residual al tanque de aireación pasa primeramente por un proceso primario de tratamiento para la remoción de arenas, materiales aceitosos y grasosos, y materia sólida gruesa, por métodos físicos como sedimentación y cribado. En el tratamiento de las aguas negras, el producto sólido del clarificador primario se conoce como "lodo primario", no se debe confundir con los lodos activados, a pesar de que para un tratamiento y disposición adicionales, se puede mezclar con el lodo activado de desecho. El agua residual pasa entonces a la etapa de aireación, de manera que el proceso de los lodos activados se le llama "tratamiento secundario". No obstante, ciertas modificaciones del proceso de los lodos activados no emplean la etapa primaria de tratamiento.

El proceso de desarrollo de los lodos se puede acelerar por una siembra con una población microbiana, como lodos procedentes de otro proceso, tierras, o en el caso de un desecho industrial que contenga nutrientes fuera de lo común, un cultivo especialmente desarrollado en el laboratorio o una planta piloto. Un amplio intervalo de especies microbianas deberán tener la oportunidad de establecerse en los lodos para asimilar los nutrientes que sean capaces de utilizar.

La proporción de nutrientes removidos por cada uno de los tres mecanismos, absorción, asimilación y mineralización, pueden variar en cierto grado por diferentes condiciones de operación y de las características del agua residual influente. Una planta que opere en condiciones favorables para el crecimiento microbiano, eliminará los nutrientes de una manera efectiva, precipitándolos en forma de biomasa, representando una mayor proporción de los costos asociados con la separación y disposición de los lodos. Las condiciones que favorecen la descompensación oxidativa, implican costos más bajos del manejo de los lodos, pero costos de aireación más altos. Usualmente, el alto costo del tratamiento y disposición de los lodos, favorece la operación de las plantas que tienen una baja producción de éstos.

Por lo general, la concentración de los nutrientes en las aguas residuales es muy baja, debido a que en la etapa de aireación, cuando la mayoría de los nutrientes ya se removió, el nivel nutritivo de los microorganismos está cerca de la inanición. Las aguas residuales industriales que contienen un rango limitado de sustancias quizá tengan un balance nutritivo inapropiado para el metabolismo microbiano, y tal vez sea necesario añadir nutrientes suplementarios a las aguas residuales.

Existe una variedad de modificaciones del proceso de lodos activados, de donde se origina una versatilidad para adaptarse a un amplio rango de requerimientos del tratamiento. Tales modificaciones consisten en diferentes combinaciones de maneras de operación, regímenes de mezcla, sistemas de aireación y niveles de carga. Las características esenciales del proceso de lodos activados son una etapa de aireación, una de separación y un sistema de reciclaje de los lodos.



Los sistemas de aireación disponibles para usar en la etapa de aireación, se pueden dividir de un modo general en sistemas de aireación con burbujas, o sistemas mecánicos de aireación, por lo general aireadores superficiales, con impulsores con aspersion, o sistemas combinados que contengan elementos de ambos. El régimen de mezclado puede ser nominalmente de flujo pistón o de mezcla completa, a pesar de que el verdadero flujo pistón o las condiciones de mezcla completa rara vez se alcanzan en la práctica. Un sistema llamado "alimentación escalonada" contiene características de ambos regímenes.

Otro de los procesos que se pueden utilizar para el tratamiento del agua de la cuenca del Apatlaco es el de Filtros Percoladores, el cual se clasifica dentro de los procesos de biomasa fija. El mecanismo principal de remoción de la materia orgánica de este sistema no es la filtración sino la adsorción y asimilación biológica en el medio de soporte. Generalmente, no requieren recirculación, a diferencia del sistema de todos activados donde ésta es determinante para mantener los microorganismos en el licor mezclado. Sin embargo, ambos sistemas o procesos son similares en cuanto a que dependen de la oxidación biológica de la materia orgánica presente en el agua residual produciendo dióxido de carbono y energía, la cual es usada como sustento y promotor para el crecimiento de la biomasa.

Una vez que el filtro se encuentra operando, la superficie del medio comienza a cubrirse con una sustancia viscosa y gelatinosa conteniendo bacterias y otro tipo de microorganismos. El efluente de la sedimentación primaria es distribuido uniformemente en el medio de soporte del filtro a través de un sistema distribuidor de flujo. El oxígeno para que se lleve a cabo el metabolismo biológico aerobio es suministrado por la circulación del aire a través de las intersecciones entre el medio filtrante y parcialmente, por el oxígeno disuelto presente en el agua residual. Al cabo de un tiempo, comienza el crecimiento microbiano en la interfase anaerobia del medio filtrante, generalmente el crecimiento de organismos anaerobios y facultativos que justo con los organismos aerobios forman el mecanismo básico para la remoción de la materia orgánica.

La cantidad de biomasa producida es controlada por la disponibilidad de alimento. El crecimiento puede incrementarse proporcionalmente con el aumento de la carga orgánica hasta lograr un espesor máximo deseado. Este crecimiento máximo es controlado por factores de tipo físico que incluyen rapidez de dosificación, tipo de medio, tipo de materia orgánica, cantidad de nutrientes esenciales presentes y la temperatura. Durante la operación de los filtros la biomasa se desprende en forma periódica o continua.

El efluente del filtro percolador deberá pasar a través de un clarificador secundario para colectar la biomasa desprendida. La sedimentación primaria es necesaria antes de los filtros con medio de roca para minimizar los problemas de obstrucción. Por otro lado, si los sólidos presentes en el agua residual han sido tratados con desmenuzadores o trituradores no es requerida la sedimentación primaria y el medio de soporte deberá ser perfectamente de plástico corrugado o material con un gran número de espacios vacíos que es directamente proporcional al área superficial.

La recirculación del efluente del filtro percolador se ha utilizado para mejorar la eficiencia del filtro. Incrementando la velocidad de distribución del flujo se reduce la probabilidad de tener una superficie seca cuando el gasto disminuye, de tal modo que se mantenga la capacidad de diseño. Esto es, flujos altos mantienen la fuerza cortante para desprender la biomasa en exceso.

Los filtros percoladores se clasifican en función a la carga hidráulica y orgánica aplicadas como de baja, media y alta tasa. La carga hidráulica es el volumen total del líquido, incluyendo la recirculación, por unidad de tiempo y área del filtro ($m^3/\text{hab}/\text{día}$). La carga orgánica se expresa como los Kgs. de DBO por día, por unidad de volumen del medio filtrante ($\text{Kg}/m^3/\text{día}$).

Los filtros percoladores son considerados como tratamiento secundario del agua residual. Se puede alcanzar una calidad del efluente de 20 a 30 mg/L de DBO. Sin embargo, éstos son particularmente vulnerables a cambios climatológicos variando considerablemente su operación en las estaciones de verano e invierno.

Los filtros percoladores también se consideran como una unidad de pretratamiento o acondicionamiento para el tratamiento del agua residual de tipo industrial o combinada con agua residual municipal.

Los filtros percoladores además de remover la carga orgánica y sólidos suspendidos pueden eliminar nitrógeno y fósforo. La nitrificación generalmente se lleva a cabo en los filtros de baja tasa.

Los principales factores que se deben considerar en el diseño de los filtros percoladores son: composición y tratabilidad del agua residual, pretratamiento, medio de soporte, profundidad del reactor, recirculación, carga orgánica e hidráulica, ventilación y temperatura. Todos estos factores se interrelacionan y deberán ser analizados en conjunto para obtener un diseño efectivo.

3.2 REUSO POTENCIAL

La presencia del agua es indispensable para el desarrollo y subsistencia de los seres vivos. Sin embargo, por diversos factores, existen zonas geográficas en el mundo, donde dicho líquido no está disponible en cantidad y/o calidad suficiente, por lo que ha sido necesario el reuso de las aguas residuales. Dicho reuso es la clave para una gestión eficiente y efectiva del recurso. En las zonas donde se carece del vital líquido, las descargas de aguas residuales son usadas para la agricultura, industria y recarga de acuíferos.

En el cuadro 13, se muestran las áreas susceptibles de usar agua residual tratada.

Cuadro 13. Áreas potenciales de reuso del agua residual.

AREA	DESCRIPCION
Agricultura	Riego
Industria	Enfriamiento Transporte de materiales Calderas Procesos
Municipal	Usos urbanos <ul style="list-style-type: none">* Riego de áreas verdes* Control de incendios* Fuentes de ornato* Lavado de autos* Limpieza de equipo de recolección de basura Recarga de acuíferos Actividades domésticas

La reutilización más importante del agua en la cuenca del río Apatlaco es el abastecimiento para riego agrícola, el cual la mayoría de las veces, es irrigada directamente por nueve tomas distribuidas a lo largo del río, las que reciben aguas con diferentes calidades, dependiendo de la distancia a la descarga de agua residual y el grado de contaminación que lleven las aguas del río.

El uso de aguas residuales en riego agrícola suele ser práctica común en los países en desarrollo, sobre todo en las zonas áridas o semi - áridas que sufren de la escasez del recurso.

El uso de aguas residuales en riego agrícola genera los beneficios siguientes:

- **Incremento en el rendimiento de los cultivos por la presencia de nutrientes, por lo cual los agricultores prefieren estas aguas.**
- **Amortiguamiento en la salinización del suelo por el aporte de materia orgánica.**
- **Disponibilidad de agua en zonas y/o periodos de escasez.**
- **Reducción de la carga contaminante del cuerpo receptor, por disponer el agua residual en el área de cultivo.**

Las desventajas son:

- **Efectos sobre la salud pública, primeramente en los agricultores que trabajan en áreas irrigadas con aguas residuales, las que son portadoras de sustancias tóxicas y de organismos patógenos; y sobre los consumidores de los productos vegetales, especialmente aquellos que se consumen crudos como es el caso de algunas hortalizas.**
- **Disminución de la fertilidad del suelo ocasionada por materiales en suspensión, grasas, aceites y algunas veces por la presencia de metales pesados tóxicos.**

En la actualidad dos factores está permitiendo que el aprovechamiento de aguas residuales pueda ser viable, en condiciones sanitarias apropiadas y accesibles económicamente a la mayoría de los países:

- 1.- **Los avances epidemiológicos de los últimos años indican que las normas para autorizar el reuso de aguas residuales pueden ser menos estrictas, lo que permite la utilización de sistemas más económicos y sencillos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, tales como las lagunas de estabilización.**
- 2.- **Muchos estudios realizados sobre reuso coinciden en que las aguas residuales tienen muchas ventajas desde el punto de vista ambiental y productivo, siempre y cuando se amortiguen los efectos nocivos de ciertos contaminantes, a través de prácticas y métodos de riego no sofisticados.**

Con el objeto de propiciar el uso seguro desde el punto de vista sanitario, de las aguas residuales en la agricultura y acuicultura, la Organización Mundial de la Salud (OMS), ha publicado las "Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura", en 1989.

Las modificaciones propuestas están fundamentadas en los resultados de investigaciones aplicadas y en la mayor experiencia adquirida en algunos países, las que han mostrado que es necesario incluir límites en el contenido de huevos viables de helmintos parásitos en aguas residuales, para proteger la salud pública. Por otra parte, han mostrado también que pueden ser menos estrictos los criterios de calidad sobre coliformes fecales sin crear un riesgo inaceptable para las poblaciones expuestas.

Estas directrices delinear un nuevo enfoque tecnológico para el tratamiento de aguas residuales y recomiendan la integración de las medidas de control para optimizar los recursos y mejorar la protección de los grupos vulnerables. La aplicación de las directrices deben orientar sus acciones principalmente al tratamiento de las aguas residuales como requisito previo a su uso en riego; al establecimiento de normas restrictivas en la selección de los cultivos; al mejoramiento de los métodos de riego, y al cuidado médico de la salud de la población expuesta, adaptadas a sus respectivas condiciones técnicas, socioeconómicas y culturales.

Estudios epidemiológicos realizados por la organización Mundial de la Salud (OMS) han definido una correlación entre la incidencia de enfermedades gastrointestinales y el reuso de aguas residuales crudas.

Existe amplia evidencia epidemiológica de los efectos en salud asociados con el riesgo de hortalizas y otros productos que se ingieren crudos, en especial en aquellos países donde las enfermedades helmínticas causadas por *Ascaris* y *Trichiuris* son endémicas, México entre ellos. Observándose que la ruta más importante de transmisión de la infección es el consumo de estos alimentos.

Considerando la importancia de los factores básicos de la transmisión de enfermedades, estos factores fueron introducidos al modelo de orden descendiente de riegos, el cual asume que los helmintos (nematodos intestinales) tienen el más alto riesgo asociado al reúso del agua residual, las bacterias tienen un más bajo riesgo y el menor riesgo asociado a este reúso, se tiene con los virus, estudios epidemiológicos realizados durante los últimos 15 años en varias partes del mundo han dado soporte al modelo mencionado.

El valor establecido por las guías bacteriológicas de la OMS de 1000 coliformes fecales por 100 ml, fue propuesto debido a que las estimaciones tradicionales basadas en "riesgos potenciales" (presencia cualitativa de patógenos en agua residual, suelo y cultivos, y la no detección de enfermedades causadas por ellos) llevaron al desarrollo de estándares muy restrictivos en muchos países, los cuales son difíciles de aplicar y hacer cumplir.

La necesidad de introducir un valor estándar de helmintos en la normatividad (basado en las guías de la OMS) fue considerado fundamental para proteger consumidores y particularmente trabajadores del campo y sus familias contra las infecciones helmínticas.

El tratamiento no es la única medida a ser implantada para proteger grupos de riesgo. Para asegurar la protección a la salud al más bajo costo, se deben aplicar cuatro medidas de protección en una forma integral; tratamiento del agua residual, restricción de cultivos, técnicas adecuadas de riego y control de la exposición humana.

Las acciones inmediatas para el ordenamiento del uso de las aguas residuales en la agricultura deberán ir en torno a los siguientes puntos:

- Aplicar una reglamentación acorde a las condiciones imperantes.
- Diseñar y operar distritos de riego, específicos para el uso de aguas residuales.
- Desarrollar y operar un sistema de monitoreo periódico en las zonas de riego con aguas residuales.

Para ejercer un control realista y práctico en zonas de riego que utilizan o pretenden utilizar aguas residuales se contemplan cuatro formas principales para llevarlo a cabo:

- 1.- Imponer restricciones en la selección de cultivos a sembrar.
- 2.- Proponer la adecuación de la calidad del agua (tratamiento), cuando se tenga una relación costo-beneficio mayor que uno en cuanto a productividad. Esto es cuando el producto cosechado tenga rentabilidad para pagar un sistema de tratamiento, cuando el cultivo esté restringido o prohibido en la zona de riego con aguas residuales.

- 3.- Imponer restricciones en la asignación y concesión del agua.
- 4.- Imponer multas o tarifas por desalojo de aguas residuales a los responsables de las descargas.

En relación al reuso del agua residual en la industria, el único uso en la cuenca del río Apatlaco es en el ingenio azucarero Emiliano Zapata en Zacatepec. El agua, proveniente de la quinta toma, después de haber pasado por los campos de cultivo de la caña de azúcar, se usa en la fase de enfriamiento, generando un vacío en el condensador barométrico multi - jet, provocando la condensación del vapor de agua. Este procedimiento se realiza durante el periodo de zafra (octubre - junio), con un gasto aproximado de 780 L/s.

El agua residual tratada que se reusa en la industria debe cumplir con ciertos criterios de calidad ya que de otra forma es causa de problemas o fallas en las instalaciones.

Las operaciones de enfriamiento consumen una parte muy importante de agua utilizada en la industria. Los porcentajes van desde aproximadamente el 40 al 75% del agua total utilizada. Para llevar a cabo el enfriamiento se reconocen tres técnicas que son:

- 1.- **Circuito abierto.** El agua se pone en contacto con el cuerpo (líquido, sólido o gaseoso) por enfriarse y es posteriormente desechada. Se emplea cuando se dispone de una cantidad importante de agua y sin costo. Generalmente proviene de lagos, mares y ríos.
- 2.- **Circuito semi - cerrado.** El agua se pone en forma alternativa en contacto con el cuerpo a enfriar y luego con la atmósfera (en una torre de enfriamiento). El consumo de agua (de repuesto) corresponde a las pérdidas por evaporación y purgas para evitar la concentración de sales. El gasto de repuesto es aproximadamente 1 al 4% del gasto en el circuito. Esta es la técnica donde preferencialmente se aplica agua residual tratada.
- 3.- **Circuito cerrado.** El agua no entra en contacto directo con el medio para enfriar y en este caso el agua de repuesto es menor al circuito semi - cerrado.

IV. ACCIONES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

IV. ACCIONES A CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZO

4.1 CARTERA DE PROYECTO

4.1.1 PLANEACION DE LA CANTIDAD DE INFRAESTRUCTURA REQUERIDA

La contaminación en la cuenca del río Apatlaco se ha incrementado en gran proporción en los últimos 10 años, de acuerdo a estudios que se han realizado con anterioridad y que se han comparado con este.

Para la planeación de la cantidad de infraestructura, se verificaron los puntos más contaminados, tomando en cuenta los resultados obtenidos del análisis de la capacidad de autopurificación del río y las descargas más importantes a lo largo de éste, así como el gasto que se necesita tratar y la eficiencia necesaria de las plantas de tratamiento.

También se tomaron en cuenta el tipo de sistemas de tratamiento requeridos para cada una de las zonas, que son: plantas modulares de lodos activados, filtros percoladores o biológicos y lagunas de estabilización.

A continuación se muestra una tabla en donde se nombra el proceso de tratamiento, así como su gasto y la ubicación de la descarga que debe ser tratada.

Cuadro 14. Sistemas de tratamiento recomendados para evitar la contaminación en el río Apatlaco.

DESCARGAS	TRENES DE TRATAMIENTO	GASTO (m ³ /s)	EFICIENCIA DE DISEÑO
Parte Alta			
Cuernavaca	Ocho plantas modulares de lodos activados	0.25 c/u	90%
ECCACIV	Ampliación de la planta de tratamiento de lodos activados	0.20	90%
Parte Media			
Tomas para riego	Filtros percoladores o biológicos en cada toma		
	5a toma	0.800	75%
	6a toma	0.501	75%
Parte Baja			
Zacatepec	Laguna de estabilización	0.200	95%
Ingenio azucarero	Reuso en el interior por medio de filtros percoladores.	0.160	95%
	Laguna de aireación o facultativas para la descarga de la industria, mezclar con el efluente general y usarla para riego.	0.200	95%
Jojutla	Laguna facultativa diseñada con criterio de remoción de patógenos.	0.150	95%

4.1.2 UBICACION DE LA INFRAESTRUCTURA

La ubicación de toda la infraestructura necesaria para el tratamiento del agua residual, se hará en base a los puntos que tengan más altos niveles de contaminación, así como también se tratará el problema en el lugar mismos donde se genera, como son los puntos de descarga de aguas residuales de los municipios, de las industrias y en las tomas en donde se extrae agua del río para uso agrícola.

Se colocarán ocho plantas de tratamiento con un proceso de lodos activados para las ocho descargas de aguas residuales del municipio de Cuernavaca.

Se hará la ampliación de la planta de tratamiento de ECCACIV ubicada en el municipio de Jiutepec la cual tendrá una capacidad adicional de tratamiento de 200 L/s.

Para la descarga de agua residual del municipio de Zacatepec se colocará en ese sitio una planta de tratamiento con proceso de laguna de estabilización.

Para la descarga del municipio de Jojutla se colocará una planta de tratamiento con un proceso de lagunas facultativas la cual estará ubicada en el punto de la misma descarga.

En cuanto al ingenio azucarero se ubicará en el interior de éste, filtros percoladores para el reuso del agua, además se colocará una planta de tratamiento con un proceso de lagunas de aireación o facultativas para que esta industria pueda descargar sus desechos sin ningún peligro al río y poderla utilizar para riego agrícola.

A continuación se muestra un croquis de la ubicación de las plantas de tratamiento que se encuentran en la cuenca del río Apatlaco (lámina 12).

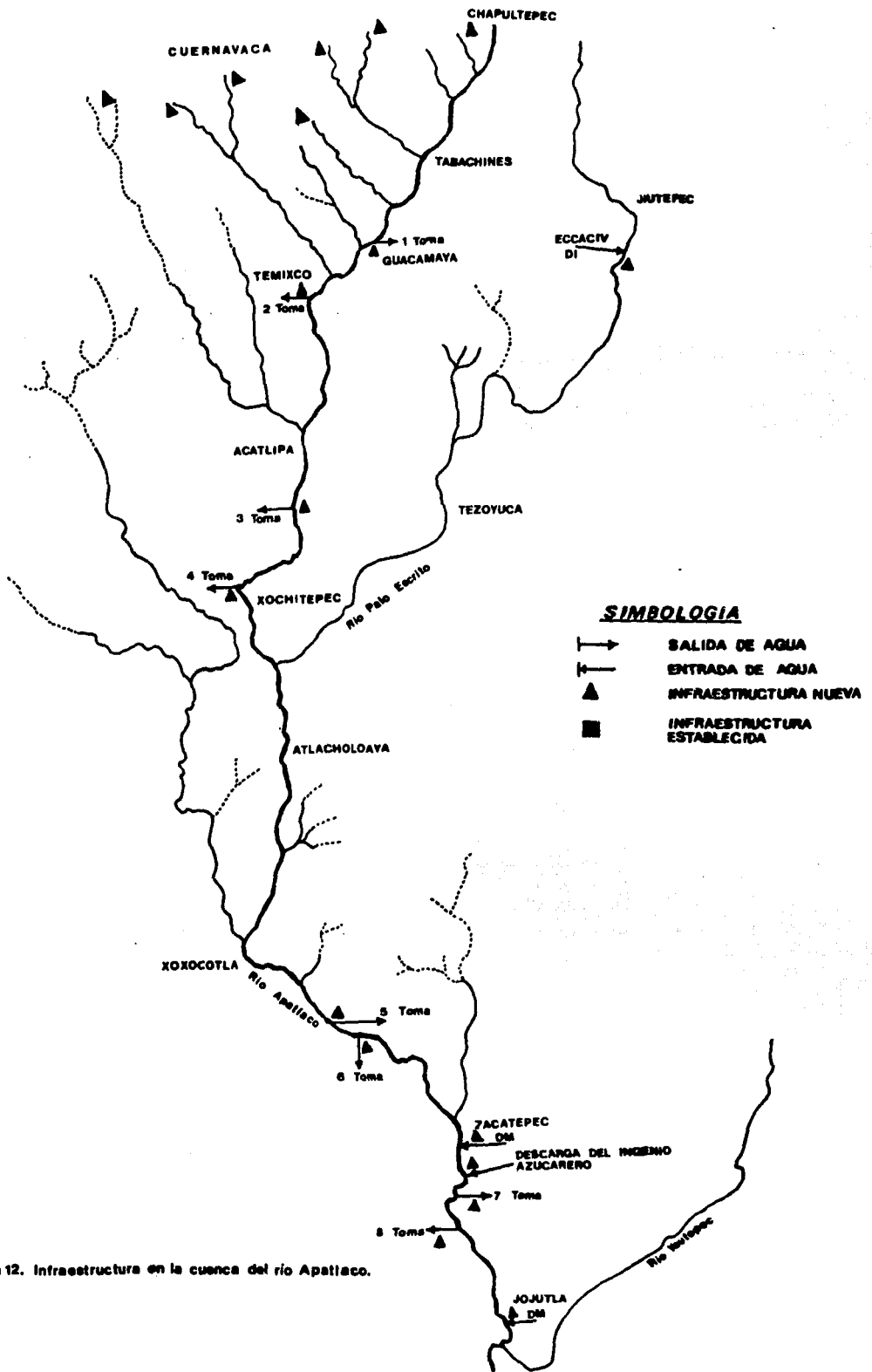


Lámina 12. Infraestructura en la cuenca del río Apatlaco.

4.1.3. PROGRAMACION DE LOS PROYECTOS

PROYECTO	AÑOS																			
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Cuernavaca	■	■	■	■	■															
ECCACIV					■	■														
Tomas para riego en: La 5a Toma																	■	■		
La 6a Toma																			■	■
Zacatepec													■	■						
Ingenio Azucarero: Filtro Percolador								■	■											
Laguna de Estabilización											■	■								
Jojutla																■	■			

4.2 EVALUACION ECONOMICA

En este tema se dará información para estimar los costos de construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales que se utilizarán para el mejoramiento de la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco.

Para realizar la evaluación económica de los trenes de tratamiento, se tomó la información sobre costos reportados por la USEPA (United States Environmental Protection Agency, 1989), debido a que este tipo de información aún no se encuentra disponible en nuestro país.

Para la realización de este trabajo se presenta en forma gráfica información que se utiliza para estimar costos de construcción de procesos completos (trenes), el cual se determina con base al caudal necesario a tratar.

La estimación económica está limitada ya que únicamente se pueden comparar trenes de tratamiento completos, no siendo posible la evaluación de las operaciones en forma individual.

Las curvas de costos consideran solo los costos de construcción. Los otros costos generalmente equivaldrán a un 25% de dicho costo el cual se deberá añadir al costo de construcción para calcular el costo final del proyecto (USEPA, 1989).

Los costos no considerados en la construcción incluyen administración, servicios legales, servicios de arquitectura/ingeniería, inspecciones e imprevistos.

La USEPA también desarrollo una serie de relaciones empíricas para la estimación del número de personal requerido para operar y mantener las plantas de tratamiento de aguas residuales, tomando como base los caudales promedio diarios y los tipos de tratamientos. Las fórmulas indicadas a continuación permiten obtener una cifra aproximada de la cantidad de personas.

$$\text{Tratamiento Primario: } S = (2.38 \times 10^{-4} \cdot Q) + 3.25$$

$$\text{Filtros Percoladores: } S = (3.14 \times 10^{-4} \cdot Q) + 2.59$$

Lodos Activados: $S = (5.13 \times 10^4 * Q) + 2.38$

Tratamiento avanzado: $S = (3.33 \times 10^4 * Q) + 5.48$

Donde: S = El número de personas necesarias para operar y mantener las instalaciones de plantas de tratamiento.

Q = Caudal promedio en m³/día.

A continuación se hará el análisis económico de cada planta de tratamiento utilizando las gráficas y aplicándole al valor obtenido un factor de corrección correspondiente.

Cuadro 15. Factores de corrección

PROCESO	FACTOR
Laguna de Estabilización	1
Filtro Percolador	0.5
Lodos Activados	0.5

NOTA: MULTIPLICAR LA LECTURA REALIZADA DE COSTO DE CONSTRUCCIÓN POR EL FACTOR CORRESPONDIENTE.

Las láminas 13, 14 y 15 presenta respectivamente las gráficas costo vs flujo del proceso de laguna de oxidación, filtro percolador y lodos activados, que se utilizan para el costo de construcción.

El cuadro 16 muestra los resultados de los costos obtenidos de las gráficas así como el número de personal requerido para operar y mantener las plantas de tratamiento.

Cuadro 16. Costos y número de personas requeridas para operar y mantener las plantas de tratamiento.

DESCARGA	PROCESO	GASTO Miles m ³ /d	FACTOR DE CORREC- CION	COSTO DE CONSTRUCCION Millones Dolares	COSTO INDIRECTO Millones Dolares	COSTO TOTAL Millones Dolares	PERSONAL REQUE- RIDO
Cuernavaca	Lodos Activados	21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
		21.600	0.5	3.750	0.9375	4.6875	14
ECCACIV	Lodos Activados	17.280	0.5	3.200	0.8000	4.0000	12
Tomas para riego	Filtros Percola- dores para: 5a toma 6a toma	69.120	0.5	6.400	1.6000	8.0000	25
		43.286	0.5	4.750	1.1875	5.9375	17
Zacatepec	Laguna de Estabilización	17.280	1	4.270	1.0675	5.3375	12
SUBTOTAL				48.620	12.155	60.775	

Cuadro 16. Costos y numero de personas requeridas para operar y mantener las plantas de tratamiento, (continuación).

DESCARGA	PROCESO	GASTO Miles m ³ /d	FACTOR DE CORREC- CION	COSTO DE CONSTRUCCION Millones Dolares	COSTO INDIRECTO Millones Dolares	COSTO TOTAL Millones Dolares	PERSONAL REQUE- RIDO
Ingenio Azucarero	Filtro Percolador	13.824	0.5	2.375	0.5937	2.9687	7
	Laguna de Estabilización	17.280	1	4.270	1.0875	5.3375	12
Jojutla	Laguna de Estabilización	12.960	1	3.300	0.8250	4.1250	9
SUBTOTAL				9.945	2.4862	12.4312	
TOTAL				58.585	14.6412	73.2062	

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

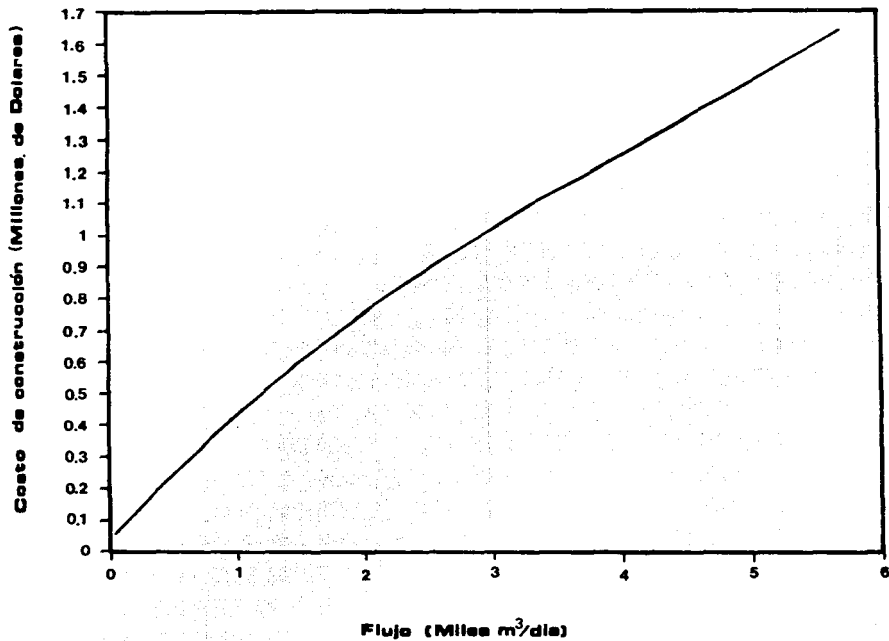


Lámina 13. Costo de construcción vs flujo

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

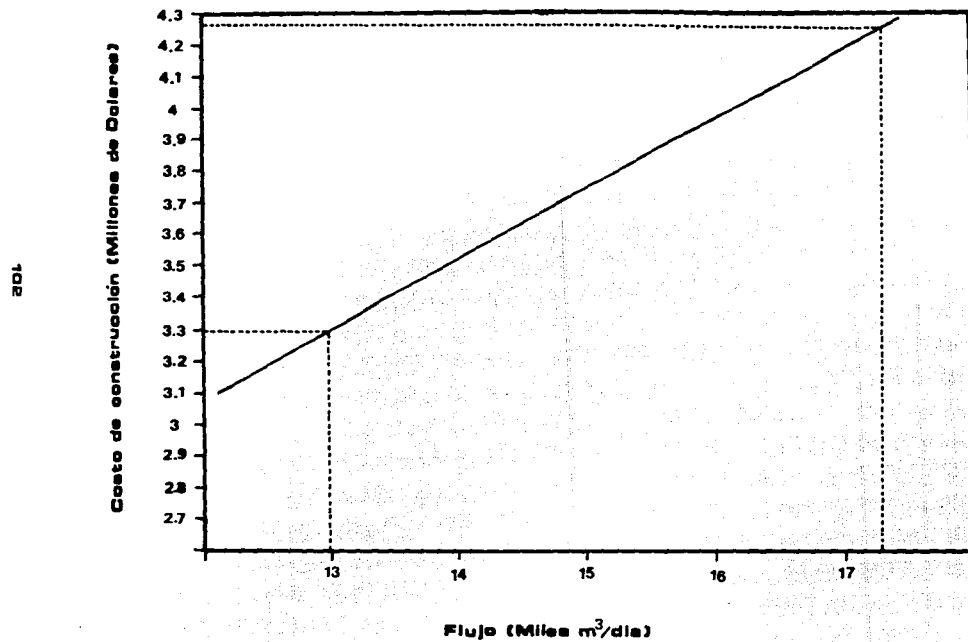


Lámina 13. Costo de construcción vs flujo

FILTRO PERCOLADOR

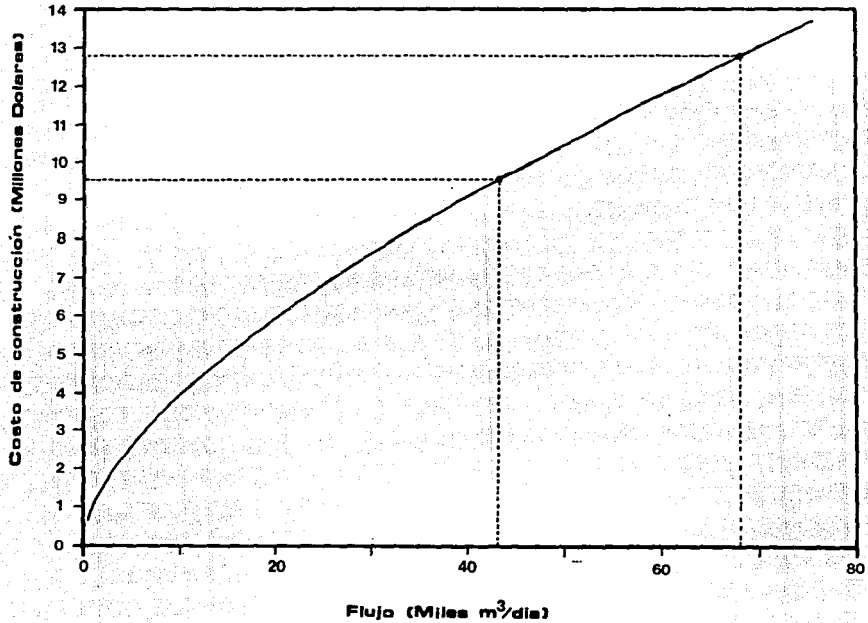


Lámina 14. Costo de construcción vs flujo

FILTRO PERCOLADOR

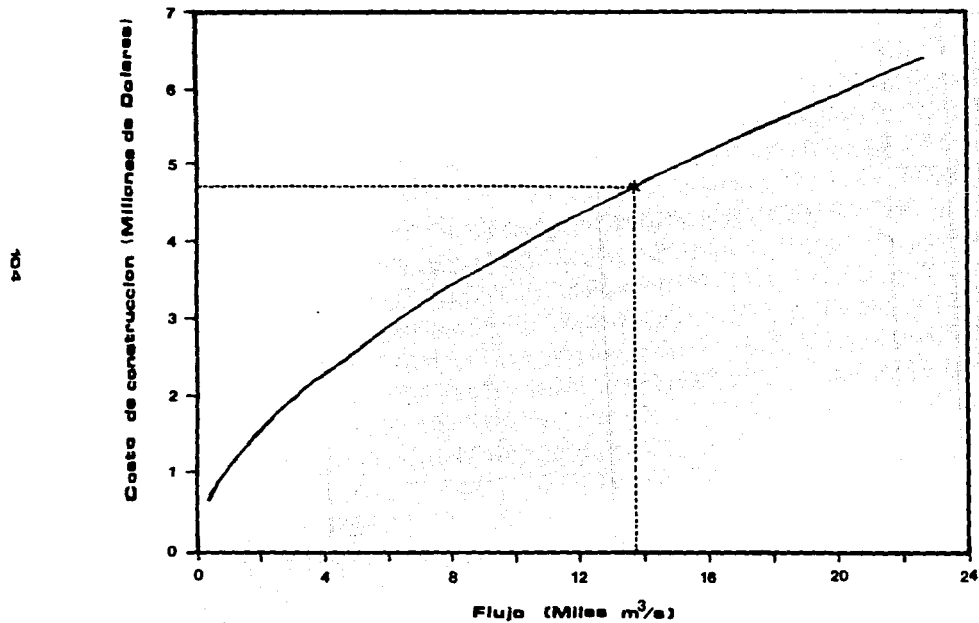
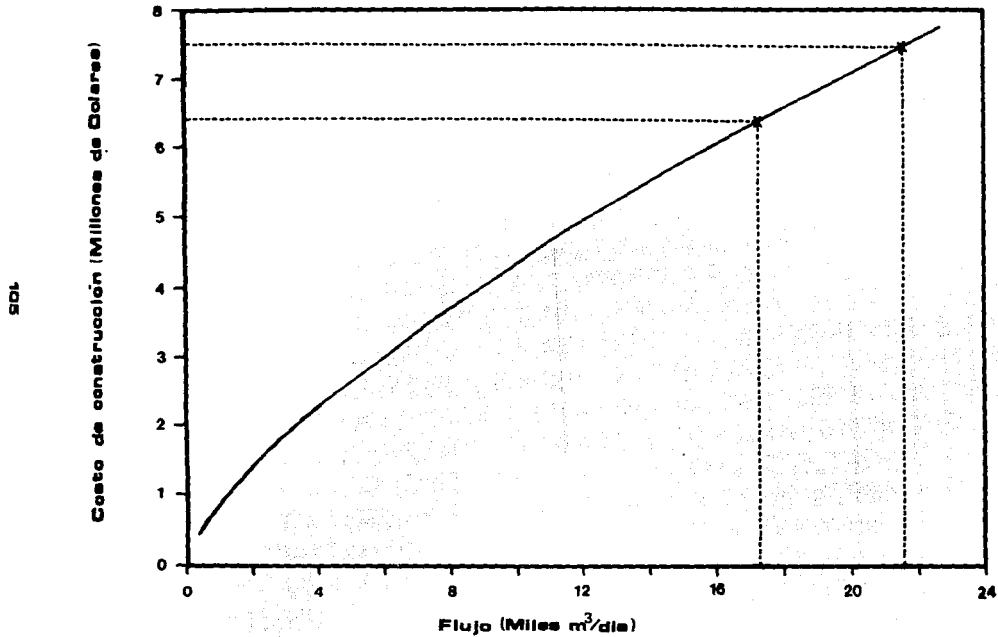


Lámina 14. Costo de construcción vs flujo (continuación).

LODOS ACTIVADOS



Lamina 15. Costo de construcción vs flujo

LODOS ACTIVADOS

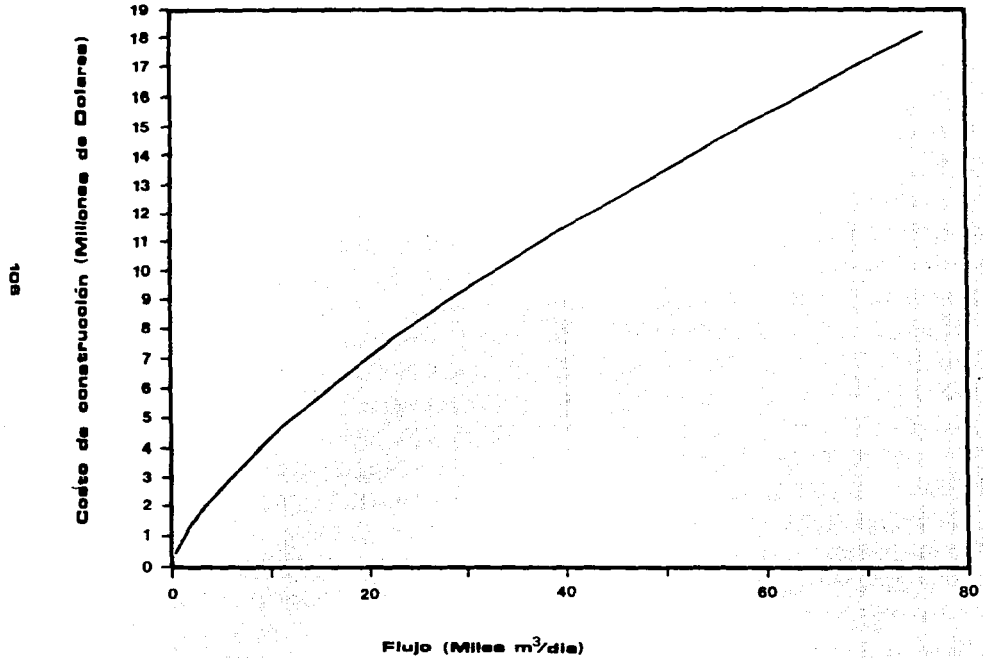


Lámina 15. Costo de construcción vs flujo

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de la información obtenida durante la realización de este trabajo permite dar las siguientes conclusiones:

- 1.- En base a las estadísticas geográficas proporcionadas por el INEGI, se pudo apreciar el gran crecimiento de la población y de las industrias situadas dentro del área de estudio, las cuales están provocando la contaminación en la cuenca del río Apatlaco.
- 2.- En la parte alta de la cuenca las principales fuentes de contaminación son las descargas de Cuernavaca, Temixco, Jiutepec, Emiliano Zapata y ECCACIV; en la parte media el deterioro de la calidad del agua se debe principalmente a las descargas recibidas en la parte alta, por lo que esta zona representa una fase importante en el proceso de autopurificación; en la parte baja las descargas municipales de Zacatepec y Jojutla, así como la del Ingenio azucarero Emiliano Zapata, son las fuentes de contaminación más importantes.
- 3.- Debido a las grandes descargas de contaminación, la calidad del agua en la cuenca del río Apatlaco está muy deteriorada, por lo cual el análisis de capacidad de autopurificación del río (modelo matemático de STREETER Y PHELPS), comparados con otros estudios dio como resultado que los requerimientos de remoción de materia orgánica se han incrementado considerablemente de la siguiente manera:
 - a) En la parte alta del 70 al 90%
 - b) En la parte media del 60 al 85%
 - c) En la parte baja del 80 al 95%
- 4.- Para la solución de este problema de contaminación, los sistemas de tratamiento requeridos para cada una de las zonas son: plantas modulares de lodos activados, filtros percoladores o biológicos, lagunas de estabilización y el reuso de estos efluentes.

- 5.- La finalidad de estos sistemas de tratamiento es que después de que el agua residual sea tratada, pueda ser aprovechada como fuente de abastecimiento industrial, en riego agrícola o como descarga al cuerpo receptor, sin riesgo de aumentar su deterioro en la calidad.
- 6.- Se recomienda el reuso del agua en la fuente puntual de contaminación del Ingenio azucarero, de esta manera se reduce la carga contaminante que recibe la corriente ya que la autopurificación sólo es capaz de mantener las buenas condiciones estéticas y sanitarias del río.
- 7.- Fijar condiciones particulares de descarga a la industria azucarera y a los sistemas municipales de alcantarillado que efectúen sus descargas al río Apatlaco, con el objeto de que el río en función del proceso de autopurificación recobre sus características de calidad del agua y se ubique dentro de los criterios ecológicos.
- 8.- Debido a la alta permeabilidad de los suelos de la región, el tratamiento de las descargas de aguas residuales contribuiría a evitar la contaminación de los mantos acuíferos.
- 9.- En cuanto a la evaluación económica se determinaron los costos de cada uno de los procesos de tratamiento con base a las necesidades del efluente a tratar, requiriendo una inversión total de 73.2 millones de dolares.
- 10.- La aplicación de todo este trabajo se puede realizar a otras cuencas que tenga condiciones semejantes a la del río Apatlaco, ya que los resultados obtenidos del estudio son confiables, llegando a aproximaciones muy cercanas a la realidad.

VI. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Secretaría de Programación y Presupuesto, (1981). Síntesis geográfica de Morelos. Coordinación General de Servicios Nacionales de Estudios Geográficos e Informática. México, 110 p.
- 2.- Bejarano, F., Los plaguicidas más peligrosos en México. Ecología, V.2 (5), 1988, 160 pp.
- 3.- Cortina, D.A.F., Algunos aspectos de la contaminación de suelos y agua en el Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis de licenciatura. Escuela de Ciencias Biológicas, UAEM, México, (1973), 88 pp.
- 4.- Cubillas, C.B.; García, C.J.; Gutierrez, L.E., Efecto de la descarga de agua residual industrial (Tenería Morelos) y municipal (Ciudad de Cuautla) sobre la calidad del agua del río Cuautla, Estado de Morelos. Informe final, IMTA-SARH, Subcoordinación de Calidad del Agua, Coordinación de Investigación, (1986), 28-44 pp.
- 5.- Ortiz, B.S., Diagnóstico de calidad del agua del río Apatlaco con fines de riego agrícola. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Químicas e Industriales, 1988, 161 pp.
- 6.- INEGI, Resultados del XI censo general de población y vivienda, INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México 1990, 285 pp.
- 7.- SARH, Boletín Hidrológico No. 47, Región Hidrológica No. 18 Parcial, Cuenca del río Amacuzac, SARH, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Dirección de Hidrología, México, 1971.
- 8.- SARH, Clasificación de los ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla, Cuenca del río Amacuzac en el estado de Morelos. SARH, Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, Subdirección de Normas y Vigilancia, Departamento de Clasificación de Cuerpos Receptores, México, 1980, 106 pp.

- 9.- SARH, Manual de agroquímicos, químico-farmacéuticos, alimenticios y biológicos, V. I. Plaguicidas, SARH, Dirección General de Sanidad y Protección Agropecuaria y Forestal, Subsecretaría de Desarrollo y Fomento Agropecuario y Forestal, México, 1988, 396 pp.
- 10.- SARH-IMTA, Informe final del proyecto evaluación del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso hidráulico, 1a Edición, 1a versión, IMTA, Subcoordinación de Calidad del Agua, Jiutepec, Morelos, 1988, 61 pp.
- 11.- IMTA, Manejo integral de la subcuenca del río Apatlaco, estado de Morelos, IMTA, Jiutepec, Morelos, 1990, 27 pp.
- 12.- SARH/SSA/SECOFI/SEDUE, Catálogo oficial de plaguicidas de 1987, Comisión Nacional de Ecología. Subcomisión de Control de Agroquímicos, México, D.F., 1987, 224 pp.
- 13.- SRH, Estudio de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac, (segunda etapa); SARH, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Uso del Agua y Prevención de la Contaminación, México, 1973, 130 pp.
- 14.- Vizcaino, M. F., La contaminación en México, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, D.F., 1975, 514 pp.
- 15.- SARH, Contaminación del Agua, SARH, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Uso del Agua y Prevención de la Contaminación, México.
- 16.- Diario Oficial de la Federación. Organismo del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Desarrollo Social. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Protección Ambiental.
- 17.- CNA, Reuso del agua residual en la agricultura e industria, Subgerencia de Saneamiento de Cuencas y Reuso, México, 1994.
- 18.- Hernández Muños Aurelio, Depuración de Aguas Residuales, Colección SEINOR No. 9. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Servicios de publicaciones de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid (U.P.M), España, 1992.

- 19.- CNA, Alternativas de tratamiento de aguas residuales. Instituto de Tecnología del Agua, IMTA, Colección Manuales.
- 20.- Catalán Lafuente José, Catalán Alfonso José María, Ríos, caracterización y calidad de sus aguas, Editorial DIHIDROX, España, 1987.
- 21.- Kano, Teresa, Dimensionamiento y selección técnico-económico de procesos de tratamiento de aguas residuales. Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Químico, UNAM, México, D.F., 1991.
- 22.- Castelan Crespo J. Enrique, Elaboración del programa computarizado SICLACOR (Sistema de clasificación de corrientes) para determinar la capacidad de autopurificación del río Santiago por las descargas de aguas residuales que recibe a lo largo de su recorrido. Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil, I.P.N., México D.F., 1994.