

9  
Liz

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES " ARAGON "

I N G E N I E R I A

APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE  
LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO MOCTEZUMA

TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

LUCIO TIZOC DOMINGUEZ RODRIGUEZ



## **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.



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON  
DIRECCION

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE  
MEXICO

LUCIO TIZOC DOMINGUEZ RODRIGUEZ  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 8 de mayo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. AMADO GAYOSO CHAVEZ pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " APLICACION DE UN MODELO MATEMATICO PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO MOCTEZUMA ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Méx., mayo 30 de 1985.  
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería (21).  
Unidad Académica.  
Departamento de Servicios Escolares.  
Asesor de Tesis.

# CONTENIDO

	Pag.
ADVERTENCIA .....	I
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO PRIMERO	
ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RIO MOCTEZUMA	
I.1 Generalidades .....	8
I.1.1 Localización .....	13
I.1.2 Orografía .....	18
I.1.3 Hidrografía .....	19
I.1.4 Demografía .....	21
I.2 Hidrología y Climatología .....	22
I.2.1 División en Subcuencas .....	23
I.2.2 Hidrología .....	24
I.2.3 Climatología .....	31
CAPITULO SEGUNDO	
OBRAS HIDRAULICAS, USOS DEL AGUA Y FUENTES DE CONTAMINACION EN LA CUENCA.	
II.1 Obras Hidráulicas .....	36
II.1.1 Obras de Riego Agrícola .....	36
II.1.2 Obras de Aprovechamiento Industrial y Doméstico .....	39



	Pag.
II.2 Usos del Agua .....	42
II.2.1 Usos Actuales .....	43
II.2.2 Usos Futuros .....	51
II.3 Fuentes de Contaminación .....	52
II.3.1 Descargas Municipales .....	56
II.3.2 Descargas Industriales .....	57

### C A P I T U L O   T E R C E R O

#### BALANCE HIDRAULICO Y GASTOS DE DISEÑO DEL RIO.

III.1 División de la Corriente .....	62
III.2 Gastos de Diseño .....	65
III.3 Balance Hidráulico del Gasto de Diseño .....	66

### C A P I T U L O   C U A R T O

#### CALIDAD DEL AGUA.

IV.1 Muestreo de Campo' .....	70
IV.2 Caracterización del Agua .....	75
IV.3 Comentarios de la Calidad del Agua .....	82

### C A P I T U L O   Q U I N T O

#### APLICACION DEL MODELO MATEMATICO.

V.1 Cálculo de Constantes y Coeficientes .....	88
V.1.1 Constante de Desoxigenación ( $K_D$ ) .....	89
a). Método de los Momentos de Moore, Thomas y Snow .....	90

	Pag.
b). Método Simplificado de Thomas Jr. ....	92
c). Método Gráfico Basado en la Remoción de DBO .....	95
d). Método Empírico .....	95
V.1.2 Constante de Remoción de DBO ( $K_R$ ) .....	96
V.1.3 Constante de Reaereación ( $K_2$ ) .....	97
V.1.4 Corrección por Temperatura .....	98
V.1.5 Valores Recomendados para las Constantes .....	99
V.1.6 Cálculo de la Constante de Desoxigenación .....	100
V.1.7 Cálculo de Distancias y Tiempos de Recorrido .....	101
V.2 Carga Remanente .....	102
V.2.1 Cálculo de la Carga Remanente .....	104
V.3 Capacidad de Asimilación y Dilución .....	116
V.3.1 Cálculo del Déficit de Oxígeno .....	119
V.3.2 Cálculo del Tiempo Crítico .....	122
V.3.3 Cálculo de la Carga Orgánica Crítica .....	124
V.3.4 Cálculo de la Carga Orgánica Futura .....	128
 <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
Conclusiones .....	144
Recomendaciones .....	146
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>148</b>

I N D I C E  
DE  
GRAFICAS Y ANEXOS

	Pag.
- Cuenas de Primer Orden para el Control de la Contaminación del Agua .....	11
- Fuentes de Carga Orgánica y su Distribución .....	12
- Croquis de Localización de la Cuenca del Río Pánuco .....	15
- Croquis de la Cuenca del Río Pánuco .....	17
- Tabla de Datos Climatológicos .....	34
- Fuentes de Contaminación en la Cuenca del Río Moctezuma ....	60
- Balance Hidráulico y Gastos de Diseño .....	67
- Gráfica del Gasto de Diseño .....	68
- Tabla No. 2 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas .....	77
- Anexo de la Tabla No. 2 del Reglamento .....	78
- Tabla No. 3 ( anexo de la tabla no. 2 ) .....	79
- Tabla de Resultados de Laboratorio .....	80

- Carga Orgánica Aportada por los Afluentes del Río Moctezuma .....	81
- Gráfica para Obtener Valores de $K_D$ .....	93
- Cuadro Resumen de Carga Remanente .....	114
- Gráfica de Carga Orgánica Remanente ( actual ) .....	115
- Cuadro Resumen de Carga Orgánica, expresada como DBO <sub>5</sub> en Ton/día ( actual ) .....	126
- Gráfica de Carga Orgánica en el Río Moctezuma (actual) ....	127
- Cuadro Resumen de Carga Remanente ( futura ) .....	139
- Gráfica de Carga Orgánica Remanente ( futura ) .....	140
- Cuadro Resumen de Carga Orgánica, expresada como DBO <sub>5</sub> en Ton/día ( futura ) .....	141
- Gráfica de Carga Orgánica en el Río Moctezuma (futura) ....	142

**ADVERTENCIA.**

El objetivo principal de este trabajo, es mostrar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, que en el área Sanitaria, en la parte correspondiente a Contaminación de Aguas, existe un campo poco explorado que cada día es más importante conocer: EL SANEAMIENTO DEL AGUA, que es de vital importancia para la salud humana, la agricultura, la industria y en general el desarrollo del país.

En el presente trabajo, analizaremos los fenómenos de ausencia de oxígeno (estado séptico) y la capacidad del río Moctezuma de asimilar y diluir la carga orgánica producida por descargas de aguas residuales, esto, mediante el planteamiento teórico de un modelo matemático que simula el comportamiento de la corriente mencionada.

Por lo anterior, es importante dejar claro que en la naturaleza no se presentan las mismas condiciones físicas, químicas y bacteriológicas en las corrientes de agua, pues cada una de ellas observa características diferentes y complejas, lo que motiva que se analicen en forma particular, contemplando aspectos importantes como; velocidad de la corriente de agua, hidrología, climatología, aprovechamientos existentes, origen y tipo de las descargas de aguas residuales, etc.

En base a lo anterior, es pertinente hacer la aclaración de que este trabajo no pretende ser un tratado generalizado de saneamiento ambiental, más bien se da una base para analizar la contaminación de una corriente de agua a través de un modelo matemático establecido.

## I N T R O D U C C I O N

Las crecientes demandas de agua que exige el desarrollo industrial, agrícola, económico y tecnológico del país, hace que en múltiples cuerpos de agua estas demandas ocasionen problemas entre los diversos usos, como son el doméstico, urbano, agrícola, industrial, etc., de aquí que sea necesario aprovechar óptimamente el recurso de que se dispone para solucionar el problema más inmediato y urgente, que es el de proteger, controlar y conservar dicho recurso en condiciones de calidad tales que permitan los usos legítimos que el hombre puede darle. Esto conlleva la necesidad de conocer el comportamiento de la calidad del agua, de todos y cada uno de los cuerpos receptores de la República Mexicana y de los distintos factores que de alguna manera, incidan en su contaminación o lleguen a contaminarla.

Sin embargo, la lucha contra la contaminación no debe ser un freno para nuestra industrialización y crecimiento, las experiencias en los países desarrollados que han adoptado medidas para la prevención y control de la contaminación del agua, nos indican que es compatible el desarrollo de una nación con la adopción de medidas técnicas y jurídicas que eviten la degradación de sus cuerpos de agua.

Todo lo anterior, motivó el desarrollo de este trabajo de tesis y elegir al río Moctezuma por ser el colector general de la cuenca hidrográfica de mayor contaminación del país, y transportador de las descargas del sistema de drenaje de la ciudad de México y área metropolitana. Además, por conocer las consecuencias y alteraciones que puede ocasionar a lo largo de su trayectoria al llevar carga orgánica contaminante. Asimismo, poder aplicar un modelo matemático establecido para analizar su comportamiento y estar en posibilidad de dar alternativas de control, prevención y saneamiento de dicha corriente de agua.

La aplicación del modelo matemático planteado por STREETER & PHELPS y la Clasificación de Cuerpos Receptores, forman un conjunto de actividades encaminadas a conocer el comportamiento de la calidad del agua, de las corrientes sometidas a la acción de una carga orgánica contaminante y destinadas a un uso determinado a lo largo de su recorrido. Su finalidad, es determinar los criterios técnicos y los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de calidad que deben reunir las descargas de aguas residuales, que se viertan directa o indirectamente a algún cuerpo receptor de acuerdo a su capacidad de asimilación y dilución, de tal forma, que se mantenga la calidad necesaria en el agua para los usos que de ellos se haga.



Para lograr lo anterior, fué necesario realizar una serie de investigaciones informativas en campo y en instituciones afines con este tema, como la Dirección General de Administración de Usos del Agua, de la S.A.R.H. principalmente, ya que ésta, es la encargada de realizar los estudios de Clasificación de Cuerpos Receptores que menciona el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Agua.

Con la información obtenida, en el capítulo primero se hace una descripción de los aspectos generales de la cuenca del río Moctezuma, conociendo en forma detallada sus características de localización, orografía, hidrografía, demografía, hidrología y climatología, además de proporcionar un panorama más amplio de la cuenca y tener mayores bases para aplicar criterios lógicos en nuestro trabajo.

En el capítulo segundo, se analizan las principales causas por las cuales la corriente, a consecuencia de los diferentes usos actuales a que se somete el agua y por los efectos de las principales fuentes de contaminación que inciden directa e indirectamente en el río Moctezuma, se está contaminando y por consiguiente sufriendo degradación la calidad del agua.

A partir del capítulo tercero, se establecen los límites de-

aplicación del modelo y se divide la corriente en tramos, para determinar el balance hidráulico del gasto de diseño en cada uno de éstos, el cual nos servirá para empezar a desarrollar el modelo matemático.

Una vez que se tiene definida y limitada la corriente, se procede a conocer la calidad del agua tanto de la misma corriente como de sus afluentes y principales fuentes de contaminación. Esto se describe en el capítulo cuarto donde también se pueden apreciar las técnicas empleadas para el muestreo de aguas, su caracterización en el laboratorio y los comentarios sobre la calidad de los mismos con respecto al Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

En el capítulo quinto, a partir del gasto de diseño, velocidad de la corriente, distancias entre tramos y los datos de laboratorio, se procede a aplicar el modelo matemático de STREETER & PHELPS, que simula el comportamiento de la calidad del agua del río Moctezuma, cuando éste transporta y recibe carga orgánica contaminante de diversas fuentes de contaminación. Aquí se explica su funcionamiento, así como las constantes y coeficientes que lo conforman, se determina el tiempo de recorrido de la carga orgánica en cada tramo, la constante de desoxigenación, el comportamiento actual de la corriente con respecto a la carga orgánica y el balance entre la carga orgánica

nica transportada y las aportaciones que a lo largo de su trayecto recibe.

Con la aplicación de la primera ecuación del modelo, se determina la cantidad de materia orgánica que es capaz de remover la corriente en cada tramo recorrido y su carga remanente, mostrando que en los primeros tres tramos es casi nula la remoción de carga orgánica, debido principalmente a que en el inicio de la corriente no existe oxígeno para descomponer la materia orgánica, es decir, su estado es séptico y ésto provoca que no alcance a biodegradarse la materia orgánica en forma natural, lo que obliga conocer los porcentajes de remoción de carga orgánica que se deben aplicar a las fuentes de contaminación, para lograr el saneamiento del río.

Finalmente, para obtener dichos porcentajes se procede a determinar el déficit de oxígeno de la corriente, tanto el inicial como el crítico y establecer la carga orgánica crítica que puede asimilar y diluir el cuerpo de agua, y de esta manera, hacer una comparación entre los resultados obtenidos y la carga remanente (la que no puede asimilar y diluir la corriente), para lograr fijar los porcentajes de remoción que se deberán aplicar a las descargas de aguas residuales y conocer la carga orgánica deseable que en un futuro deberá transportar el río Moctezuma.

Con lo anterior, se está logrando sanear en una primera etapa, más del 80% de la corriente y si aplicamos en un mediano plazo otra etapa de saneamiento, el río podrá asimilar y diluir toda la carga orgánica contaminante que le sea vertida y así, quedar saneado en un 100% logrando una calidad adecuada para los usos que de ella se realicen.

# CAPITULO I

## ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RIO MOCTEZUMA.

## I.1. Generalidades.

La cuenca del río Moctezuma con todas sus características, es parte integral de la cuenca del río Pánuco, que a su vez, es una de las regiones hidrográficas más importantes del país, tanto por la superficie que ocupa (84,956 Km<sup>2</sup>), como por el volumen de su escurrimiento medio anual que es del orden de los 18 000 millones de m<sup>3</sup>, además es la cuenca con prioridad número uno, por su grado de contaminación en el agua, ésto de acuerdo a la información proporcionada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Dirección General de Administración de Usos del Agua, la cual informa que ha analizado 218 cuencas hidrológicas, encontrando 11 de primer orden, 43 de segundo orden y 164 de tercer orden, dicha clasificación la realizan en base a la carga orgánica<sup>(1)</sup> que generan sus localidades y que al ser vertida a los cuerpos de agua producen la degradación de su calidad.

Por lo tanto, requieren atención inmediata las cuencas de primer orden, ya que en ellas se encuentra el 60% de la carga orgánica que se genera por las diversas actividades del país, el 65% de la población total del país, el 58% de las superficies de riego, el 80% del valor bruto de la producción industrial y el 15% del volumen de escu-

(1) Carga Orgánica.- Cantidad de desechos, materias o sustancias que pueden ser degradadas o descompuestas en forma natural a través del recorrido de la corriente o por medio de procesos de tratamiento físico-químicos.

rrimientos en los ríos. Como información y de acuerdo a estimaciones de la S.A.R.H., se presenta la siguiente lista de prioridad de las cuencas de primer orden:

Cuenca	Carga Orgánica en Kg de DBO/año (estimada)	Porcentaje con respecto al total de las 11 cuencas.
PANUCO	334 721 590	37 %
LERMA	134 784 687	16 %
BALSAS	92 293 830	10 %
RIO BLANCO	60 471 569	7 %
GUAYALEJO	60 426 204	7 %
SAN JUAN	60 287 424	7 %
CULIACAN	48 682 455	5 %
FUERTE	48 163 054	5 %
COAHUAYANA	26 423 497	3 %
NAZAS	16 075 089	2 %
CONCHOS	11 911 288	1 %
<b>T O T A L</b>	<b>894 240 687</b>	<b>100 %</b>

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno.- Cantidad de oxígeno requerida - por las bacterias para estabilizar la materia orgánica biodegradable

en condiciones aerobias. Es un parámetro que determina la cantidad de materia orgánica presente en el agua; además nos puede indicar la presencia de sustancias tóxicas y orgánicas resistentes a la degradación biológica.

Como puede apreciarse, la cuenca del río Pánuco en la que se encuentra el río Moctezuma (colector principal de esa cuenca), tiene una carga orgánica total de 334 721 590 Kg de DBO/año y en base a la información de la S.A.R.H., está distribuida de la siguiente manera:

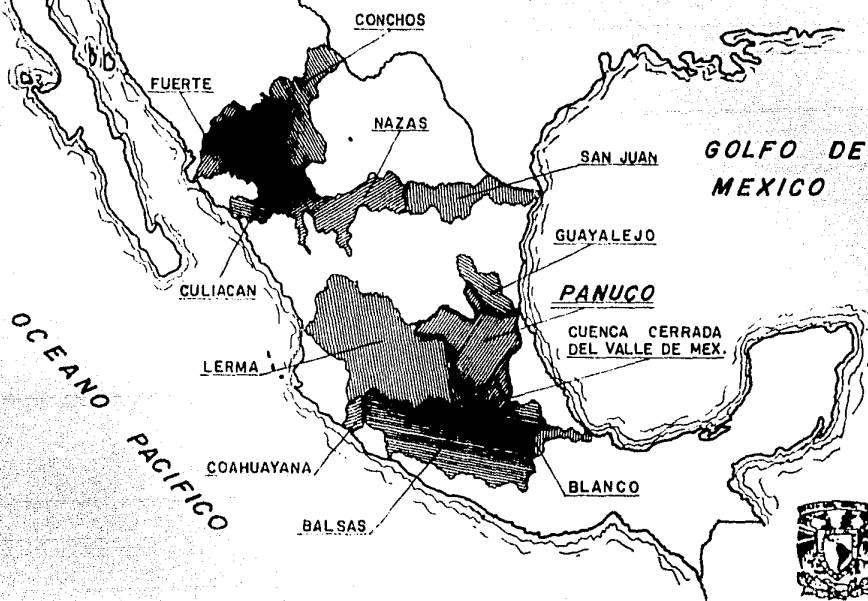
Localidad	Carga Orgánica como DBO en Kg/año estimada.	% de DBO respecto a la carga orgánica total en la cuenca.	% de DBO debido a la población.	% de DBO debido a la industria.
DISTRITO FEDERAL	310 523 696	92.8	47	53
TAMPICO Y CD. MADERO	10 854 098	3.2	36	64
CD. VALLES	10 587 669	3.1	5	95
PACHUCA	1 547 263	0.5	90	10
PANUCO	1 199 864	0.4	29	71



ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

CUENCAS DE 1º ORDEN

- 28% AREA TOTAL
- 65% POBLACION TOT.
- 80% PRODUCCION INDUSTRIAL



FUENTE: S. A. R. H. DIR. GRAL. DE  
ADMN. DE USOS DEL AGUA



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "ARAGON"  
INGENIERIA

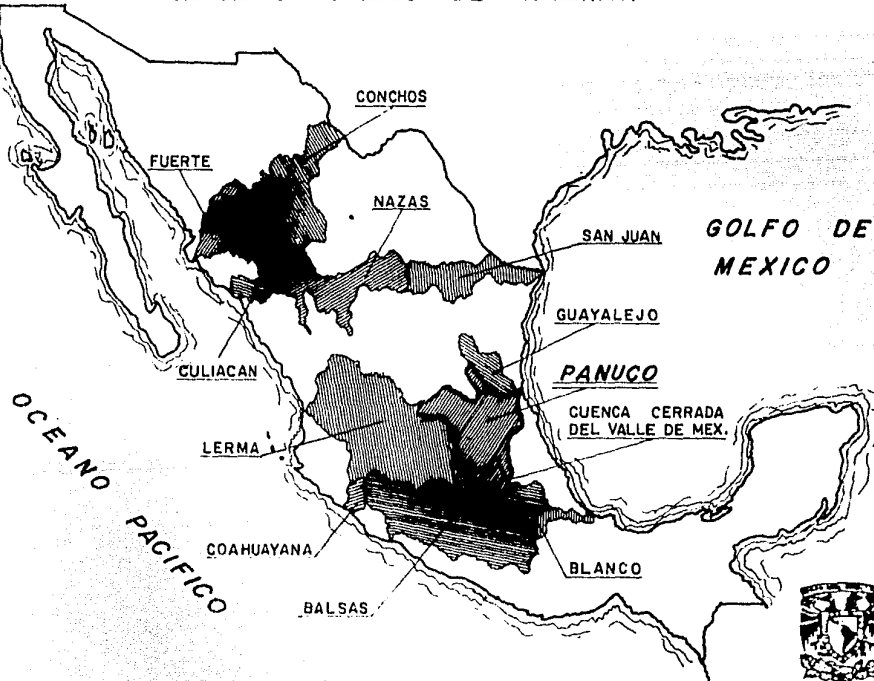
UNAM

CUENCAS DE PRIMER ORDEN  
PARA EL CONTROL DE LA  
CONTAMINACION DEL AGUA

DIBUJO: LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.

REVISO: ING. AMADO GAYOSO CH.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA



CUENCAS DE 1º ORDEN

- 28% AREA TOTAL
- 65% POBLACION TOT.
- 80% PRODUCCION INDUSTRIAL

FUENTE: S. A. R. H. DIR. GRAL. DE  
ADMON. DE USOS DEL AGUA



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "ARAGON"  
INGENIERIA

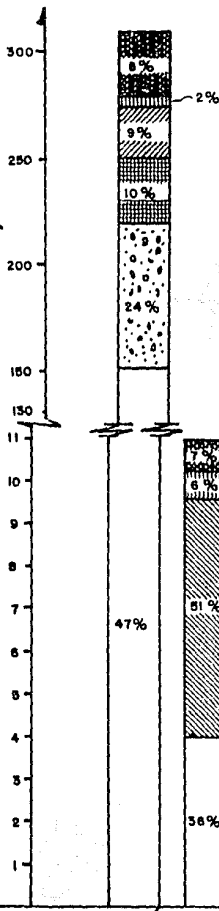
UNAM

CUENCAS DE PRIMER ORDEN  
PARA EL CONTROL DE LA  
CONTAMINACION DEL AGUA









DIBUJO: LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.

REVISO: ING. AMADO GAYOSO CH.

CARGA ORGANICA EN MILLONES DE KG. DE DBO/AÑO



SIMBOLOGIA

-  POBLACION
-  PROD. QUIMICOS
-  IND. AZUCARERA
-  BEBIDAS ALCOHOLICAS
-  IND. PETROLERA
-  MATANZA DE GANADO
-  IND. PAPELERA
-  OTRAS INDUSTRIAS

CUENCA DEL RIO PANUCO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "A R A G O N"  
INGENIERIA

U  
N  
A  
M

FUENTES DE CARGA  
ORGANICA Y SU  
DISTRIBUCION

DIBUJO: LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.

REVISO: ING. AMADO GAYOSO CH.

Observando lo anterior, se obtiene que aproximadamente el 93% de la carga orgánica total de la cuenca, se genera en el Distrito Federal, o sea en el inicio de la cuenca. Después del D.F., la segunda fuente principal de contaminación se encuentra en Tampico y Cd. Madero, Tamps., con el 3.2%, considerándose que afecta poco a la cuenca dada su cercanía al mar, sin embargo sí afecta la flora y fauna marina especialmente en las lagunas adyacentes a dichas ciudades que son fuente importante de producción pesquera.

Para este trabajo es importante considerar la magnitud de las aportaciones procedentes de la cuenca cerrada del Valle de México, por la carga orgánica que contiene.

#### I.1.1. Localización.

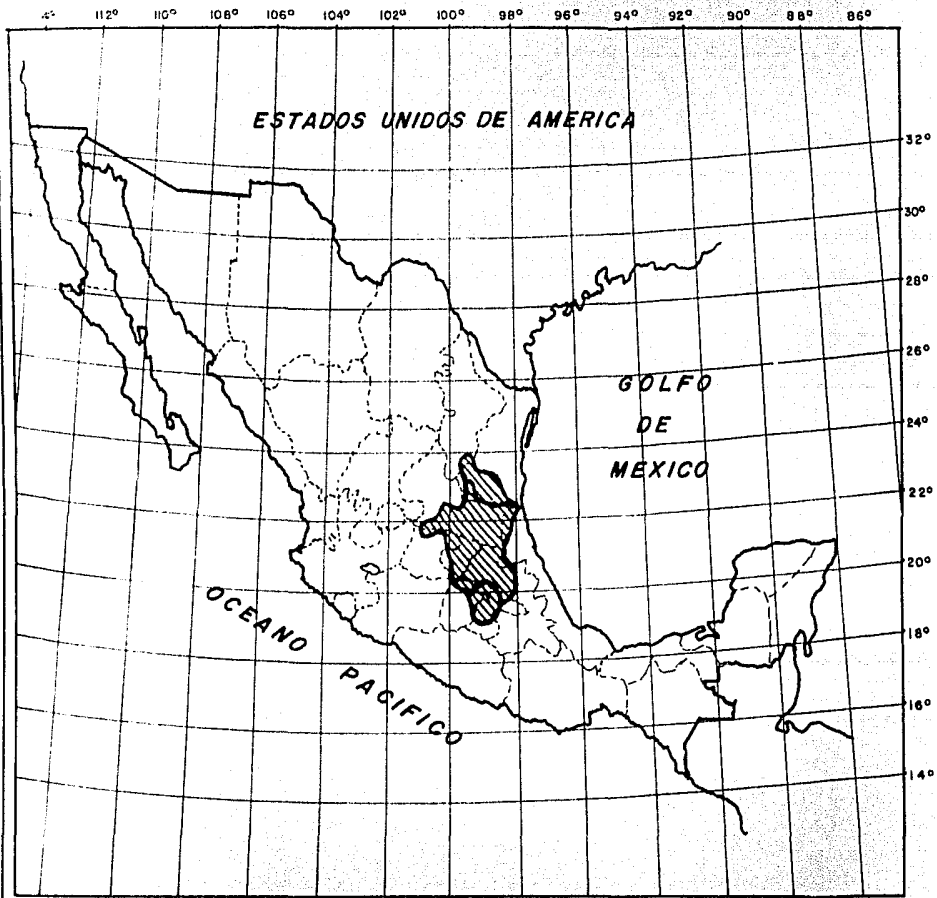
La cuenca del río Pánuco pertenece a la vertiente del Golfo de México y se localiza entre los 19° y 24° de latitud norte y los 97° 45' y 101° 20' de longitud oeste.

Junto con el Valle de México, integra la región hidrológica No. 26, de acuerdo con la división establecida por la Dirección de Hidrología de la S.A.R.H. Se encuentra limitada por las siguientes -

cuenas hidrográficas: al norte, la del río Soto la Marina y la región de El Salado; al poniente la del río Lerma; al sur la del río Balzas - y al oriente las de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla.

El río Pánuco recibe aportaciones procedentes de numerosas - corrientes que se originan y fluyen por las siguientes entidades fede- rativas:

Estado	Area en Km <sup>2</sup>	%
México	2,422	2.8
Puebla	72	0.1
Hidalgo	16,965	20.0
Querétaro	9,351	11.0
Veracruz	10,295	12.1
Guanajuato	5,243	6.2
San Luis Potosí	23,503	27.7
Tamaulipas	16,615	19.5
Nuevo León	490	0.6
T O T A L	84,956	100.0



**CUENCA DEL RIO PANUCO**



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES "ARAGON"  
INGENIERIA

**U  
N  
A  
M**

**CROQUIS  
DE  
LOCALIZACION**

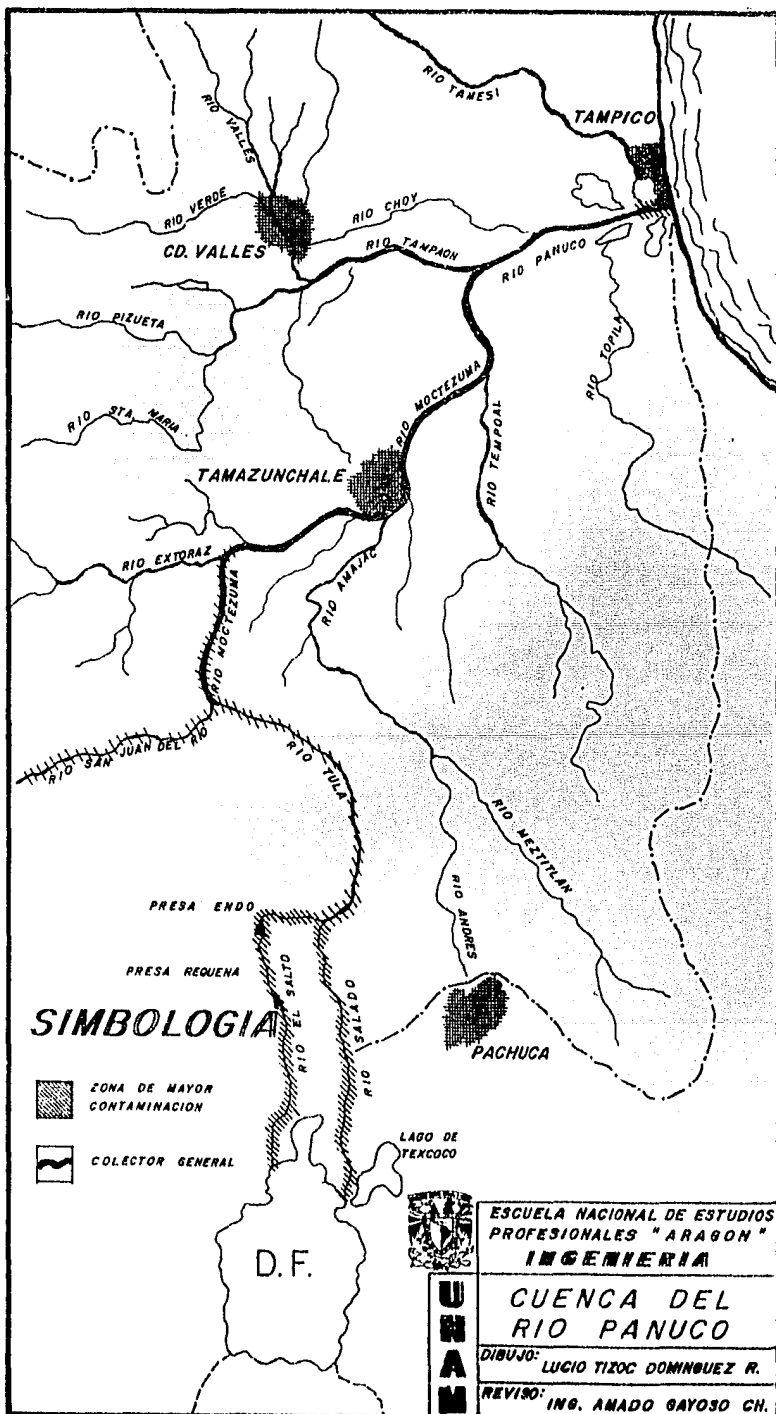
DIBUJO: LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.

REVISO: ING. AMADO GAYOSO CH.

Para una descripción más detallada de lo anterior, se ha subdividido la cuenca del río Pánuco en dos zonas: el Alto Pánuco y el Bajo Pánuco. El Alto Pánuco está formado por las cuencas de los ríos Tula y San Juan del Río, que forman el río Moctezuma y por las cuencas de los ríos Metztlán y Amajac, que originan el río Amajac. Forman la zona del Bajo Pánuco las cuencas de los ríos Extoraz, Bajo Amajac, Tempoal, Moctezuma, Tapaón y Pánuco.

El Alto Pánuco tiene sus orígenes en el Estado de México, donde se aprovechan mediante una serie de presas sus escurrimientos. Posteriormente drena casi la totalidad del Estado de Hidalgo, en que se localizan las presas Requena y Endo. El Estado de Puebla contribuye con una pequeña porción donde se originan los ríos Amajac y Calabozo. Los ríos San Juan del Río y Extóraz, que confluyen al río Moctezuma, colectan la mayor parte de los escurrimientos del Estado de Querétaro. El río Moctezuma en parte de su recorrido lo mismo que el San Juan del Río, constituyen el límite entre los Estados de Querétaro e Hidalgo.

Las cabeceras del río Tempoal y una gran parte de su cuenca discurren por el Estado de Veracruz hasta su confluencia con el río Moctezuma, el que parcialmente sirve de límite entre este Estado y el de San Luis Potosí hasta su confluencia con el río Tapaón.





Los ríos Extóraz y Tapaón, se originan en el Estado de Guanajuato; este último corre por la parte central del Estado de San Luis Potosí, que es el Estado que contribuye con mayor área a la cuenca del río Pánuco, ya que también el río Moctezuma penetra en esta entidad.

El río Guayalejo fluye por el Estado de Tamaulipas, excepto una muy reducida porción próxima a su parteaguas, que corresponde a Nuevo León. Este río, en su parte baja, cambia su nombre al de Tamesí y sirve de límite entre Veracruz y Tamaulipas, confluye al río Pánuco 16 Km antes de su desembocadura al Golfo de México.

### I.1.2. Orografía.

Configuran la cuenca del río Pánuco importantes sistemas orográficos como la Sierra Madre Oriental, que abarca desde Zaragoza, N.L., hasta el sureste de Tulancingo, Hgo., donde se localizan los orígenes del río Metztitlán, zona en que la Sierra se une a las estribaciones de la cordillera Neovolcánica, límite austral de la cuenca del Pánuco,

Las elevaciones de la Sierra Madre Oriental dentro de la cuenca, oscilan notablemente. Tiene alturas máximas de 3 800 m.s.n.m.

en el parteaguas común con el río Lerma y Valle de México y de 3 600 m. s.n.m. en los orígenes del río Guayalejo, descendiendo paulatinamente hasta elevaciones de 250 m. s.n.m. en la zona de la confluencia de los ríos Verde y Santa María. La falda oriental de esta Sierra, baja bruscamente hacia la llanura costera.

A la altura de Zimapán y Jacala, Hgo., se desprende de la Sierra Madre Oriental otra formación montañosa, que se interna con rumbo noroeste hacia San Luis Potosí, S.L.P., donde adquiere elevaciones del orden de 3 000 m. s.n.m. En esta cordillera se originan los ríos Extóraz, Santa María y Verde, constituyendo la misma, el parteaguas entre las cuencas del Pánuco, Lerma y La Región de El Salado.

Al noreste de la cuenca del río Pánuco se localiza, aislado, el macizo montañoso conocido con el nombre de Sierra de Tamaulipas, - en cuyas estribaciones nacen algunos afluentes del río Guayalejo. Las elevaciones máximas de la misma son del orden de 1 400 m. s.n.m. en el parteaguas con el río Soto La Marina.

### I.1.3. Hidrografía.

El colector general de la cuenca tiene sus orígenes en las

cabeceras hidrográficas del río Tepeji o San Jerónimo, controlado por las presas de Taxhimay y Requena, donde cambia su nombre a río Tula. Sus orígenes se localizan en el cerro de La Bufa dentro del Estado de México, a una elevación de 3 800 m. s.n.m., en el parteaguas común con las cuencas del río Lerma y del Valle de México. La corriente se dirige hacia el norte, hasta la población de Ixmiquilpan, Hgo., siendo regularizada por la presa Endó. A partir de esta población cambia su curso al noroeste hasta su confluencia con el río San Juan del Río a una elevación de 1 640 m. s.n.m., donde cambia su nombre a río Moctezuma y su rumbo a norte - noreste, que conserva hasta la confluencia del río Extóraz. En este tramo es donde inicia su penetración a la Sierra Madre Oriental siendo su topografía accidentada y haciéndose ésto más notable a medida que desciende la corriente.

A la elevación de 930 m. s.n.m., recibe por su margen izquierda las aportaciones del río Extóraz, cambiando su rumbo a este - noreste, cruzando casi perpendicularmente el macizo de la Sierra Madre Oriental. Drena una faja angosta, sumamente abrupta, constituida por afluentes de corto recorrido y fuertes pendientes. A la salida, cerca de Tamazunchale, S.L.P., confluye a el río Moctezuma por la margen derecha, el río Amajac a la elevación de 120 m. s.n.m., en donde inicia su recorrido por la planicie costera, cambiando su rumbo a noreste hasta la confluencia del río Axtla, donde nuevamente cambia -

su rumbo hacia el noreste hasta la confluencia del río Tempoal. La topografía del río Moctezuma, desde la confluencia del Amajac hasta la del Tempoal, es en general suave, descendiendo el cauce desde 120 a 35 m. s.n.m. La cuenca del río Axtla, es en contraste sumamente accidentada, ya que drena directamente la Sierra Madre Oriental.

Desde la confluencia del río Tempoal hasta la del Tapaón, el Moctezuma sigue un rumbo norte-noreste discurriendo por una zona de topografía suave, en que las máximas elevaciones no exceden de 150 m. s.n.m., existiendo algunas lagunas marginales al cauce.

A partir de la confluencia del río Tapaón, que ocurre a la elevación aproximada de 20 m. s.n.m., el río Moctezuma recibe el nombre de río Pánuco y sigue un rumbo general este-noreste hasta su desembocadura en el Golfo de México, aguas abajo de la ciudad de Tampico, Tamps.

#### I.1.4. Demografía.

La cuenca del río Pánuco, es la que cuenta con mayor cantidad de población en la República Mexicana, ésto en virtud de que se considera al Distrito Federal perteneciente a la misma.

Se integra la cuenca por 234 municipios y parte de algunos - - otros, todos ellos pertenecientes a los Estados de Puebla, Hidalgo, - Querétaro, Veracruz, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo-León, Tlaxcala, México y el Distrito Federal.

La población total en la cuenca es de 18,692.342 habitantes (2) de los cuales 16,559.513 son de población urbana y de éstos 13,916.420 cuentan con servicio de alcantarillado.

La alta densidad de población urbana que existe en la cuenca, se debe por que se considera como parte de la misma, al Distrito Federal.

En el área que ocupa la cuenca del río Pánuco, se encuentran - - ubicadas 71 localidades con población mayor a 10,000 habitantes.

## 1.2 Hidrología y Climatología.

El conocimiento de la Hidrología y Climatología en la cuenca, - es de suma importancia en virtud de que se requieren datos hidromátri cos de los escurrimientos, avenidas máximas, períodos de estiaje y aca rreo de material en suspensión, de igual forma son indispensables datos de precipitación, evaporación y temperatura, para mayor entendimiento

---

(2) Información obtenida del X Censo General de Población y Vivienda.- 1980. S.P.P.

del comportamiento existente en la cuenca y de esta manera, sea aplicado el modelo matemático de una forma más adecuada, precisa y veraz.

Para obtener la información anterior, se consultó y analizó la estadística de datos de diez estaciones hidrométricas y climatológicas establecidas en la cuenca, que proporcionan datos más representativos de las condiciones de la corriente, por encontrarse en las cercanías y/o a lo largo del colector principal, el río Moctezuma.

#### 1.2.1. División en Subcuenclas.

La cuenca del río Pánuco se forma por varias corrientes principales, cada una de ellas con aportaciones considerables; para su estudio se subdividió en ocho subcuenclas, las que a continuación se mencionan:

Subcuencla del Río Tula

Subcuencla del Río San Juan del Río

Subcuencla del Río Extóraz

Subcuencla del Río Amajac

Subcuencla del Río Tempoal

Subcuencla del Río Tampaón

Subcuencla del Río Moctezuma

Subcuencla del Río Pánuco

### I.2.2. Hidrología.

Como se mencionó anteriormente, el colector general de la cuenca del río Pánuco es el río Moctezuma, el cual recibe las aportaciones de diversos ríos o corrientes principales. Para una mayor comprensión se describe cada una de ellas, aportando datos hidrométricos.

Río Tula.- Esta corriente tiene sus orígenes en el parte-aguas común con las cuencas del Valle de México y el Alto Lerma; se conoce inicialmente como río San Jerónimo, posteriormente aguas abajo de la presa Taxhimay se llama río Tepeji, continúa hacia el norte hasta la presa Requena, donde recibe el nombre de río Tula y sigue con este nombre hasta el lugar donde confluye con el río San Juan del Río para formar el río Moctezuma. Los afluentes principales que recibe en este tramo son los ríos Tlautla, Rosas y Alfajayucan por la margen izquierda y El Salto, Salado y Actopan, por su margen derecha. El río Tula aporta un volumen promedio anual de 330 millones de m<sup>3</sup>. Los datos hidrométricos en esta subcuenca son proporcionados por las estaciones hidrométricas siguientes: Huehuetoca, Tepeji, Tlautla, Jasso, Binola II, Tezontepec e Ixmiquilpan.

Río San Juan del Río.- Tiene su origen en el Estado de Méxi

co con el nombre de Arroyo Zarco. Este tramo se caracteriza por tener pequeñas presas de almacenamiento que forman el Distrito de Riego de arroyo Zarco. La corriente adquiere el nombre de San Juan del Río después de la confluencia del río Prieto. Las obras construidas en esta corriente son las presas derivadoras Constitución de 1857 y Lomo de Toro que abastecen al Distrito de Riego No. 23, después aguas abajo de la confluencia del río Caracol se encuentra la presa Centenario para control de avenidas y generación de energía eléctrica, aproximadamente 9 Km adelante se localiza la presa derivadora Paso de Tablas; ésta se utiliza para generación de energía eléctrica. Al salir de la derivadora, el río San Juan del Río continúa hacia el noreste hasta su confluencia en el río Moctezuma. Los escurrimientos medios anuales del río San Juan del Río, medidos en las estaciones hidrométricas San Juan del Río y Tequisquiapan, son del orden de 75 millones de m<sup>3</sup>.

Río Extóraz.- Nace en la zona centro-occidental de la cuenca, en el parteaguas con el río de La Laja, del Alto Lerma, 10 Km al oriente de San Luis de la Paz, Gto., a una elevación de 2 100 m.s.n.m.

Inicialmente se le conoce como río Victoria, por formarse cerca del poblado guanajuatense de ese nombre; el nombre de río Extóraz lo adoptó a partir de su confluencia con el río Tolimán, otro afluente importante de este río lo es el río Tierra Blanca. Los escurrimientos en el río Extóraz alcanzan valores aproximados de 400 ml -



llones de m<sup>3</sup>. No existe estación hidrométrica.

Río Amajac.- Tiene sus orígenes en la parte sureste de la cuenca, en el Estado de Puebla, cerca de los límites con el Estado de Hidalgo, en la zona del partaguas con el río Tecolutla, a una elevación de 2 950 m. s.n.m., en el cerro Tlacholoya.

En sus orígenes sigue un rumbo norponiente con el nombre de río Tlacholoya, cambiando al de arroyo Casa Blanca; pasa al poniente de la ciudad de Tulancingo, Hgo., en donde recibe por la margen derecha, las aportaciones del río Tulancingo. Aguas abajo de esta confluencia se le conoce como río Grande de Tulancingo, drenando una zona de topografía suave en la que existen varias pequeñas presas de almacenamiento,

Aproximadamente a 17 Km aguas abajo de Tulancingo, Hgo., la corriente penetra a un profundo y estrecho cañón, siendo el resto de la cuenca de una topografía sumamente accidentada. Pasa por las poblaciones de San Sebastián, Venados, Metzquititlan y Metztitlan, Hgo. y descarga sus aguas en la Laguna de Metztitlan. Esta laguna es drenada artificialmente mediante dos túneles cuyas descargas forman el río Almolón.

A 8 Km al poniente de la laguna, el colector recibe por la margen izquierda las aportaciones de su principal afluente, el río Amajac.

jaque, cambiando su nombre a río Amajac, posteriormente recibe las aportaciones del río Claro. Los escurrimientos del río Amajac son medidos en la estación hidrométrica Temamatla, con un promedio de 1 140 millones de m<sup>3</sup>.

Río Tempoal.- Esta corriente drena una parte de la falda sureste de la Sierra Madre Oriental comprendida en la cuenca del río Pánuco, es uno de los más importantes afluentes en cuanto a su volumen de agua con que contribuye. Drena parte de los Estados de San Luis Potosí, Veracruz e Hidalgo, correspondiendo a estos dos últimos la mayor extensión.

Tiene sus orígenes en el parteaguas con las cuencas de los ríos Tuxpan, Cazones y Tecolutla, a una elevación de 2 100 m. s.n.m., conociéndosele en esta zona como río Hormiguero, para tomar a continuación los nombres de Chahuatlán, Encinal y Calabozo. Recibe por la margen derecha al río Garcés y por la izquierda a los ríos Tenexco y Hules. Aguas abajo de la confluencia de este último río, se le conoce como río Tempoal, el que recibe por la margen izquierda al río San Pedro.

Los escurrimientos del río Calabozo se miden en la estación hidrométrica Terrerillos, observándose que el promedio anual es de cerca de 850 millones de m<sup>3</sup>, mientras que el río Tempoal, en la estación del mismo nombre, tiene 1 700 millones de m<sup>3</sup>.

Río Tampoón.- Es el afluente más importante en la cuenca del río Pánuco en cuanto a extensión y volúmenes de aportación. Su cuenca es en general de topografía accidentada, salvo al oriente del meridiano 99°, donde penetra a la llanura costera. Colecta los escurrimientos de la falda oriente de la sierra que separa a la cuenca del Pánuco de la del Lerma y de la región de El Salado; sigue un curso general hacia el oriente corta a la Sierra Madre Oriental, a la cual drena en ambas laderas y finalmente, confluye al río Moctezuma en el sitio conocido como Las Adjuntas.

La mayor parte de su cuenca se localiza en el Estado de San Luis Potosí y el resto en los Estados de Guanajuato y Querétaro y en una pequeña faja de Tamaulipas.

En su nacimiento en Ocampo, Gto., se le conoce como arroyo El Puerquito y del Molino, más adelante recibe por la margen izquierda al río Altamira, a partir del cual se le conoce como río Santa María hasta el lugar donde confluye el río Verde. En este tramo se encuentran localizadas presas importantes como las de San Bartolo, El Refugio y Ojo Caliente, igualmente recibe las aportaciones del arroyo Las Albercas. A partir de la confluencia del río Verde, la corriente toma el nombre de río Tampoón, que sigue un curso norte hasta la confluencia del río Gallinas.

Los aportes del río Tapaón, abajo de la confluencia del río Verde, son medidos en la estación hidrométrica Tansabaca, habiéndose registrado un escurrimiento medio anual de 1 015 millones de  $m^3$ .

A partir de la confluencia del río Gallinas, el río Tapaón cambia bruscamente su curso a oriente nororiente y recibe por la margen izquierda al río Valles, aguas abajo de esta confluencia se encuentra el sitio donde se proyecta construir la presa El Pujal, para aprovechar el potencial hidráulico del río Tapaón en riego y generación de energía eléctrica y controlar sus avenidas. Para el proyecto de esta importante obra, han sido básicos los datos registrados en la estación hidrométrica El Pujal, que acusan un escurrimiento medio anual del río Tapaón, del orden de 5 179 millones de  $m^3$ .

Río Moctezuma.- Este es el colector general que recibe las aportaciones de los ríos San Juan del Río y Tula en su tramo inicial, iniciándose a partir de esta confluencia lo que se denomina Bajo Pánuco. De acuerdo con los datos registrados en la estación Puente Mazacintla, que se encuentra aguas abajo de la confluencia del río San Juan del Río, el río Moctezuma tiene un escurrimiento medio anual del orden de 900 millones de  $m^3$ .

Con la confluencia del río Extóraz y después de cruzar la Sierra Madre Oriental y antes de penetrar a la llanura costera, los escu-

rrimientos del río Moctezuma son de cerca de 1 500 millones de  $m^3$ , según las observaciones registradas en las estaciones El Morro y Tierra Blanca.

Ya en la llanura costera, el río Moctezuma recibe las aportaciones del río Amajac, aguas abajo de la ciudad de Tamazunchale, S.L.P., más adelante por la margen izquierda confluye el río Axtla con un escurrimiento medio anual de 1 356 millones de  $m^3$ , posteriormente confluye al río Moctezuma el río Tempoal y aproximadamente a 10 Km aguas abajo de esta confluencia se encuentra la estación hidrométrica El Olivo, - que mide un volumen de escurrimientos del río Moctezuma del orden de - 8 200 millones de  $m^3$ .

Río Pánuco,- Aguas abajo de la estación hidrométrica El Olivo, confluye al río Moctezuma por su margen izquierda, el río Tapaón, que drena una importante zona del oriente de la cuenca. Después de esta - confluencia, el río Moctezuma adquiere el nombre de río Pánuco, midiéndose sus escurrimientos en la estación hidrométrica Las Adjuntas, en - donde se observa que el escurrimiento medio anual es del orden de - 11 800 millones de  $m^3$ .

El río Pánuco sigue un curso general este-noreste hasta su desembocadura en el Golfo de México, Este último tramo se caracteriza - por ser de pendientes suaves, con numerosos meandros y lagunas margina

les importantes como las de Orilla Grande, Cerro Paz o Las Margaritas, Tamós y Chairel; en la margen derecha la única de importancia es la de Pueblo Viejo, frente a la de Chairel en las yecindades de Tampico, - Tamps., 16 Km antes de su desembocadura al mar, el río Pánuco recibe por su margen izquierda las aportaciones del río Guayalejo o Tamesí. La ciudad de Tampico está limitada hacia el sur por el río Pánuco y hacia el poniente por el río Guayalejo.

Con esto concluye el colector general de la cuenca del río Pánuco, el cual tiene un volumen de escurrimientos medios anual del orden de 18 000 millones de m<sup>3</sup>.

### I.2.3. Climatología.

La posición geográfica de la cuenca del Río Pánuco, la sitúa en los límites de la zona tropical, con características de relieve y extensión tales, que se alojan toda una variedad de climas y condiciones.

La cuenca, por su localización sobre la costa oriente, está sujeta a la influencia de los vientos alisios y las constantes brisas marinas que transportan gran cantidad de humedad. Este aire húmedo, al avanzar por las costas y subir por las laderas de las cadenas montañosas paralelas e inmediatas al mar, se dilata adiabáticamente.

te y condensa parte de dicha humedad, la cual se precipita en forma de lluvia o rocío. Una parte importante de la cuenca participa de esta circunstancia y, el resultado de este fenómeno, es que en ella se mantiene en el ambiente y el suelo, un grado tal de humedad que favorece al desarrollo de abundante vegetación, así como también las grandes precipitaciones y los escurrimientos.

Por otro lado, dada su posición sobre la vertiente del Golfo de México, con frente hacia el oriente y la latitud a que se encuentra, y teniendo en cuenta las trayectorias que siguen generalmente los ciclones tropicales, está expuesta todos los años al embate de dichos ciclones o huracanes que se generan en el mar de las Antillas y en el Atlántico, así como los que se producen en el propio Golfo de México.

Estos ciclones se presentan durante la estación de verano y principios de otoño, causando daños que varían en importancia, desde ligeros, cuando los ciclones son de escasa magnitud o aislados, hasta catastróficos cuando son potentes o se presentan en sucesión.

Lo anterior hace ver que precisamente por su situación geográfica, la cuenca del Río Pánuco se encuentra amenazada año con año

por el azote de ciclones o huracanes, los cuales producen cuantiosas - pérdidas en vidas y propiedades, tanto por los vientos que alcanzan ve - locidades extraordinarias, como por las crecientes que se generan en - los ríos como consecuencia de las lluvias que acompañan a estos meteo - ros. Además, da una idea de los diversos climas, condiciones de llu - via, temperatura y evaporación que existen en la región.





## CAPITULO I I

OBRAS HIDRAULICAS, USOS DEL AGUA Y FUENTES

DE CONTAMINACION EN LA CUENCA.

## II.1 Obras Hidráulicas.

En la actualidad las obras para aprovechamiento en la cuenca, tanto en riego como hidroeléctricos, son de relativa magnitud; la potencialidad de la cuenca en el aspecto de riego principalmente, es de suma importancia, debido a la gran extensión de terrenos en la llanura costera apropiados para ello y por los grandes volúmenes de agua disponibles. Las obras para usos domésticos e industriales son de menor proporción, pero sí importantes para este trabajo.

Existen grandes proyectos en la cuenca, tales como los vasos de Pujal sobre el río Tumpaón y Bernal sobre el Guayalejo, ambos para riego, generación de energía hidroeléctrica, control de crecientes y el aprovechamiento de los manantiales del río Coy con regulación mediante almacenamiento para riego en la margen derecha del Pánuco, además de muchas otras obras de igual interés.

En los siguientes incisos, mencionaremos las obras hidráulicas de mayor importancia.

### II.1.1. Obras de Riego Agrícola.

En la cuenca del río Tula existen 17 presas de almacenamiento

to y cuatro de derivación, dentro de las cuales podemos mencionar a las presas Taxhimay, Danxhó, Requena y Endó. Cabe mencionar que en esta zona la generalidad de las obras hidráulicas existentes, son con fines agrícolas.

En el área de la cuenca del río San Juan del Río, se cuenta con 47 presas de almacenamiento y cuatro de derivación, resaltando por su importancia las presas Huapango, El Molino, Centenario, Constitución de 1917 y San Ildefonso. Las obras hidráulicas en esta cuenca son destinadas a usos agrícolas principalmente.

En la zona comprendida por la cuenca del río Extóraz, se localiza solamente la presa La Soledad sobre el arroyo Zamorano o San Miguelito, con una capacidad de ocho millones de  $M^3$  para el riego de una superficie de 820 ha.

La cuenca del río Amajac cuenta con cuatro presas de almacenamiento con una capacidad total de 6.9 millones de  $M^3$  y tres presas de derivación localizadas en el distrito de riego de Metztlán, algunas de las presas mencionadas son; la presa Esperanza que controla al río Tulancingo y la presa Esquitlan. Además existen varias pequeñas presas de almacenamiento construídas por los campesinos.

Las obras hidráulicas existentes en la cuenca del río Tempoalson muy importantes, ya que su principal uso es para abastecimiento de agua potable, pero igualmente existen tres obras de toma directa por medio de bombeo para fines de riego del Distrito de Riego No. 60 con superficie total de 2,841 ha. distribuidas en las siguientes unidades: El Higo 733 ha , Las Badeas 569 ha , Platón Sánchez 241 ha , El Chote 620 ha y La Vega con 678 ha.

Las obras hidráulicas más significativas, que se encuentran instaladas a lo largo del río Moctezuma son: dos obras de toma directa para irrigación y diversas obras pequeñas, construidas por los campesinos para desarrollos agrícolas existentes en la zona.

Por lo que respecta a la cuenca general del río Tapaón (abarcando los ríos Santa María, Verde y De Valles), se localizan 35 presas de almacenamiento para fines de riego, que benefician una superficie de 21 170 ha. Dentro de los principales yaşos tenemos al de Santa Catarina, Guadalupe, San Bartolo, Palo Blanco, Dolores, El Refugio y Ojo Caliente.

Además existen en esta cuenca proyectos de almacenamiento como: Nogal Oscuro, Las Amarillas, Paşo de Piedras y El Pujal, los cuales serán destinados para fines de riego, considerando en los dos últimos

de acuerdo a su potencial Hidráulico, el control de las crecientes y todavía más en el último la generación de energía eléctrica.

Por último, en la cuenca del río Pánuco actualmente existen múltiples aprovechamientos de magnitud menor, para fines de irrigación de superficies cultivables y pequeños desarrollos agrícolas.

#### II.1.2. Obras de Aprovechamiento Industrial y Doméstico.

En forma genérica, podemos decir que los aprovechamientos existentes en la cuenca del río Pánuco, de las actividades industriales y domésticas, se engloban en lo que constituye el aspecto municipal, es decir la mayoría de los usuarios del agua, la adquieren del servicio que ofrece el municipio. Pero esto no quiere decir que no existan obras de aprovechamiento de este tipo en forma particular, claro que sí existen a todo lo largo y ancho de la cuenca, pero en forma muy reducida.

De acuerdo a lo anterior, mencionaremos las obras de aprovechamientos industriales y municipales más relevantes y significativas para este tipo de trabajo, dejando en forma superficial los miles de aprovechamientos domésticos, los cuales son obras de pequeña magnitud.

Como se mencionó anteriormente, en la cuenca del río Tula la gran mayoría de los aprovechamientos son con fines de riego, lo que igualmente sucede en la cuenca del río San Juan Del Río, aunque en ésta existen algunos aprovechamientos para abrevadero de ganado y otro tanto para fines industriales y abastecimiento de agua potable en forma simple y directa.

Dentro de la cuenca del río Extórz, se localizan aprovechamientos domésticos y para abrevadero de ganado de poca magnitud. Por lo que toca a la cuenca del río Amajac, se encuentran aprovechamientos construidos por campesinos para fines de desarrollo pecuario y de mediana industria y cerca de la confluencia del río Amajac con el río Moctezuma se encuentra la obra de toma para abastecer de agua potable a la población de Tamazunchale, S.L.P.

En referencia a la cuenca del río Tempoal los aprovechamientos existentes son muy importantes, existen tres obras hidráulicas para abastecimiento de agua potable y una para fines industriales (productos lácteos). Se localizan también una gran cantidad de obras de toma para diversos usos de pequeños propietarios. Las obras hidráulicas más significativas, instaladas en el río Moctezuma son dos obras de toma directa para abastecimiento de agua potable y algunas obras para fines pecuarios.

Como se mencionó anteriormente, en la cuenca del río Tula la gran mayoría de los aprovechamientos son con fines de riego, lo que igualmente sucede en la cuenca del río San Juan Del Río, aunque en ésta existen algunos aprovechamientos para abrevadero de ganado y otro tanto para fines industriales y abastecimiento de agua potable en forma simple y directa.

Dentro de la cuenca del río Extóraz, se localizan aprovechamientos domésticos y para abrevadero de ganado de poca magnitud. Por lo que toca a la cuenca del río Amajac, se encuentran aprovechamientos construidos por campesinos para fines de desarrollo pecuario y de mediana industria y cerca de la confluencia del río Amajac con el río Moctezuma se encuentra la obra de toma para abastecer de agua potable a la población de Tamazunchale, S.L.P.

En referencia a la cuenca del río Tempoal los aprovechamientos existentes son muy importantes, existen tres obras hidráulicas para abastecimiento de agua potable y una para fines industriales (productos lácteos). Se localizan también una gran cantidad de obras hidráulicas más significativas, instaladas en el río Moctezuma son dos obras de toma directa para abastecimiento de agua potable y algunas obras para fines pecuarios.



Por lo que respecta a la cuenca del río Tampoán, se localizan tres obras de toma (una galería filtrante y dos tomas directas) para abastecimiento de agua potable, seis obras de toma para fines industriales (una para generación de energía eléctrica denominado Camilo Arriaga, 2 ingenios, 1 maderera, 1 vinícola y 1 empacadora de carnes).

Por último en la cuenca del río Pánuco se construye una obra de toma (galería filtrante) para abastecimiento de agua potable y una obra de toma para uso industrial (ingenio), además de existir algunas obras para fines pecuarios y domésticos.

## II.2. Usos del Agua.

En la actualidad, el país ha venido resintiendo el problema de extracción, distribución y uso del agua, el cual es un factor muy importante, y en ocasiones crítico, por tratarse de un insumo necesario más no suficiente en el proceso que el desarrollo económico y social requiere para la satisfacción de sus necesidades. Además, es necesario considerar el problema que presenta el deterioro del medio ambiente nacional, en relación a la disponibilidad de agua de calidad adecuada para los diferentes usos, y de la situación socioeconómica del país, motivo por el cual su preservación adquiere mayor relevancia.

El recurso agua, anteriormente ilimitado en función a su can- tidad, calidad y con bajo costo de oportunidad, se ve afectado por el incremento en su demanda como resultado del crecimiento demográfico y económico en la cuenca, el desarrollo industrial y la gran necesidad de cultivar productos agrícolas en la misma, los cuales establecen - una competencia por el uso del agua que afecta el desarrollo económi- co y social de la cuenca mencionada.

"El agua es un factor económico de la producción y en rigor debe ser manejada como tal, pero su asignación hacia los diferentes - usos debe contemplar el aspecto más importante del agua: su función - social como recurso necesario, aunque no suficiente, para el bienes- tar integral del ser humano, quien es el fin primero de cualquier de- sarrollo económico".(3)

#### II.2.1. Usos Actuales.

De acuerdo a la información proporcionada por la Dirección - General de Administración de Usos del Agua, de la S.A.R.H.; se encon-

---

(3) Revista de Ingeniería Hidráulica S.R.H. 1971, y Ponencia del Ing. Oscar Benasini "Bases para el Aprovechamiento Racional de los Recursos Hidráulicos en México".

tró que los tipos de aprovechamientos predominantes en la cuenca, son en su gran mayoría para abastecimiento de agua potable y fines agrícolas y pecuarios. La captación para usos domésticos va desde la forma más simple, o sea, por contacto directo, hasta la captación mediante obras de toma directa o indirecta con planta potabilizadora. Lo mismo sucede con la captación para usos agrícolas y pecuarios ya que existen desde las obras más simples para captar el agua hasta los sistemas modernos de captación, almacenamiento y distribución del agua, llamados distritos de riego. A continuación se describen los datos obtenidos relativos a los usos actuales del agua en las diferentes subcuencas:

Cuenca del río Tula.- En esta cuenca los aprovechamientos hidráulicos superficiales se destinan para fines de riego y pecuarios, exclusivamente. Existen tres distritos de riego; en Tula el 03, Ixmiquilpan el 27 y Jilotepec el 44, que se describen a continuación.

El distrito de riego 03 llamado Tula, se abastece de las aguas negras provenientes de la Ciudad de México, y de las aguas del río Tepejí. Tiene una superficie regable de 46,758 Has y utiliza un volumen anual de 1,025.7 millones de  $m^3$ . Los cultivos básicos son: alfalfa, maíz, jitomate, trigo, calabaza, chile verde, cebada, forraje, tomate, etc.

El distrito de riego 27 llamado Ixmiquilpan, cubre un área de riego de 3,662 Has y emplea un volumen anual de 137.6 millones de  $m^3$  de las aguas del río Tula, se cultiva: alfalfa achicalada, jitomate, - maíz, tomate, lechuga, trigo, etc.

La tercera zona agrícola, o sea el distrito de riego 44 denominado Jilotepec, se abastece del río Coscomate por medio de la presa Danxhó; comprende un área regable de 3,662 Has y un volumen de 22.7 - millones de  $m^3$  anuales. Los cultivos son: maíz, alfalfa, avena, forraje, trigo, cebada, ajo, pastos, tomate, etc.

Además de los distritos de riego se cuenta con ejidos que riegan sus terrenos con aguas superficiales de la corriente principal y - sus afluentes. La superficie regable en esta forma cubre 65,604.1 Has y utiliza 94'829,285  $m^3$  anuales. Se cultiva generalmente, maíz, frijol, cebada, trigo, pastos, etc.

Los usos pecuarios en la cuenca se agrupan en 115,820 cabezas de ganado mayor y 1'868,326 cabezas de ganado menor y aves, para las - cuales se captan 3'214,844  $m^3$  anuales.

Cuenca del río San Juan del Río.- Dentro de esta cuenca, el - uso predominante que se hace de las aguas superficiales son para fines

agrícola, pecuario y de abastecimiento de agua potable. En riego se benefician a 24,760 Has con un volumen anual de 118,957.8 millones - de  $m^3$  incluyendo los distritos de riego No. 23 y 33-A y en la zona - agrícola de Tecozautla. En uso pecuario se aprovechan 791,397  $m^3$  - anuales para aproximadamente 25,000 cabezas de ganado mayor, 90,000 - cabezas de ganado menor y 10,000 aves. Para abastecimiento de agua - potable se utilizan 1.5 millones de  $m^3$  anuales para una población to- tal de 32,530 habitantes.

Cuenca del Río Extóraz.- Se encontraron usos domésticos, agrí- colas y pecuarios, usos domésticos para una población de 6,600 habitan- tes y un volumen anual de 230,170  $m^3$ , 68 usos de riego, con un área re- gable de 242 Has y un volumen anual de 5 millones de  $m^3$ , 26 usos pe- cuarios, en donde se abastecen aproximadamente 650 cabezas de ganado - mayor y 6,500 de ganado menor, utilizando un volumen anual de 40,000 -  $m^3$ .

Cuenca del río Amajac.- Aquí predomina el uso agrícola y en - menor escala existen también usos domésticos, pecuario e industrial. Se encuentran en la cuenca dos distritos de riego: el No. 28 llamado - Tulancingo y el No. 08 llamado Metztlán, ambos en el estado de Hi - dalgo; cubren un área regable de 6,162 Has y utilizan un volumen me- dio anual de 37.7 millones de  $m^3$ . Cultivan principalmente maíz, papa,

calabaza, alfalfa, frijol, jitomate, chile verde, tomate, pastos, etc.

Existen usos domésticos sobre la corriente principal, de los cuales se abastecen 76,643 habitantes con un volumen medio anual de - 2'091,350 m<sup>3</sup>.

Los usos pecuarios existentes, arrojan las siguientes cifras aproximadas: 3,900 cabezas de ganado mayor y 3,500 de ganado menor, - utilizando un volumen medio anual de 64,500 m<sup>3</sup>.

Cuenca del río Tempoal.- Los usos más significativos en la corriente principal, son para abastecimiento de agua potable, utilizando un volumen anual de 5'189,940 m<sup>3</sup> que benefician a 48,370 habitantes. En uso agrícola se riegan 1,723 Has con un volumen de 7'525,590 m<sup>3</sup>, para usos pecuarios se aprovecha 10,500 m<sup>3</sup> anuales en aproximadamente 75 cabezas de ganado mayor y 250 de ganado menor. Para usos industriales únicamente se emplean 78,840 m<sup>3</sup> anuales en una industria de productos lácteos.

Cuenca del río Moctezuma.- En esta cuenca los aprovechamientos son: usos domésticos que benefician a 4,970 habitantes con un volumen de 54,725 m<sup>3</sup> anuales, usos de riego repartidos en 4,111 Has y un volumen anual promedio de 77'894,880 m<sup>3</sup>, usos pecuarios, que se -

abastecen con 338,410 m<sup>3</sup> anuales para aproximadamente 24,700 cabezas - de ganado mayor y 9,300 de ganado menor.

Existen usos industriales para abastecer a un ingenio azucare ro con un volumen de 21'169,190 m<sup>3</sup> anuales.

Cuenca del río Tampaón.- En el río Santa María los usos repor tados son: 24,073.5 m<sup>3</sup> anuales para abastecimiento de agua potable a 4,615 habitantes; 1'617,395 m<sup>3</sup> anuales para el riego de 235 Has ; - 94,908 m<sup>3</sup> anuales para uso pecuario, en aproximadamente 5,000 cabezas de ganado mayor y 4,500 de ganado menor.

Un volumen anual de 94,910 m<sup>3</sup> de las aguas del río Verde, se aprovechan para riego de 1,274 Has.

Los principales beneficios derivados del río Valles se tradu- cen en abastecimientos de agua potable para 68,100 habitantes y un vo- lumen de 1'918,802 m<sup>3</sup> anuales; usos con fines de riego de 6,113 Has y un volumen de 30'860,000 m<sup>3</sup> anuales; para abrevadero de aproximadamen- te 12,600 cabezas de ganado mayor y 1,700 de ganado menor y volumen de 188,000 m<sup>3</sup> anuales.

La industria en esta región emplea aguas superficiales para -

dos fines principales: como materia prima dentro del proceso y como elemento de enfriamiento en calderas. Básicamente las industrias son: ingenio, destilería, maderera; además de la planta generadora de energía eléctrica localizada en el nacimiento del río Valles. Para los fines industriales se utilizan 632'738,300 m<sup>3</sup> anuales.

En el tramo del colector general del río Tapaón y los afluentes: río Gallinas, río Coy y río Choy; los aprovechamientos hidráulicos superficiales se resumen como sigue: 58,990 m<sup>3</sup> anuales en riego de 10,544 Has ; 166,130 m<sup>3</sup> anuales para abrevar aproximadamente 10,500 cabezas de ganado mayor y 950 de ganado menor. Las industrias ubicadas en esa zona (cementos, empacadora de carnes, procesadora de lácteos) emplean 3'968,340 m<sup>3</sup> anuales.

Por último en la cuenca del río Pánuco, en el tramo del río Pánuco en la región costera, los usos predominantes son de riego, doméstico y pecuario; se riegan 12,100 Has y utilizan un volumen anual de 239'027,110 m<sup>3</sup>, se abastecen aproximadamente a 202,600 cabezas de ganado mayor y 50,150 de ganado menor con un volumen anual de 4.7 millones de m<sup>3</sup>; para usos domésticos se aprovechan 54'675,000 m<sup>3</sup> en una población total de 270,000 habitantes.

A continuación se presenta un cuadro en donde se establecen -



en forma resumida, los usos actuales por subcuenca, tomados en cuenta para una clasificación preliminar, en base al "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas"<sup>(4)</sup>.

SUBCUENCA	USOS DEL AGUA
TULA	Agrícola (Distritos de Riego No. 03, 27 y 44 ) y pecuario.
SAN JUAN DEL RIO	Agrícola (Distritos de Riego No. 23 y 33 A) y pecuario.
EXTORAZ	Doméstico, Agrícola y Pecuario.
AMAJAC	Agrícola (Distritos de Riego Tulancingo y Metztlán), doméstico, pecuario e industrial.
TEMPOAL	Abastecimiento de Agua Potable, pecuario e industrial ( Productos Lácteos).
MOCTEZUMA	Doméstico, Agrícola, Pecuario e Industrial ( Ingenio Azucarero ).
TAMPAON	Doméstico, Agrícola y Pecuario.
PANUCO	Doméstico y Pecuario.

(4) Publicado el 29 de marzo de 1973 en el Diario Oficial de la Federación.- Se trata de clasificar las aguas de los cuerpos receptores superficiales, en función de sus usos y características de calidad.

## II.2.2. Usos Futuros.

La Comisión de Estudios de la Cuenca del Río Pánuco, ha subdividido a la cuenca en tres áreas con características definidas y diferentes entre sí, El Altiplano, La Región de la Sierra y la Zona de las Huastecas o Planicie Costera. En la parte alta o región del Altiplano, donde el agua es menos abundante, se tiene la zona más desarrollada agrícola e industrialmente por lo cual los volúmenes de agua generados en esta área deben ser aprovechados íntegramente.

Debido a que la orografía de la región de la sierra es muy escarpada y los cauces de los ríos son encajonados, no existen terrenos de extensión propicios para desarrollos agropecuarios importantes. El Plan Nacional de Desarrollo 1983-1988, incluye en esta región obras de pequeña irrigación, generación de energía eléctrica y control de avenidas.

La Planicie se caracteriza por las grandes extensiones de terrenos sensiblemente planos y suelos fértiles y de buena calidad.

Esta área reúne los elementos que permiten desarrollos agropecuarios intensivos de gran importancia. Además, tiene posibilidad de desarrollos industriales, piscícolas y turísticos.

Actualmente se encuentra en etapa de construcción, lo que será el distrito de riego más grande del país, en su primera etapa se pondrá bajo riego 145 000 hectáreas, correspondientes a los proyectos Animas, Pujal-Coy primera fase y Chicayan.

En subsecuentes etapas se llegará a cubrir una extensión de 700 000 hectáreas, que es la superficie potencialmente irrigable en las Huastecas.

De igual forma en las Lagunas de la planicie que ocupan una extensión de 89 800 hectáreas, se han venido realizando estudios para determinar las condiciones ecológicas y posteriormente, construir las obras civiles necesarias para el incremento de la producción de peces, camarón y ostión.

### 11.3. Fuentes de Contaminación.

Para comprender este tema, es conveniente hacer un poco de historia y enunciar algunos conceptos de contaminación y tipos de fuentes contaminantes.

El problema de la contaminación tuvo su origen cuando comenzó el desarrollo industrial. Se instalaron las primeras fábricas, -

las que significaron un importante mercado de trabajo y requirieron a su vez mercados de consumo y mano de obra, formando las primeras me-  
trópolis. Con el aumento de centros de trabajo, también aumentó la -  
población a su alrededor y los centros urbanos tuvieron un incremento  
desmesurado y repentino, sorprendiendo a las ciudades sin servicios -  
adecuados de vivienda, energía, agua potable, alcantarillado, etc.

Las ciudades para su subsistencia, requieren diariamente de  
numerosas sustancias que actúan como sus elementos nutritivos; el -  
agua potable, materias primas, alimentos, etc., por otro lado se pro-  
ducen gran cantidad de desechos, los cuales deben disponerse adecuada-  
mente, para evitar que los grandes conglomerados urbanos sean contami-  
nados por sus propios desechos.

Lo anterior, motivó que los centros de población fueran edi-  
ficados a las orillas de cursos de agua, que les servían primero como  
abastecimiento de agua potable, transporte, fuente de energía y al fi-  
nal en la disposición de sus residuos.

Con el crecimiento de los centros de población y el avance  
industrial, los volúmenes de residuos aumentó y los desechos vertidos  
a las corrientes de agua, al aire y suelo cambian sus características

lo cual, afecta nocivamente la vida en nuestro planeta.

La contaminación, se puede definir como la presencia de sustancias generadas por la actividad humana en el agua, aire y suelo, - en cantidades y concentraciones capaces de interferir con el bienestar y salud de las personas, animales y plantas.

El 11 de enero de 1982, el Gobierno de México publicó en el Diario Oficial de la Federación la "Ley Federal de Protección al Ambiente", que en su artículo 4o. Párrafo 5o. considera el concepto de contaminación como "La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo a la vida, la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de los bienes y recursos en general". Además en el párrafo 6o. del mismo artículo se considera contaminante a "Toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana".

Como se observa, la contaminación es una alteración en las características naturales de los distintos elementos básicos, no solo para la subsistencia del hombre sino en el agua, aire y suelo de la tierra.

Es necesario ahora, definir las fuentes de contaminación que tiendan a cambiar las características naturales de los sitios, donde cualquier desecho es vertido en el medio ambiente.

Las fuentes de contaminación, las podemos clasificar en dos grandes grupos que son:

I. Naturales.

II. No Naturales.

Dentro de las fuentes de contaminación natural se encuentran, el deslave ocasionado por las lluvias, la erosión, los incendios producidos por la caída de un rayo, la erupción de un volcán, etc., estos fenómenos cambian las características naturales en los sitios donde ocurren.

Las fuentes de contaminación no naturales, abarcan todas las actividades humanas, que directa o indirectamente provoquen contamina

ción, y dentro de ellas tenemos los siguientes subgrupos:

- a. Municipales
- b. Industriales
- c. Agrícolas
- d. Accidentales

### II.3.1 Descargas Municipales

Constituyen la mayor fuente de contaminación en la cuenca, debido a los grandes volúmenes de agua que se manejan para el abastecimiento de poblaciones. Estas aguas residuales<sup>(5)</sup> están formadas por las descargas de la población y algunas veces en forma conjunta con descargas pluviales.

En la mayoría de las áreas urbanas, el crecimiento poblacional es muy rápido y la mayoría no se encuentra conectada a los sistemas de alcantarillado, disponiendo sus residuos directamente a los cuerpos de agua.

A continuación se presentan los volúmenes totales de aguas residuales generados por descargas municipales:

SUBCUENCA	MILES DE M <sup>3</sup> /AÑO
1.- Río Tula	8 673.0
2.- Río San Juan del Río	4 717.0

(5) Agua Residual .- Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

3.-	Río Extóraz	1 395.0
4.-	Río Amajac	6 719.0
5.-	Río Tempoal	5 810.0
6.-	Río Moctezuma	4 465.0
7.-	Río Tapaón	8 889.5
8.-	Río Pánuco	4 908.0

Fuente de Información: S.A.R.H. Dirección General de Administración de Usos del Agua.

### II.3.2. Descargas Industriales

Las fuentes de contaminación debidas a la industria - aumenta día con día en la cuenca, además las industrias ya existen - tes descargan volúmenes considerables de aguas residuales cuya natu - raleza es diversa, encontrándose industrias como: la Textil, curtidu - ría, petroquímica, papel y celulosa, café, azúcar, química, alimenti - cia, etc., las cuales muestran una amplia gama en contaminantes como procesos existan en su industria. Muchas de estas industrias, des - cargan sus aguas residuales sin ningún tratamiento a los cuerpos re - ceptores.<sup>(6)</sup>

A continuación se presentan los volúmenes totales de aguas residuales generadas por descargas industriales:

---

(6) Cuerpo Receptor.- Es toda red colectora, río, cuenca, cauce, va - so o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa - o indirectamente la descarga de aguas residuales.



SUBCUENCA	MILES DE M <sup>3</sup> / AÑO
1. Río Tula	859.8
2. Río San Juan del Río	1 631.2
3. Río Extoraz	No especificado
4. Río Amajac	407.3
5. Río Tempoal	8 160.0
6. Río Moctezuma	0.8
7. Río Tamaoñ	17 847.4
8. Río Pánuco	15 602.0

Fuente de Información: S.A.R.H. Dirección General de Administración de Usos del Agua.

Las fuentes de contaminación agrícolas, son la consecuencia del uso de herbicidas, plaguicidas, fungicidas y fertilizantes, para el control de las distintas plagas y para aumentar la productividad de la tierra, las aguas de retorno agrícola llevan restos de estos compuestos hasta los cuerpos receptores, lo cual, aunado a los arrastres de las excretas animales por los escurrimientos pluviales, dan una fuente considerable de contaminación que altera los ecosistemas acuáticos. El control y manejo de las aguas de retorno agrícola es difícil, debido a que las áreas de riego son extensas y poseen va-

rias descargas.

Las accidentales, son las fuentes de contaminación que indirectamente son causadas por las actividades del hombre como el caso de fugas radioactivas. Estos casos no son muy frecuentes, pero cuando llegan a existir, las consecuencias son grandes para los lugares cercanos al accidente, acabando con la ecología del lugar.

Fuentes de Contaminación en  
la Cuenca del Río Pánuco

FUENTES	CARGA ORGANICA COMO DBO EN KG/AÑO	% CON RESPEC TO AL TOTAL DE LA CUENCA
Población	153 371 800	46
Prod. Químicos	75 084 950	22
Prod. Bebidas Alcohólicas	30 988 302	9
Ind. Papelera	26 420 832	8
Ind. Azucarera	9 954 553	3
Ind. Petrolera	9 025 691	3
Prod. Lácteos	6 752 311	2
Ind. Hulera	6 261 608	2
Ind. Alimenticia	4 697 156	1
Ind. Textil	4 140 098	1
Matanza de Ganado	1 797 315	0.5
Elaboración de Refrescos	954 315	0.3
Ind. del Cuero	641 580	0.2
Otras	4 430 842	2

Fuente de Información: S.A.R.H. Dirección General de Administración  
de Usos del Agua.

C A P I T U L O   I I I

BALANCE HIDRAULICO

Y

GASTOS DE DISEÑO DEL RIO

### III.1. División de la Corriente.

Como se ha mencionado anteriormente, el colector principal de la cuenca del río Pánuco es el río Moctezuma y de éste, nos ocuparemos exclusivamente para aplicar el modelo matemático, en virtud de que capta volúmenes de agua de toda la cuenca.

Con objeto de entender de una manera más adecuada el comportamiento de la corriente del río, es necesario contar con una base definida para determinar las constantes necesarias para alimentar el modelo y conocer la capacidad de asimilación y dilución<sup>(7)</sup> del río, - delimitar el área de acción y dividir la corriente en tramos, de acuerdo a las aportaciones de los afluentes principales y las extracciones a lo largo de la misma (en este caso se discriminan las extracciones por no ser representativas) de igual manera, se toman en cuenta las descargas de aguas residuales que en forma directa se vierten al cuerpo receptor.

(7) Capacidad de Asimilación.- Es la propiedad que tiene un cuerpo receptor calculada con base en el gasto de diseño, para restablecer su calidad en forma tal que no se viole en tiempo ni espacio la norma de calidad establecida.

Capacidad de Dilución.- Es la cantidad de cualquier elemento, compuesto o substancia que puede recibir un cuerpo receptor en forma tal que no exceda en ningún momento, ni lugar la concentración máxima de dicho elemento, compuesto o substancia establecida en la norma de calidad del cuerpo receptor correspondiente, tomando como base el gasto normal de diseño o volumen normal de diseño.

Tomando en cuenta lo anterior, se delimitó el área de estudio desde la estación hidrométrica Ixmiquilpan que se localiza sobre el río Tula, hasta la estación hidrométrica Las Adjuntas, ubicada aproximadamente a 500 M. después de la confluencia de los ríos Moctezuma y Tapaón.

Igualmente, se dividió la corriente de la siguiente forma:

TRAMO	DESCRIPCION	KILOMETRAJE
O	Estación hidrométrica Ixmiquilpan ubicada en el río Tula.	0+000
A	De la estación hidrométrica Ixmiquilpan, hasta la descarga de aguas residuales de la población de Taxquillo, Hgo.	13+000
B	De la descarga mencionada a la afluencia del río San Juan del Río.	48+500
C	De la confluencia de los ríos San Juan del Río y Tula, (a partir de ésta toma el nombre de río Moctezuma) a la afluencia del río Extóraz.	99+500

TRAMO	DESCRIPCION	KILOMETRAJE
D	De la confluencia de los ríos Extóraz y Moctezuma a la afluencia del río Amajac.	179+500
E	De la confluencia de los ríos Amajac y Moctezuma, hasta la afluencia del río - Axtla.	210+500
F	De la confluencia de los ríos Axtla y - Moctezuma, hasta la descarga de aguas - residuales de la población de Tamquian, S.L.P.	238+500
G	De la descarga mencionada a la afluen-- cia del río Tempoal.	280+500
H	De la confluencia de los ríos Tempoal y Moctezuma, hasta la afluencia del río - Tambaón.	330+500
I	De la confluencia de los ríos Tambaón y Moctezuma (a partir de ésta se denomina río Pánuco), hasta la estación hidromé- trica Las Adjuntas.	331+000

### III.2. Gastos de Diseño.

Los gastos de diseño del río Moctezuma y sus diversos afluentes, se obtuvieron del boletín hidrológico No. 32 correspondiente a la Región Hidrológica No. 26 del país<sup>(8)</sup>.

Se tomaron los gastos reportados de los siete días consecutivos más secos, mensuales, anuales. Esto, con la finalidad de hacer más representativo el modelo matemático y adaptarlo a la situación más desfavorable y con mayor riesgo de contaminación.

Cabe mencionar que en el trayecto del río Moctezuma, existen considerables números de pequeñas descargas de aguas residuales y aprovechamientos, pero éstos no son representativos, comparados con el volumen de agua que lleva el río, sin embargo se tomaron en cuenta dos descargas de aguas residuales municipales correspondientes a las poblaciones de Taxquillo, Hgo. y Tamquian, S.L.P., éstas por descargar directamente al cuerpo receptor en estudio y por ser representativas dentro de su rama.

(8), S.A.R.H. Dirección General de Estudios, Dirección de Hidrología. Tomo I, 1977.



Afluente o descarga	Gasto de diseño m <sup>3</sup> /seg.
Río Tula	10.8
Taxquillo, Hgo.	0.077
Río San Juan del Río	0.843
Río Extóraz	12.86
Río Amajac	16.4
Río Axtla	5.93
Tanquian, S.L.P.	0.06
Río Tempoal	24.73
Río Tropaón	114.067

### III.3. Balance Hidráulico del Gasto de Diseño.

Para establecer el balance hidráulico del gasto de diseño de la corriente, se procede a conservar un equilibrio en el cuerpo receptor entre aportaciones y extracciones, realizando sumas o restas según sea el caso. Al respecto, no se tomaron en cuenta las extracciones por no ser significativas para el cálculo del balance hidráulico.

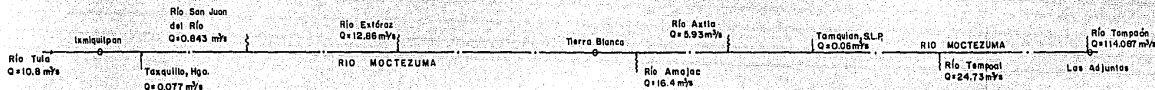
Realizando lo anterior, los gastos de diseño obtenidos para el río Moctezuma son los siguientes:

## BALANCE HIDRAULICO Y GASTOS DE DISEÑO

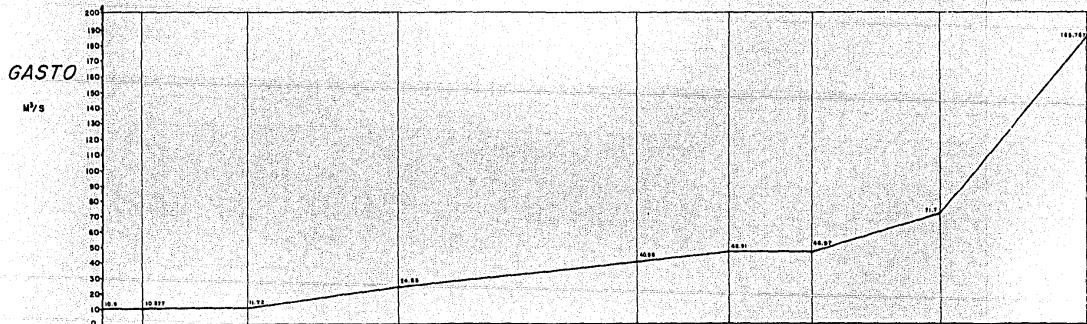
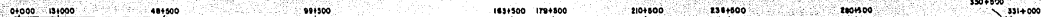
Kilometraje	Q		Gasto en m <sup>3</sup> /seg.	Velocidad en m/seg.*
0 + 000	Q <sub>0</sub>		10.8	0.65
13 + 000	Q <sub>1</sub>	+	0.077	
	Q <sub>2</sub>		10.877	0.65
48 + 500	Q <sub>3</sub>	+	0.843	
	Q <sub>4</sub>		11.72	0.8
99 + 500	Q <sub>5</sub>	+	12.86	
	Q <sub>6</sub>		24.58	0.8
179 + 500	Q <sub>7</sub>	+	16.4	
	Q <sub>8</sub>		40.98	0.68
210 + 500	Q <sub>9</sub>	+	5.93	
	Q <sub>10</sub>		46.91	0.55
238 + 500	Q <sub>11</sub>	+	0.06	
	Q <sub>12</sub>		46.97	0.55
280 + 500	Q <sub>13</sub>	+	24.73	
	Q <sub>14</sub>		71.70	0.63
330 + 500	Q <sub>15</sub>	+	114.067	
331 + 000	Q <sub>16</sub>		185.767	0.51

\*La velocidad se obtuvo con molinete en el lugar especificado por el kilometraje.

# TRAMOS



# KILOMETRAJE



## SIMBOLOGIA

- ◆ ESTACION HIDROMETRICA
- | DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES
- | AFLUENTE
- CUERPO RECEPTOR



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
 PROFESIONALES "ARAGON"  
 INGENIERIA

## GASTO DE DISEÑO DEL RIO MOCTEZUMA

CALCULO Y DISEÑO:  
 LUCIO TIZCO DOMINGUEZ R.  
 REVISO:  
 ING. AMADO GAYOSO CH.

## CAPITULO IV

### CALIDAD DEL AGUA

El estudio de la calidad del agua del río Moctezuma es primordial, debido a que éste, es un importante componente del medio ambiente de la Cuenca del río Pánuco, además es el río más contaminado del país y con mayor carga orgánica. Dicha importancia radica en razón a su multiplicidad de usos, que no sólo se refieren al abastecimiento de agua potable, a su aprovechamiento para procesos industriales, a su utilización para generación de energía eléctrica, para riego, para navegación, pesca o recreación, sino, a su utilización como usual transportador de desechos, tanto sólidos como líquidos, que se constituyen, no únicamente en un perturbador, sino en ocasiones en un impedimento de todos los usos y actividades anteriores.

#### IV.1. Muestreo de Campo.

A partir de la publicación en 1971 de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, y del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas en 1973, se inició la normatividad de metodologías para la toma de muestras y determinaciones analíticas de parámetros de calidad del agua.

Esta normatividad tiene como objetivo el uniformizar los criterios para la toma de muestras, y los análisis que pueden obte--

nerse en el sitio de muestreo, para tener un punto de comparación entre los resultados y su interpretación.

Para ilustrar lo anterior, se presentan algunas definiciones, criterios y métodos de muestreo y de análisis de campo que se consideran como Normas Oficiales Mexicanas, así como los métodos aún no normalizados, actualizados conforme con la décima quinta edición de los "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" de 1980.

Muestreo; es el proceso de separar una pequeña porción (muestra) del total, de tal manera que represente el carácter y calidad de la masa de la cual se tomó. El muestreo adecuado de un agua es necesario para obtener datos concernientes a sus características físicas, químicas y biológicas.

Los recipientes para las muestras deben ser de materiales inertes al contenido de las aguas. Se recomiendan los recipientes de polietileno o vidrio. En el caso de los recipientes para muestras a las que se les va a efectuar análisis bacteriológicos, deben ser de material resistente a presiones y temperaturas requeridas para la esterilización.

Para la determinación de análisis físico-químicos los recipientes deben tener una capacidad mínima de 2 litros. En el caso de los recipientes para análisis bacteriológicos la capacidad debe ser no mayor de 250 ml y de un litro para determinar grasas y aceites.

- Criterios para la toma de muestras -

Los puntos de colección de muestras, son seleccionados tomando en cuenta las fuentes de contaminación, caudal y velocidad de la corriente, dilución para corrientes ramificadas, cambios en la topografía y declive del cuerpo receptor en estudio.

Las muestras deben ser representativas de las condiciones que existen en el punto y hora de muestreo, y tener el volumen suficiente para efectuar en él las determinaciones correspondientes.

Por regla general, se toman las muestras de agua en donde existen puntos de turbulencia, a fin de obtener muestras más representativas. Cuando no hay turbulencias, se toman las muestras en el centro de la corriente.

En los ríos, se toman varias series de muestras a diferentes

profundidades y distancias entre las orillas, dependiendo de las características hidráulicas, ya que es diferente por ejemplo, el grado de salinidad de un río tierra adentro, que en la desembocadura. En muchas ocasiones habrá que hacer el muestreo de acuerdo con la hidrografía del río.

En el caso de corrientes o cuerpos receptores a los que se descargan aguas residuales en forma directa, los criterios son los siguientes: tomar la muestra aguas arriba de la descarga, a una distancia en la que no se manifieste influencia de ésta; en la descarga misma, lo más próximo posible a su desembocadura al cuerpo receptor; y aguas abajo de la descarga, a una distancia en la que se considere se haya efectuado una mezcla uniforme de la descarga en el cuerpo receptor.

Igualmente se recomienda muestrear a una distancia tal, que se considere que el cuerpo receptor haya absorbido el efecto de la descarga, para apreciar el grado de recuperación.

Para fines de estudio de un cuerpo receptor, se muestrea en aquellos sitios en que se aprecian cambios fuertes de sección, caídas, zonas cubiertas por lirio u otros organismos eutroficantes. En los afluentes, antes de desembocar al cuerpo receptor; dentro del --



cuerpo receptor, donde se aprecie una mezcla uniforme de los afluentes y en las salidas del cuerpo receptor.

Tomando en cuenta lo anterior se establecieron las estaciones de aforo y muestreo a lo largo del cauce, así como de las principales fuentes contaminantes, para conocer en cantidad y calidad el estado actual de la corriente.

Todo ello, previo a un recorrido de campo a lo largo de la corriente en estudio, con objeto de actualizar datos preliminares, fijar los puntos y establecer la frecuencia de muestreo, así como determinar el equipo y materiales necesarios a utilizar (9).

Para el río Moctezuma, la selección de las estaciones de aforo y muestreo se efectuaron con el criterio siguiente:

- a) En el sitio determinado como inicio del estudio.
- b) Antes, sobre y después de cada afluente al río Moctezuma.
- c) Antes, sobre y después de cada descarga de aguas residuales.
- d) Antes y después de cada cambio de sección o de pendiente.

---

( 9 ) Manual de Técnicas de Muestreo de Aguas y Determinaciones en el Campo. IV Edición. S.A.R.H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Febrero. 1982.

- e) A la entrada y salida de presas.
- f) Antes, sobre y después de cada canal de extracción.
- g) En dos puntos intermedios de cada segmento.

En todos los puntos de muestreo seleccionados se tomaron - - muestras de agua y se transportaron al laboratorio para su análisis. (10)

#### IV.2. Caracterización del Agua.

Todo cuerpo de agua recibe en mayor o menor grado cargas con contaminantes, la determinación de éstas, es esencial para conocer sus respuestas actuales y futuras a dichas solicitaciones. Existe gran número de elementos y sustancias químicas que pueden o no alterar las condiciones físicas y químicas de un agua natural. Gran porcentaje de los compuestos químicos que se encuentran en un curso de -- agua natural, así como en las aguas residuales, corresponden a compuestos orgánicos.

La importancia y el efecto de los contaminantes más significativos en los cuerpos de agua se pueden encontrar en diversas publicaciones de ingeniería sanitaria e ingeniería química, donde se

---

(10) La transportación debe realizarse con cuidado, en el menor tiempo posible y a 4° C o menos.

aprecia con exactitud el desarrollo y estudio de la polución del agua. Lo que se pretende con la caracterización del agua del río Moctezuma, es determinar el grado de contaminación de la corriente, las condiciones de descarga de materia orgánica producida por los centros poblacionales, tanto del D.F. como de aquellas que descarguen sus residuos directamente en la corriente del río Moctezuma.

Por lo anterior, los parámetros de laboratorio que se tomaron en cuenta para la caracterización del agua son los siguientes:

Potencial Hidrógeno, Oxígeno Disuelto, Color, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno y Coliformes-Totales y Fecales.

A continuación se presenta la tabla No. 2 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, sus anexos y las determinaciones de laboratorio.

T A B L A N O. 2.

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECIPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD.

CLASE	USOS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		pH	Temperatura (°C)	O.D. (mg/l)	Bacterias Coliformes N.M.P. (Organismos/100ml)	Aceites y Grasas (mg/l)	Solidos Disueltos. (mg/l)	Turbiedad (U.T.J)	Color (Escala y Platino Cobalto)	Olor Sabor	Nutrientes Nitrogeno y Fosforo	Materia Flotante.	Substancias Tóxicas.
				Límite Mínimo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo
IV	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industrial alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (en contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	0.76	No mayor de 1000	10	20	Ausentes.	(c)	Ausente.	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	1000 fecales (e)	1.0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
DII	Agua adecuada por uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5	4.0	10,000 coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20,000 (h).	Ausencia de película visible.	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C.N.	(c)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5	3.2	1000(j) y más por litro para los cultivos.	Ausencia de película visible.	(i)	C.N.	C.N. más 10		(c)	Ausente	(d)
DI'	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).	5.0 a 9.5		3.2									(d)

pH = potencial hidrógeno  
 O.D. = Oxígeno disuelto  
 N.M.P. = Número más probable  
 U.T.J. = Unidades de turbiedad Jackson  
 mg/l = Miligramos por litro  
 C.N. = Condiciones naturales  
 °C = Grados centígrados.

## ANEXO DE LA TABLA No.2

- (a) Máximo 30° C excepto cuando sea causada por condiciones naturales. Medida en la superficie fuera de la zona de mezclado, la cual se determinará de acuerdo con las características de descarga.
- (b) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo) , podrá ser mayor a 2000 coliformes fecales.
- (c) No deben existir en cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.
- (d) El criterio con respecto a sustancias tóxicas es el siguiente:

Ninguna sustancia tóxica sola o en combinación con otras estará presente en concentraciones tales que conviertan el agua del cuerpo receptor en inadecuada para el uso específico a que se destinen.

La Tabla No.3 resumen algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

- (e) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2'000 coliformes fecales.
  - (f) No será permitido color artificial que no sea coagulable por tratamiento convencional.
  - (g) Removible por tratamiento convencional.
  - (h) 2'000 coliformes fecales como promedio mensual, ningún valor mayor de 4'000.
  - (i) Conductividad no mayor de 2'000  $\mu\text{mohs/cm}$ . Si el valor de RAS es mayor de 6, la Secretaría de Recursos Hidráulicos fijará el valor definitivo.
- RAS igual a relación de absorción de sodio.
- Boro 0.4 mg/l. Para valores superiores, la autoridad competente fijará el valor definitivo.
- (j) Para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.

TABLA No.3

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUBSTANCIAS  
TOXICAS EN LOS CUERPOS RECEPTORES.

Límite máximo en miligramos por litro

Clasificación (Tabla 2 )	DA	DI	DII	DIHI
Arsénico	0.05	0.05	1.00	5.00
Bario	1.00	1.00	5.00	-
Boro	1.00	1.00	-	2.0
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005
Cobre	1.00	1.00	0.1	1.0
Cromo hexavalente	0.05	0.05	0.1	5.00
Mercurio	0.005	0.005	0.01	-
Plomo	0.05	0.05	0.10	5.00
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05
Cianuro	0.20	0.20	0.02	-
Fenoles	0.001	0.001	1.00	-
Substancias activas al azul de mátileno (detergente)	0.50	0.50	3.00	-
Extractables con Clorofomo	0.15	0.15	-	-
<b>Plaguicidas</b>				
Aldrin	0.017	0.017		
Clordano	0.003	0.003		
D.D.T.	0.042	0.042		
Dieldrin	0.017	0.017		
Endrin	0.001	0.001		
Heptacloro	0.018	0.018		
Epóxico de heptacloro	0.018	0.018		
Lindano	0.056	0.056		
Metoxicloro	0.035	0.035		
Fosfatos orgánicos con carbanatos	0.100	0.100		
Toxafeno	0.005	0.005		
Herbicidas totales	0.100	0.100		
<b>Radioactividad</b>				
	Picocuries por litro			
Beta	1.000	1.000	1.000	
Radio 226	3	3	3	
Estroncio	10	10	10	



CARGA ORGANICA APORTADA POR  
LOS AFLUENTES DEL RIO MOCTEZUMA

AFLUENTE	C L A V E	KILOMETRAJE	OD (mg/ l )	DBO (mg/ l )	GASTO (m <sup>3</sup> /seg )
Río San Juan del Río	ARSJR	48 + 500	6.5	67.18	0.843
Río Extóraz	AREXT	99 + 500	6.2	14.7	12.86
Río Amajac	ARAMA	179 + 500	9.9	2.06	16.4
Río Axtla	ARAXT	210 + 500	9.4	2.51	5.93
Río Tempoal	ARTEM	280 + 500	8.2	2.31	24.73
Río Tapaón	ARTAM	330 + 500	8.9	2.5	114.067

OD = Oxígeno Disuelto

DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno última, o de término largo, considerada como Carga Orgánica y es la que se emplea en el modelo matemático. (estos valores se obtuvieron en el laboratorio).

FUENTE: S.A.R. H. Dirección General de Administración de Usos del Agua.



### IV.3. Comentarios de la Calidad del Agua.

Antes de proceder a comentar los aspectos de la calidad -- del agua que guarda el río Moctezuma, es pertinente aclarar que de acuerdo con la Tabla No. 2 del artículo 24 del Reglamento para la -- Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, se efectuó una -- clasificación tentativa de dicha corriente, en función de los usos -- del agua existentes.

La mencionada clasificación quedó de la siguiente forma:

TRAMO	CLASE
O - B	D III
C	D II
D - I	D I

Tomando en cuenta el mismo Reglamento donde también se -- establecen los parámetros de calidad que deben cumplir las aguas pa -- ra uso agrícola, industrial, recreativo, conservación de flora y -- fauna y abastecimiento de agua potable, se realizó una comparación -- entre los parámetros obtenidos en el laboratorio y los especifica -- dos en el Reglamento, observando con respecto a cada parámetro lo -- siguiente:

Potencial Hidrógeno.- En todos los tramos se encuentra en el margen adecuado para las tres clases de uso establecidas por el Reglamento.

Temperatura.- De acuerdo con las temperaturas medias anuales reportadas por diversas estaciones climatológicas, más los 2.4°C del Reglamento, se observa que en el tramo O-B, se encuentra por arriba de la permitida por el Reglamento y en el resto de la corriente es aceptable.

Oxígeno Disuelto.- Se encuentra en todos los tramos en los límites mínimos requeridos por el Reglamento.

Bacterias Coliformes.- Rebasa los límites permitidos para coliformes fecales a lo largo de toda la corriente, con respecto a los coliformes totales en el tramo D-I se excede para la clase de uso a que se destina, el cual es, abastecimiento de agua potable.

Aceites y grasas.- No se analizaron, pero se considera como aceptable la ausencia de película visible en los tramos O-C y no mayor de 1.0 mg/l en el resto de la corriente.

Sólidos Disueltos.- No se determinaron, pero el Reglamento especifica que no será mayor a 1 000 mg/l para la Clase D I, - 2 000 mg/l para la Clase D II y para la Clase D III la conductividad no será mayor de 2 000  $\mu$ mohs/cm.

Turbiedad.- El Reglamento acepta condiciones naturales para las tres clases, los resultados de laboratorio marcan bastante turbiedad, pero de acuerdo a los usos a que se destina el agua, es aceptable y con el tratamiento que se le dá para abastecimiento de agua potable no hay rechazo del usuario.

Color.- Es aceptable en toda la corriente.

Nutrientes:

Nitrógeno Orgánico.- Es aceptable en toda la corriente - pues no rebasa el límite permisible de 1.0 mg/l.

Fosfato Total.- Igualmente se acepta en todos los tramos - ya que está por abajo de los 5.0 mg/l.

Materia Flotante.- No se determinó, pero el Reglamento especifica ausencia.

Sustancias Tóxicas.- Los valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en los cuerpos receptores se especifican en la Tabla No. 3. No fueron analizados en laboratorio, pero se considera aceptable y adecuada el agua de la corriente con respecto a este parámetro.

En general la calidad del agua del río Moctezuma en los primeros tres tramos, está degradada por la alta concentración de carga orgánica que viene arrastrando desde los inicios de los ríos Tula y San Juan del Río, por las aportaciones de descargas del D.F. y áreas metropolitanas, pero en la medida que avanza la corriente, su capacidad de autopurificación natural al igual que las aportaciones de sus afluentes que recibe, la hacen de mejor calidad y apta para los usos a que se destina.

C A P I T U L O   V

APLICACION DEL MODELO  
MATEMATICO

Un modelo matemático es, hasta cierta forma, una representación de hechos en la naturaleza. En nuestro caso, se trata del desarrollo de técnicas y herramientas para expresar en términos matemáticos los diversos aspectos físicos, químicos y biológicos de los cambios experimentados por sustancias agregadas al recurso hídrico.

El control de la calidad del agua en cuerpos receptores que realiza la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, aplica y desarrolla modelos matemáticos que simulan el comportamiento de una corriente que recibe carga contaminante. El modelo de calidad de agua cubre un amplio ámbito de análisis con variaciones en la calidad de ella, condiciones de la corriente y variaciones en el tiempo.

Uno de los modelos más ampliamente usados, el cual aplicaremos en este trabajo es el de STREETER & PHELPS, con algunas modificaciones que complementan el comportamiento real del desecho en el cuerpo receptor.

Las fórmulas generales del modelo son:

$$L = L_0 (1 - e^{-K_D t}) \dots \dots \dots (1)$$

$$D = D_0 e^{-K_2 t} + \frac{K_D L_0}{K_2 - K_R} \left[ e^{-K_R t} - e^{-K_2 t} \right] \dots \dots \dots (2)$$

En donde:

- L = Demanda bioquímica de oxígeno en el tiempo T (mg/l)
- D = Déficit de oxígeno disuelto en el tiempo T (mg/l).
- L<sub>0</sub> = Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) última al inicio (mg/l).
- D<sub>0</sub> = Déficit de oxígeno disuelto inicial (mg/l)
- K<sub>2</sub> = Tasa de reoxigenación (día<sup>-1</sup>)
- K<sub>D</sub> = Tasa de desoxigenación ( día<sup>-1</sup>)
- K<sub>R</sub> = Tasa de remoción de DBO ( día<sup>-1</sup>)
- t = Tiempo (días).

#### V.1. Cálculo de Constantes y Coeficientes.

En las páginas que siguen, se exponen los diversos métodos que se pueden emplear para el cálculo de las constantes y coeficientes que intervienen en el modelo matemático planteado. Como se verá, la evolución de las técnicas abarca desde los enfoques del control, hasta la medición de las transformaciones que sufre un contaminan--

te al incorporarse a un cuerpo de agua.

Las constantes de desoxigenación ( $K_D$ ), remoción de DBO ( $K_R$ ) y Reaeración ( $K_2$ ) que componen el modelo matemático se obtienen de la siguiente manera:

#### V.I.1. Constante de Desoxigenación ( $K_D$ )

Esta constante se refiere a la tasa de degradación combinada de materia orgánica carbonosa y nitrogenada. La utilización de oxígeno disuelto en el río sigue una reacción de primer orden<sup>(11)</sup> como es el caso de la utilización de oxígeno disuelto (OD) en el frasco de DBO o en un garrafón.

Por consiguiente la remoción de DBO por bio-oxidación exclusivamente, en un tramo determinado de río con características químicas y biológicas semejantes, se puede determinar en el laboratorio haciendo las suposiciones siguientes:

- La desoxigenación es constante a lo largo del tramo de la corriente.

---

(11) Se ha establecido que la cinética de la reacción de DBO es de "primer orden" porque la velocidad de la reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable.



- La reacción en la corriente y en los frascos es de primer orden.
- La DBO última es la medición de la materia orgánica total presente en el tramo de la corriente.
- Se conservan "condiciones fijas" ( Steady State ), a lo largo del tramo considerado.

En base a lo anterior se pueden emplear alguno de los métodos disponibles que el analista considere más accesibles. Todos los métodos en general, se basan en la determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno a intervalos de tiempo iguales que permita conocer los incrementos y manejarlos mediante procedimientos matemáticos adecuados.

a). Método de los Momentos de Moore, Thomas y Snow.

Este método ajusta los valores medidos con una curva de primer orden que tiene sus primeros dos momentos  $\sum y$  ;  $\sum ty$  iguales a los de los puntos experimentales. Las ecuaciones que expresan esta condición para una serie de valores (n) de "y" (DBO) son:

$$\sum_{i=0}^n y_i = \sum_{i=0}^n L \left[ 1 - e^{-K_D t_i} \right] = (n+1)L - L \sum_{i=0}^n e^{-K_D t_i} \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{i=0}^n (t_i y_i) = \sum_{i=0}^n L t_i \left[ 1 - e^{-K_D t_i} \right] = L \sum_{i=0}^n t_i - L \sum_{i=0}^n \left[ t_i e^{-K_D t_i} \right] \dots\dots\dots (2)$$

dividiendo los momentos, se eliminan las L y tenemos:

$$\frac{\sum_{i=0}^n y_i}{\sum_{i=0}^n (t_i y_i)} = \frac{n - \sum_{i=0}^n e^{-K_D t_i}}{\sum_{i=0}^n t_i - \sum_{i=0}^n \left[ t_i e^{-K_D t_i} \right]}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior para la serie de tiempo de 1,2,3, 4 y 5 días y para diferentes valores de  $K_D$  se obtie -

nen valores diferentes para el miembro del lado derecho ó sea se obtienen diferentes valores de  $\sum y_i / \sum (t_i y_i)$

De la ecuación ① si se elimina el término  $t=0, y=0$  y se expresa  $\sum_{i=1}^n y_i$  en términos de L se obtiene:

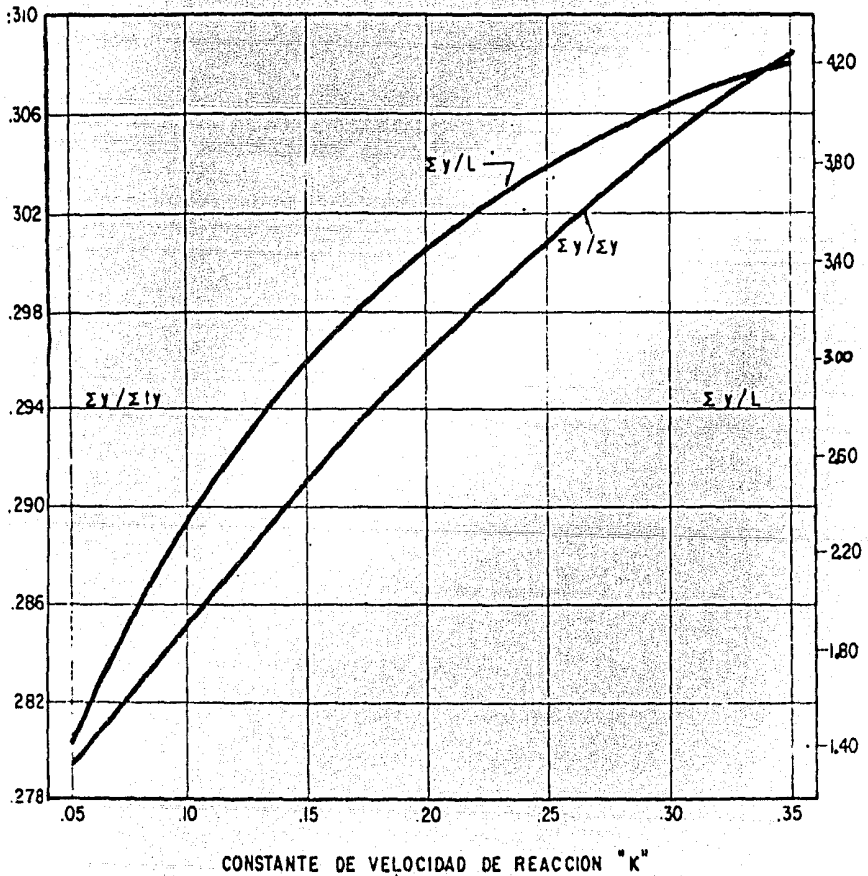
$$\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{L} = n - \sum_{i=1}^n e^{-K_D t_i}$$

Se observa que se puede calcular el término del lado derecho para una serie de tiempo de 1,2,3, 4 y 5 días y para diferentes valores de  $K_D$ . Haciendo lo anterior se pueden encontrar dos curvas para esta secuencia de cinco días que permite posteriormente conocer los valores de  $K_D$  y L. (Las curvas se presentan en la gráfica No.V.1.)

b). Método Simplificado de Thomas Jr.

Cuando no se disponga de las gráficas se puede emplear este método, basado en la similitud de las funciones:

# Gráfica No. V.1



Valores de "K" y de la DBO última para series de pruebas de la DBO por 1,2,3,4, y 5 días (según Moore, Thomas y Snow)

$$1 - e^{-K_D t} = K_D t \left[ 1 - K_D t / 2 + (K_D t)^2 / 6 - (K_D t)^3 / 24 + \dots \right]$$

$$K_D t (1 + K_D t / 6)^{-3} = K_D t \left[ 1 - K_D t / 2 + (K_D t)^2 / 6 - (K_D t)^3 / 24 + \dots \right]$$

Por consiguiente la ecuación de la DBO puede aproximarse a la relación:

$$y = L K_D t (1 + K_D t / 6)^{-3}$$

que toma la forma de la recta:

$$(t/y)^{1/3} = (K_D L)^{-1/3} \left[ K_D^{2/3} / 6L^{1/3} \right] t$$

si se traza  $(t/y)^{1/3}$  como ordenada contra  $t$  como abscisa el valor de la intersección sobre la ordenada será:

$$a = (K_D L)^{-1/3}$$

y el valor de la pendiente de la línea recta construida será:

$$b = K_D^{2/3} / 6L^{1/3}$$

se concluye por tanto que:

$$K_D = 6 b/a \quad \text{y} \quad L = \frac{1}{K_D a^3}$$

Con este método se debe tener cuidado de no usar valores de "y" mayores de 0.9 L porque la desviación se hace significativa cuando se ha ejercido el 90% de la DBO.

c). Método Gráfico basado en la remoción de DBO.

Para la aplicación de este método es necesario medir la concentración de la  $DBO_5$  en por lo menos tres puntos de cada segmento, así como la velocidad y el kilometraje entre cada uno de ellos. Estos datos se grafican en un papel semilogarítmico, teniendo como ordenadas la  $DBO_5$  y como abscisas los kilometrajes o tiempos de paso. Se ajusta la recta visualmente y se procede al cálculo de  $K_D$ .

d). Método Empírico.

De acuerdo con la práctica y experiencia que se ha desarrollado en la S.A.R.H. y en base a múltiples pruebas con el modelo ma

temático, se ha llegado a la realización de una fórmula más sencilla para efectuar el cálculo de la constante de desoxigenación ( $K_D$ ). Esto, en función de la carga orgánica presente al inicio y al final de cada tramo, la expresión es la siguiente:

$$K_D = \frac{1}{t_r} \ln \frac{L_1}{L_2}$$

Donde:

$K_D$  = Constante o tasa de desoxigenación, en día<sup>-1</sup>

$t_r$  = Tiempo de paso o recorrido, en días

$L_1$  = Carga orgánica al inicio del tramo, expresada como DBO última, en mg/l

$L_2$  = Carga orgánica al final del tramo, expresada como DBO última, en mg/l

#### V.I.2. Constante de Remoción de DBO ( $K_R$ )

Cuando la remoción de DBO es producida por otros mecanismos aparte del de bio-oxidación como son: sedimentación y adsorción, se debe incluir en el modelo la constante  $K_R$ . En general  $K_R = K_D + K_3$ , en donde  $K_3$  es la tasa de remoción debida a sedimentación y/o adsor

ción. Cuando los fenómenos mencionados no existen la  $K_R$  es igual a la  $K_D$ .

El cálculo de la  $K_R$  se realiza graficando por lo menos tres valores de  $DBO_5$  por segmento contra el kilometraje o tiempo de paso.

### V.I.3. Constante de Reaereación ( $K_2$ ).

La reaereación del agua de un río es un proceso natural de transferencia de masa. La tasa de transferencia de masa de oxígeno en un río depende de las características del agua, temperatura, del gradiente de oxígeno, de presiones parciales, así como del aire del segmento donde la transferencia ocurrió, esta transferencia es del tipo de difusión molecular.

Para los fines presentes se utilizó la ecuación general desarrollada por O'Connor, checándose que los valores sean congruentes o cercanos con los valores recomendados para las diferentes características geométricas del río.

Fórmula propuesta por O'Connor para una temperatura de 20° C.



$$K_2 = 4.0 \frac{U^{1/2}}{H^{3/2}}$$

donde:

U = Velocidad media, en m/s.

H = Profundidad media, en m.

Se deberá tener especial cuidado en que las constantes sean siempre valores de Base e <sup>(12)</sup> y que H sea < 1 para poder utilizar el modelo matemático descrito.

#### V.I.4. Corrección 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 en la transferencia de oxígeno.

Tanto la prueba estandar de la DBO como el cálculo de la tasa de reoxigenación se realizan a temperaturas estandar de 20° C. Por consiguiente cuando se quiere conocer las tasas de reaeración y reoxigenación a diferentes temperaturas se emplea la expresión pro-

---

(12) Los cálculos de las constantes del modelo son en base e debido a que el comportamiento de la oxidación de la materia orgánica (DBO) con respecto al tiempo es en forma exponencial.

puesta por Van't Hoff-Arrhenius:

$$K_t = K_{20}(\theta)^{T-20}$$

Los valores típicos para  $\theta$  <sup>(13)</sup> son:

$K_D$  = tasa de desoxigenación:  $\theta$  = 1.047

$K_2$  = tasa de reoxigenación:  $\theta$  = 1.024

$K_R$  = tasa de remoción de DBU:  $\theta$  = 1.047

#### V.I.5. Valores Recomendados para las Constantes.

En base a múltiples trabajos realizados en el laboratorio, se han obtenido los valores siguientes:

- a). Para las constantes de desoxigenación se recomiendan valores de 0.8 a 0.2 día<sup>-1</sup> en base e.
- b). Para la tasa de remoción de DBU por sedimentación y otros valores promedio encontrados son: 3.0 a 1.0 día<sup>-1</sup> en base e.
- c). Para la tasa de reoxigenación se tienen valores promedio de 0.5 a 12.2 día<sup>-1</sup> y nunca se toma un valor mayor de 15.

---

(13) Valores propuestos por O'Connors (consultar referencia bibliográfica No. 4 pag. 25-38).

### V.1.6. Cálculo de la Constante de Desoxigenación.

Se empleará la expresión siguiente

$$K_D = 0.38 (1.047)^{T-20}$$

En donde:

$K_D$  = Constante de Desoxigenación, en Día<sup>-1</sup>

T = Temperatura del agua del río, en °C

0.38 = Valor calculado en el laboratorio ( $K_{20}$ )

1.047 = Valor asignado para la tasa de desoxigenación. (-0-)

Se toma la temperatura reportada en los datos de campo y laboratorio, en virtud de presentar una situación más crítica y desfavorable, - además de dar mayor precisión y veracidad al modelo matemático, obteniendo los resultados siguientes:

TRAMO	TEMPERATURA ( °C )	$K_D$ ( días <sup>-1</sup> )
A	24	0.457
B	24	0.457
C	24	0.457
D	25	0.478
E	25	0.478

( Continuación )

TRAMO	TEMPERATURA ( °C )	K <sub>D</sub> (días <sup>-1</sup> )
F	26	0.501
G	26	0.501
H	26	0.501
I	26	0.501

## V.I.7. Cálculo de Distancias y Tiempos de Recorrido.

Para obtener las distancias de cada tramo simplemente se realizan restas en el kilometraje. En la obtención del tiempo que tarda un contaminante en recorrer cada tramo se emplea la ecuación siguiente:

$$T = \frac{d}{V}$$

donde:

- T = Tiempo de recorrido, en días
- d = Distancia del tramo, en metros.
- V = Velocidad de la corriente, en m/seg.\*

\* La velocidad se determinó en campo con molinete.

T R A M O	KILOMETRAJE	DISTANCIA ( m )	VELOCIDAD (m/seg)	TIEMPO (días)
O	0 + 000	0.0	-	-
A	13 + 000	13000	0.65	0.231
B	48 + 500	35500	0.65	0.632
C	99 + 500	51000	0.80	0.738
D	179 + 500	80000	0.80	1.157
E	210 + 500	31000	0.68	0.528
F	238 + 500	28000	0.55	0.589
G	280 + 500	42000	0.55	0.884
H	330 + 500	50000	0.63	0.919
I	331 + 000	500	0.51	0.911

## V.2 Carga Remanente.

La carga contaminante que no alcanza a ser asimilada y removida por la corriente de agua en forma natural, por no ser degradable o por razones de distancia, velocidad y tiempo recorrido de cada tramo en que se dividió la corriente, es decir, hasta donde se encuentra una descarga o aportación, se considera carga remanente.

Para conocer la cantidad de carga remanente que lleva el río al principio y final de cada tramo, se aplica la primera ecuación del modelo matemático planteado por STREETER & PHELPS y se

efectúa un balance de la carga orgánica contaminante.

$$\text{ECUACION: } L = L_0 ( 1 - e^{-K_D t} ) \text{ - - - - - ( A )}$$

donde:

- $K_D$  = Constante de desoxigenación, en días<sup>-1</sup>  
 $L$  = Carga orgánica al final del tramo, en mg/l  
 $L_0$  = Carga orgánica al inicio del tramo, en mg/l  
 $t$  = Tiempo de recorrido en el tramo, en días

Con el objeto de conocer la cantidad de carga que se tiene al inicio del nuevo tramo, se realiza un balance de carga orgánica contaminante al inicio de cada tramo donde se presente alguna aportación y se determina la que es transportada por la corriente antes de una descarga de aguas residuales.

El balance se efectuará con la siguiente ecuación:

$$L_0 = \frac{L_1 Q_1 + L_2 Q_2}{Q_1 + Q_2} \text{ - - - - - ( B )}$$

donde;

- $L_0$  = Carga orgánica al inicio del nuevo tramo expresada como  $DBO_u$ , en mg/l.  
 $L_1$  = Carga orgánica de la aportación a la corriente, en mg/l.

(continúa )

- $Q_1$  = Gasto de la aportación a la corriente, en l/s.  
 $L_2$  = Carga orgánica en la corriente antes de la aportación.  
 $Q_2$  = Gasto en la corriente antes de la aportación, en l/s.  
 (gasto de diseño).

### V.2.1. Cálculo de la Carga Remanente.

T R A M O : A

Se inicia el cálculo de la carga remanente con las características del agua de la corriente de la estación hidrométrica Ixmiquilpan, hasta antes de la descarga de la población de Taxquillo, Hgo.

Datos:

Fórmula: ( A )

$$Q = 10800 \text{ l/s.}$$

$$L_o = \text{DBO}_u^* = 325.7 \text{ mg/l}^{**} \quad L = 325.7 - 325.7 e^{-(0.457)(0.231)}$$

$$K_D = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$t = 0.231 \text{ días} \quad L = 32.63 \text{ mg/l}$$

\* Todos los datos de  $\text{DBO}_u$  de los afluentes se obtuvieron en el laboratorio con las muestras obtenidas en campo. Ver capítulo IV.

\*\* Los datos de  $\text{DBO}_u$  de las descargas de las poblaciones, son los considerados en los estudios efectuados por la SARH para las diferentes poblaciones de la República, dependiendo de la zona donde se encuentran localizados.

Se presenta en la corriente la descarga de aguas residuales de la población de Taxquillo, Hgo. y en la zona de confluencia se obtiene la carga remanente siguiente:

Datos: Fórmula - - - - - ( B )

DESCARGA:

$$Q_1 = 77 \text{ l/s}$$

$$L_0 = \frac{(325.7)(77) + (32.63)(10800)}{77 + 10800}$$

$$L_1 = 325.7 \text{ mg/l}$$

RIO TULA:

$$L_0 = 34.7 \text{ mg/l}$$

$$Q_2 = 10800 \text{ l/s}$$

$$L_0 = L = 34.7 \text{ mg/l}$$

$$L_2 = 32.63 \text{ mg/l}$$

T R A M O : B

Hasta antes de la confluencia del río San Juan del Río.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 10877 \text{ l/s}$$

$$L = 34.7 - 34.7e^{-(0.457)(0.652)}$$

$$L_0 = 34.7 \text{ mg/l}$$

$$K_d = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 8.7 \text{ mg/l}$$

$$t = 0.632 \text{ días}$$



En la zona de la confluencia con el río San Juan del Río. Posteriormente el colector General toma el nombre de río Moctezuma.

Datos: Fórmula: - - - - - ( B )

AFLUENTE

$$Q_1 = 843 \text{ l/s}$$

$$L_0 = \frac{(843)(67.18) + (8.7)(10800)}{10877}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 67.18 \text{ mg/l}$$

$$L_0 = 12.91 \text{ mg/l}$$

RIO TULA:

$$L_0 = L = 12.91 \text{ mg/l}$$

$$Q_1 = 10877 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 8.7 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : C

Hasta antes de la confluencia del río Extóraz

En este tramo el río en estudio se denomina Moctezuma

Datos: Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 11720 \text{ l/s}$$

$$L = 12.91 \text{ mg/l}$$

$$L = 12.91 - 12.91 e^{-(0.457)(0.738)}$$

$$K_D = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 3.7 \text{ mg/l.}$$

$$t = 0.738 \text{ días}$$

En la zona de la confluencia con el río Extóraz.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( B )

AFLUENTE:

$$Q_1 = 12860 \text{ l/s.}$$

$$L_0 = \frac{(14.7) (12.860) + (3.7) (11720)}{12860 + 11720}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 14.7 \text{ mg/l.}$$

$$L_0 = 9.46 \text{ mg/l.}$$

$$L_0 = L = 9.46 \text{ mg/l}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$Q_2 = 11720 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 3.7 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : D

Este tramo se considera en forma especial, en virtud de la longitud tan extensa que recorre la corriente y para una mayor representación del comportamiento del río; por lo tanto, se dividió en dos partes, del kilómetro 99 + 500 al 165 + 500 donde se encuentra ubicada la estación hidrométrica Tierra Blanca y del 165 + 500 al 179 + 500 para reestablecer la continuidad que se tenía.

Por lo anterior, tendremos los siguientes tiempos de recorrido:  $V = 0.8 \text{ m/s}$   $T = \frac{d}{v}$

$$T = \frac{\frac{165 + 500}{66 + 000}}{0.8 \times 86400} = 0.955 \text{ días}$$

$$T = \frac{\frac{179 + 500}{14 + 000}}{0.8 \times 86400} = 0.202 \text{ días}$$

Efectuando los cálculos tenemos:

#### PRIMER TRAMO.

Datos: Fórmula : - - - - - ( A )

$$Q = 24580 \text{ l/s}$$

$$L_o = 9.46 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.478 \text{ día}^{-1}$$

$$t = 0.955 \text{ días}$$

$$L = 9.46 - 9.46 e^{- ( 0.478 ) ( 0.955 )}$$

$$L = 3.47 \text{ mg/l}$$

#### SEGUNDO TRAMO.

Datos: Fórmula : - - - - - ( A )

$$Q = 24580 \text{ l/s}$$

$$L_o = 3.47 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.478 \text{ día}^{-1}$$

$$t = 0.202 \text{ días}$$

$$L = 3.47 - 3.47 e^{- ( 0.478 ) ( 0.202 )}$$

$$L = 0.32 \text{ mg/l}$$

En la zona de la confluencia con el río Amajac.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( B )

AFLUENTE:

$$Q_1 = 16400 \text{ l/s.}$$

$$L_o = \frac{(2.06) (16400) + (0.32) (24580)}{16400 + 24580}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 2.06 \text{ mg/l}$$

$$16400 + 24580$$

$$L_o = 1.02 \text{ mg/l}$$

$$L_o = L = 1.02 \text{ mg/l}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$Q_2 = 24580 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 0.32 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : E

Hasta antes de la confluencia del río Axtla.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 40980 \text{ l/s.}$$

$$L = 1.02 - 1.02 e^{-(0.478) (0.528)}$$

$$L = 1.02 \text{ mg/l}$$

$$L = 0.23 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.478 \text{ día}^{-1}$$

$$t = 0.528 \text{ días}$$

En la zona de la confluencia con el río Axtla.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( B )

AFLUENTE:

$$Q_1 = 5930 \text{ l/s.}$$

$$L_0 = \frac{(2.51) (5930) + (0.23) (40980)}{5930 + 40980}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 2.51 \text{ mg/l}$$

$$L_0 = 0.52 \text{ mg/l}$$

$$L_0 = L = 0.52 \text{ mg/l.}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$Q_2 = 40980 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 0.23 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : F

Hasta antes de la descarga de aguas residuales de la población de Tamquian, S.L.P.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 46910 \text{ l/s.}$$

$$L = 0.52 - 0.52 e^{-(0.501) (0.589)}$$

$$L_0 = 0.52 \text{ mg/l}$$

$$L = 0.13 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.501 \text{ dfa}^{-1}$$

$$t = 0.589 \text{ dfas}$$

En la zona de confluencia con la descarga de aguas residuales de la población de Tamquián, S.L.P.

Datos: Fórmula: - - - - - ( B )

DESCARGA:

$$Q_1 = 60 \text{ l/s}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 325.7 \text{ mg/l.}$$

$$L_o = \frac{(325.7) (60) + (0.13) (46910)}{60 + 46910}$$

RÍO MOCTEZUMA:

$$L_o = 0.55 \text{ mg/l.}$$

$$Q_2 = 46910 \text{ l/s.}$$

$$L_o = L = 0.55 \text{ mg/l.}$$

$$L_2 = L = 0.13 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : G

Hasta antes de la confluencia del río Tempoal.

Datos: Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 46970 \text{ l/s.}$$

$$L_o = 0.55 \text{ mg/l.}$$

$$L = 0.55 - 0.55 e^{-(0.501) (0.884)}$$

$$K_D = 0.501 \text{ día}$$

$$L = 0.20 \text{ mg/l.}$$

$$t = 0.884 \text{ días.}$$

En la zona de confluencia con el río Tempoal.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( B )

AFLUENTE:

$$Q_1 = 24730 \text{ l/s.}$$

$$L_0 = \frac{(2.31)(24730) + (0.2)(46970)}{24730 + 46970}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 2.31 \text{ mg/l}$$

$$L_0 = 0.93 \text{ mg/l.}$$

$$L_0 = L = 0.93 \text{ mg/l.}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$Q_2 = 46970 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 0.20 \text{ mg/l}$$

T R A M O : H

Hasta antes de la confluencia del río Tampaón.

Datos:

Fórmula: - - - - - ( A )

$$Q = 71700 \text{ l/s.}$$

$$L_0 = 0.93 \text{ mg/l}$$

$$L = 0.93 - 0.93 e^{-(0.501)(0.919)}$$

$$K_D = 0.501 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 0.34 \text{ mg/l}$$

$$t = 0.919 \text{ días}$$

En la zona de confluencia con el río Tapaón.

Posteriormente el Colector General toma el nombre de río -

Pánuco.

Datos:

AFLUENTE:

$$Q_1 = 114067 \text{ l/s.} \quad \text{Fórmula: } \dots \dots \dots (B)$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 2.5 \text{ mg/l} \quad L_o = \frac{(2.5)(114067) + (0.34)(71700)}{114067 + 71700}$$

RIO MOCTEZUMA

$$Q_2 = 71700 \text{ l/s.} \quad L_o = 1.67 \text{ mg/l}$$

$$L_2 = L = 0.34 \text{ mg/l} \quad L_o = L = 1.67 \text{ mg/l}$$

T R A M O : I

Hasta la estación hidrométrica las Adjuntas.

$$\text{D a t o s :} \quad \text{Fórmula: } L = L_o e^{-K_D t} \dots \dots (14)$$

$$Q = 185767 \text{ l/s}$$

$$L_o = 1.67 \text{ mg/l} \quad L = 1.67 e^{-(0.501)(1.011)}$$

$$K_D = 0.501 \text{ día}^{-1} \quad L = 1.66 \text{ mg/l}$$

$$t = 0.011 \text{ días}$$

Con esta carga orgánica contaminante continúa el río Pánuco, hasta la confluencia del río Guayalejo y su posterior desembocadura al Golfo de México.

(14) Se emplea la fórmula en forma simplificada, en virtud de que el tramo, tiene una longitud bastante corta y con la fórmula completa, no representa las condiciones y características reales.



## CARGA REMANENTE CUADRO RESUMEN

TRAMO	$L_0$ (mg/l)	$K_D$ ( $dfa^{-1}$ )	t (dfas)	L (mg/l)
A	325.7	0.457	0.231	32.63
B	34.7	0.457	0.632	8.7
C	12.91	0.457	0.278	3.7
D	9.46	0.478	1.157	0.32
E	1.02	0.478	0.528	0.23
F	0.52	0.501	0.589	0.13
G	0.55	0.501	0.884	0.20
H	0.93	0.501	0.919	0.34
I	1.67	0.501	0.011	1.66



### V.3. Capacidad de Asimilación y Dilución.

Consiste en aplicar la segunda ecuación del modelo matemático planteado por STREETER & PHELPS, para determinar el déficit de oxígeno disuelto en un tiempo "t" en los diversos tramos de la corriente y verificar si el déficit de oxígeno que se presenta junto con la carga orgánica contaminante, permite el uso que se le está dando al agua del río Moctezuma en el tramo considerado, de no ser así, se procede a obtener el déficit crítico de oxígeno que puede permitirse en la corriente, restringiendo la carga orgánica contaminante de las descargas de aguas residuales actuales y futuras, y de esta forma asegurar el uso que se hace de las aguas del río.

En este caso, se aplicará dicha fórmula en forma parcial y modificada de acuerdo a las características que se presentan en nuestro cuerpo receptor. Como se podrá apreciar, la fórmula requiere del cálculo de la constante de reaeración ( $K_2$ ), dicha constante funciona para corrientes de baja profundidad en donde se pueda desarrollar una actividad fotosintética y en este caso, se trata de aguas negras y -- con una corriente de profundidades considerables, por lo que no es posible calcular la constante mencionada, ya que ésta, no representa -- las condiciones y características del río y se omite su determinación.

Por lo anterior, para determinar la capacidad de asimilación y dilución del río, se emplearon las fórmulas siguientes:

$$t_c = \frac{1}{K_D(f-1)} \ln \left\{ f \left[ 1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right\}$$

$$D_c = \frac{L_0 e^{-K_D t_c}}{f}$$

$$D_0 = C_s - 00_L$$

$$D_c = C_s - 00_R$$

$$C_s = \left[ 14.652 - 0.3943 T + 0.007714 T^2 - 0.0000646 T^3 \right] \frac{PB}{760}$$

$$f = \frac{K_2}{K_D}$$

Como no es posible calcular  $K_2$ , se empleará la tabla de valores de autpurificación, - para aguas a 20 °C.

D O N D E:

$t_c$  = Tiempo crítico para asimilar el oxígeno de la corriente, - en días.

$D_c$  = Déficit crítico de oxígeno que se desea mantener en la corriente, en mg/l.

$D_0$  = Déficit inicial de oxígeno con respecto a la saturación, - en mg/l.

- $L_0$  = Carga orgánica al inicio del tramo, en mg/l.  
 $K_D$  = Constante de desoxigenación, en día<sup>-1</sup>.  
 $C_s$  = Coeficiente de saturación de oxígeno, en mg/l.  
 $OD_L$  = Oxígeno disuelto en el tramo (valor obtenido en el laboratorio), en mg/l.  
 $OD_R$  = Oxígeno disuelto establecido por el Reglamento, de acuerdo al uso, en mg/l.  
 $f$  = Factor de autopurificación del agua (se tomará de la tabla de valores), está en función de la velocidad de la corriente y la temperatura existente en el tramo considerado.  
 $T$  = Temperatura en el tramo considerado, en °C.  
 $PB$  = Presión barométrica en el tramo considerado, en mm Hg.

Tabla de Valores para el Factor de Autopurificación

Naturaleza del Agua Receptora	$f$ a 20°C
Estanques pequeños y remansos	0.5 - 1.0
Corrientes lentas y lagos o represas grandes	1.0 - 1.5
Corrientes grandes de baja velocidad	1.5 - 2.0

Corrientes grandes de velocidad moderada	2.0 - 3.0
Corrientes rápidas	3.0 - 5.0
Rápidos y cascadas	5.0

### V.3.1. Cálculo del Déficit de Oxígeno.

Con la finalidad de obtener el Déficit de Oxígeno de la corriente de agua, es necesario calcular el coeficiente de saturación de oxígeno<sup>(15)</sup> de la misma; para ésto, aplicaremos la fórmula siguiente:

$$C_s = \left[ 14.652 - 0.3943 T + 0.007714 T^2 - 0.0000646 T^3 \right] \frac{PB}{760}$$

D O N D E:

$C_s$  = Coeficiente de Saturación de Oxígeno.

PB = Presión Barométrica, se obtuvo directamente de los trabajos de campo.

T = Temperatura, se aplicará la tomada directamente en el campo.

(15) Coeficiente de Saturación. - Representa la cantidad de oxígeno que puede tener la corriente en condiciones de temperatura y presión atmosférica, para alcanzar su grado de saturación.

APLICANDO LA FORMULA, OBTENEMOS:

TRAMO	PB (mm Hg)	T (°C)	C <sub>s</sub> (mg/l)
A	624	24	7.175
B	625	24	7.187
C	683	24	7.854
D	747	25	8.459
E	753	25	8.527
F	755	26	8.424
G	757	26	8.446
H	755.5	26	8.429
I	759	26	8.468

Realizado lo anterior, se procede a obtener el Déficit crítico e inicial de oxígeno de la corriente, tomando como base los resultados de oxígeno disuelto (OD) del laboratorio y los valores de OD -- del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de -- Aguas, para las distintas clases de usos del agua.

TRAMO	CLASE	$C_s$ (mg/l)	$OD_L$ (mg/l)	$OD_R$ (mg/l)	$D_o = C_s - OD_L$ (mg/l)	$D_c = C_s - OD_R$ (mg/l)
A	D III	7.175	6.5	3.2	0.675	3.975
B	D III	7.187	6.2	3.2	0.987	3.987
C	D II	7.854	6.9	4	0.954	3.854
D	D I	8.459	9.9	4	0*	4.459
E	D I	8.527	9.4	4	0	4.527
F	D I	8.424	9.1	4	0	4.424
G	D I	8.446	8.2	4	0.246	4.446
H	D I	8.429	8.9	4	0	4.429
I	D I	8.468	8.4	4	0.068	4.468

\* El Déficit inicial de oxígeno no se puede considerar negativo, para efectos de cálculo el valor mínimo que puede tener es cero.

D O N D E :

$OD_L$  = Oxígeno Disuelto obtenido en el laboratorio.

$OD_R$  = Oxígeno Disuelto establecido por el Reglamento.

$D_o$  = Déficit inicial de oxígeno.

$D_c$  = Déficit crítico de oxígeno.



### V.3.2. Cálculo del Tiempo Crítico.

Para determinar el tiempo crítico en que la carga orgánica absorberá el oxígeno existente en la corriente de agua, es necesario conocer el factor de autopurificación que se empleará en la fórmula. Como se mencionó anteriormente, dicho factor está en función de la velocidad de la corriente y temperatura existente en el tramo considerado.

De acuerdo a la tabla de valores establecidos para el factor de autopurificación, obtendremos valores que corresponden a corrientes grandes de velocidad moderada.

La fórmula aplicable será la siguiente:

$$t_c = \frac{1}{K_D(f-1)} \operatorname{Ln} \left[ f \left[ 1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right] \right]$$

D O N D E :

$t_c$  = Tiempo crítico de recorrido, en días.

$K_D$  = Constante de desoxigenación, en día<sup>-1</sup>.

$D_0$  = Déficit inicial de oxígeno, en mg/l.

$L_0$  = Carga orgánica inicial en el tramo, en mg/l.

APLICANDO LA FORMULA OBTENEMOS:

TRAMO	$K_D$ ( $\text{día}^{-1}$ )	$f$	$D_0$ (mg/l)	$L_0$ (mg/l)	$t_c$ (días)
A	0.457	2.1	0.675	325.7	1.471
B	0.457	2.1	0.987	34.7	1.413
C	0.457	2.2	0.954	12.91	1.268
D	0.478	2.2	0	9.46	1.375
E	0.478	2.1	0	1.02	1.411
F	0.501	2.05	0	0.52	1.365
G	0.501	2.05	0.246	0.55	0.159
H	0.501	2.1	0	0.93	1.346
I	0.501	2.03	0.068	1.67	1.289

Como se podrá observar, estos tiempos resultaron mayores a los que se calcularon en el inciso V.1.7. para determinar el tiempo de recorrido, los cuales están en función de la distancia y velocidad.

### V.3.3. Cálculo de la Carga Orgánica Crítica.

Este cálculo se realiza, para obtener la carga orgánica que en condiciones críticas de la corriente, puede ser descargada en la misma y de esta manera, no afecte el uso que se haga de ella aguas abajo.

Para determinar dicha carga, se emplean los valores obtenidos del déficit crítico de oxígeno y el tiempo de recorrido que resulte menor en cada tramo. Esto último, se realiza comparando el tiempo que se obtuvo para cada tramo, en los cálculos realizados en el inciso V.1.7. y los obtenidos en el inciso V.3.2. el que resulte menor de cada tramo, será el valor a emplear, ya que esto motiva a que la carga orgánica crítica, sea de menor magnitud.

Con la fórmula:

$$D_c = \frac{L_c e^{-K_D t}}{f}$$

despejamos  $L_c$  y obtenemos:

$$L_c = \frac{D_c f}{e^{-K_D t}}$$

D O N D E:

- $L_C$  = Carga Orgánica Crítica, en mg/l.  
 $D_C$  = Déficit Crítico de Oxígeno, en mg/l.  
 $f$  = Factor de Autopurificación,  $f(V, T)$ .  
 $K_D$  = Constante de Desoxigenación, en  $\text{día}^{-1}$   
 $t$  = Tiempo de recorrido, en días.

APLICANDO LA FORMULA OBTENEMOS:

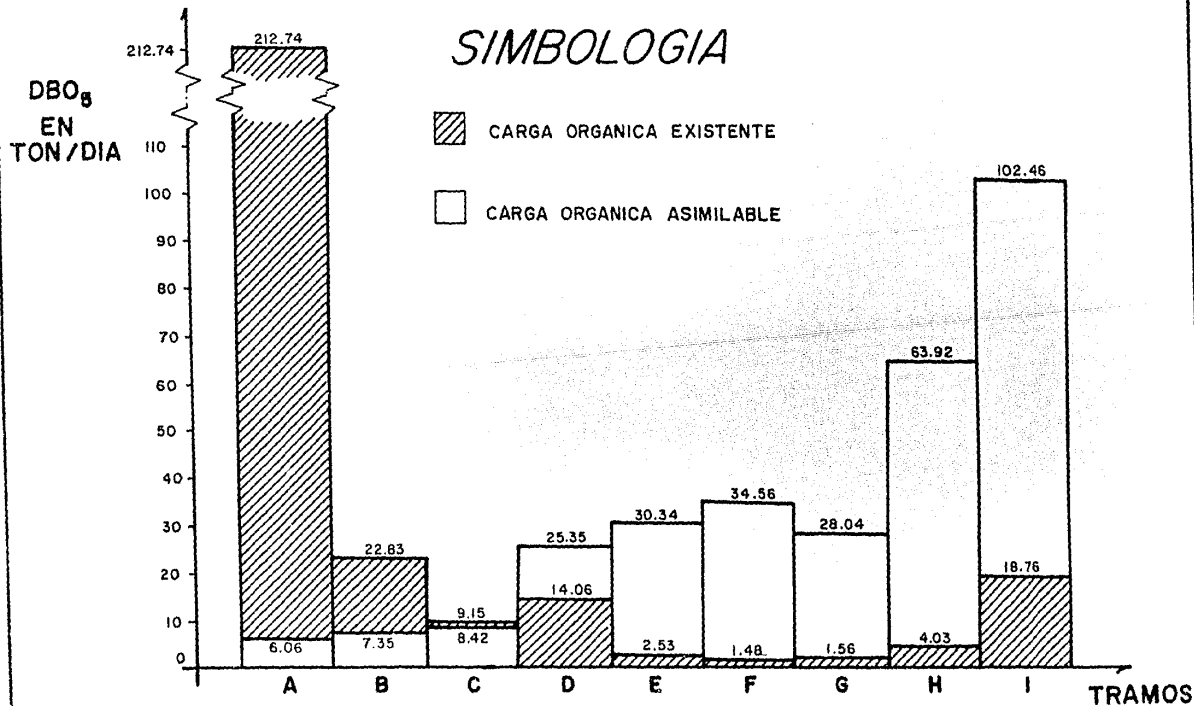
TRAMO	$D_C$ (mg/l)	$f$	$K_D$ ( $\text{día}^{-1}$ )	$t$ (días)	$L_C$ (mg/l)
A	3.975	2.1	0.457	0.231	9.28
B	3.987	2.1	0.457	0.632	11.18
C	3.854	2.2	0.457	0.738	11.88
D	4.459	2.2	0.478	1.157	17.05
E	4.527	2.1	0.478	0.528	12.24
F	4.424	2.05	0.501	0.589	12.18
G	4.446	2.05	0.501	0.159	9.87
H	4.429	2.1	0.501	0.919	14.74
I	4.468	2.03	0.501	0.011	9.12

CUADRO RESUMEN DE CARGA  
ORGANICA, EXPRESADA COMO  
DBO<sub>5</sub> EN TON/DIA.

TRAMO	L <sub>o</sub> CARGA REAL EXISTENTE		L <sub>c</sub> CARGA ASIMILABLE	
	A	325.7 x 0.7*	212.74	9.28 x 0.7
B	34.7 x 0.7	22.83	11.18 x 0.7	7.35
C	12.91 x 0.7	9.15	11.88 x 0.7	8.42
D	9.46 x 0.7	14.06	17.05 x 0.7	25.35
E	1.02 x 0.7	2.53	12.24 x 0.7	30.34
F	0.52 x 0.7	1.48	12.18 x 0.7	34.56
G	0.55 x 0.7	1.56	9.87 x 0.7	28.04
H	0.93 x 0.7	4.03	14.74 x 0.7	63.92
I	1.67 x 0.7	18.76	9.12 x 0.7	102.46

- \* Se considera que la DBO<sub>5</sub> es aproximadamente un 70% de la DBO<sub>u</sub>.  
Esto, en base a cálculos de laboratorio, igualmente en forma -  
inversa se considera que la DBO<sub>u</sub> es 43% mayor que la DBO<sub>5</sub>.

La carga orgánica se expresa en DBO<sub>5</sub>, porque es la forma de su determinación en el laboratorio.



**U. N. A. M.**  
 ESC. NAC. DE EST. PROF. "ARAGON"  
**INGENIERIA**

**CARGA ORGANICA EN  
 EL RIO MOCTEZUMA  
 (Situación Actual)**

CALCULO Y DIBUJO:  
 LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.  
 REVISO:  
 ING. AMADO GAYOSO CH

#### V.3.4. Cálculo de la Carga Orgánica Futura.

Como se pudo comprobar en la gráfica anterior, en los tres primeros tramos de la corriente, la carga asimilable está por debajo de la real, sobre todo en el primer tramo donde la carga asimilable apenas representa el 2.5% de la carga real existente, se concluye - que se tenga que remover un 97.5% de la carga que lleva el río, pero ésto no es posible, debido a que no existe una planta de tratamiento que tenga capacidad para hacerlo y si existiera, ésta tendría un costo multimillonario.

Por lo anterior, es pertinente establecer condiciones estrictas de descarga de aguas residuales, sobre todo antes del primer tramo, de tal manera que se remueva en un 60% cuando menos la carga orgánica de la corriente. Si se aplica lo anterior, la corriente -- llegaría a la estación hidrométrica Ixmiquilpan con una carga orgánica de 130.3 mg/l. Y ésto, generaría que la corriente tenga mayor capacidad de asimilación y dilución en los siguientes tramos, derivándose con ello un saneamiento en la calidad del agua del río Moctezuma.

Con la primer fórmula del modelo matemático, y la fórmula-

de balance de carga, se obtiene para cada tramo lo siguiente:

### T R A M O    A

Considerando que la corriente llega a la estación hidrométrica Ixmiquilpan con una carga orgánica de 130.3 mg/l, se efectúa el cálculo de la carga remanente, hasta antes de la descarga de la población de Taxquillo, Hgo.

D a t o s :

$$Q = 10\ 800 \text{ l/s.}$$

$$L = 130.3 - 130.3 e^{-(0.457)(0.231)}$$

$$L_0 = 130.3 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 13.05 \text{ mg/l.}$$

$$t = 0.231 \text{ días}$$

Se presenta en la corriente la descarga de la población de Taxquillo, Hgo.

Aplicando cuando menos un porcentaje de remoción del 80% en la  $DBO_u$  de esta descarga tendremos en la zona de confluencia lo siguiente:



D a t o s :

DESCARGA:

$$Q_1 = 77 \text{ l/s.}$$

$$L_1 = \text{DBO}_U = 65.14 \text{ mg/l.}$$

$$L_0 = \frac{(65.14 (77)) + (13.05) (10\ 800)}{77 + 10\ 800}$$

RIO TULA:

$$Q_2 = 10\ 800 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 13.05 \text{ mg/l.}$$

$$L_0^* = L = 13.42 \text{ mg/l.}$$

T R A M O : B

Hasta antes de la confluencia del río San Juan del Río.

D a t o s :

$$Q = 10\ 877$$

$$L_0 = 13.42 \text{ mg/l}$$

$$K_D = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$t = 0.632 \text{ días}$$

$$L = 13.42 - 13.42 e^{-(0.457) (0.632)}$$

$$L = 3.37 \text{ mg/l.}$$

En la zona de la confluencia con el río San Juan del Río.

D a t o s :

AFLUENTE:

$$Q_1 = 843 \text{ l/s.}$$

$$L_0 = \frac{(67.18)(843) + (3.37)(10\ 877)}{843 + 10\ 877}$$

$$L_1 = \text{DBO}_U = 67.18 \text{ mg/l.}$$

RIO TULA:

$$L_0 = L = 7.96 \text{ mg/l.}$$

$$Q_1 = 10\ 877 \text{ l/s.}$$

$$L_2 = L = 3.37 \text{ mg/l.}$$

T R A M O C

Hasta antes de la confluencia del río Extóraz.

D a t o s :

$$Q = 11\ 720 \text{ l/s}$$

$$L = 7.96 - 7.96 e^{-(0.457)(0.738)}$$

$$L_0 = 7.96 \text{ mg/l.}$$

$$K_D = 0.457 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 2.28 \text{ mg/l.}$$

$$t = 0.738 \text{ días}$$

En la zona de la confluencia con el río Extóraz.

D a t o s :

AFLUENTE:

$$Q_1 = 12\ 860\ \text{l/s.}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u = 14.7\ \text{mg/l.}$$

$$L_o = \frac{(14.7)(12\ 860) + (2.28)(11\ 720)}{12\ 860 + 11\ 720}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$L_o = L = 8.78\ \text{mg/l}$$

$$Q_2 = 11\ 720\ \text{l/s.}$$

$$L_2 = L = 2.28\ \text{mg/l.}$$

T R A M O D

Tomando en cuenta las consideraciones particulares que se hicieron para este tramo, tenemos hasta antes de la confluencia del río Amajac lo siguiente:

PRIMER TRAMO

D a t o s :

$$Q = 14\ 580\ \text{l/s.}$$

$$L_o = 8.78\ \text{mg/l}$$

$$K_D = 0.478\ \text{día}^{-1}$$

$$t = 0.955\ \text{días}$$

$$L = 8.78 - 8.78 e^{-(0.478)(0.955)}$$

$$L = L_o = 3.22\ \text{mg/l.}$$

## SEGUNDO TRAMO

D a t o s :

$$Q = 24\ 580\ \text{l/s.}$$

$$L = 3.22 - 3.22 e^{-(0.478)(0.202)}$$

$$L_0 = 3.22\ \text{mg/l.}$$

$$K_D = 0.478\ \text{día}^{-1}$$

$$L = 0.30\ \text{mg/l.}$$

$$t = 0.202\ \text{días}$$

En la zona de la confluencia con el río Amajac.

D a t o s :

AFLUENTE:

$$Q_1 = 16\ 400\ \text{l/s.}$$

$$L_0 = \frac{(2.06)(16\ 400) + (0.3)(24\ 580)}{16\ 400 + 24\ 580}$$

$$L_1 = \text{DBO}_u\ 2.06\ \text{mg/l.}$$

RIO MOCTEZUMA

$$L_0 = L = 1.00\ \text{mg/l.}$$

$$Q_2 = 24\ 580\ \text{l/s.}$$

$$L_2 = L = 0.30\ \text{mg/l.}$$

## TRAMO E

Hasta antes de la confluencia del río Axtla.

## D a t o s :

$$\begin{aligned}
 Q &= 40\,980 & L &= 1.0 - 1.0 e^{-(0.478)(0.528)} \\
 L_0 &= 1.0 \text{ mg/l.} \\
 K_D &= 0.478 \text{ día}^{-1} & L &= 0.22 \text{ mg/l.} \\
 t &= 0.528 \text{ días}
 \end{aligned}$$

En la zona de la confluencia con el río Axtla

## D a t o s :

## AFLUENTE:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 5\,930 \text{ l/s.} & L_0 &= \frac{(2.51)(5930) + (0.22)(40\,980)}{5930 + 40\,980} \\
 L_1 &= \text{DBO}_U = 2.51 \text{ mg/l}
 \end{aligned}$$

## RIO MOCTEZUMA:

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= 40\,980 \text{ l/s.} & L_0 &= L = 0.51 \text{ mg/l.} \\
 L_2 &= L = 0.22 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

## T R A M O F

Hasta antes de la descarga de aguas residuales de la población de Tamquian, S.L.P.

## D a t o s :

$$\begin{aligned}
 A &= 46\ 910 \text{ l/s.} & L &= 0.51 - 0.51 e^{-(0.501)(0.589)} \\
 L_0 &= 0.51 \text{ mg/l.} \\
 K_d &= 0.501 \text{ dfa}^{-1} & L &= 0.13 \text{ mg/l.} \\
 t &= 0.589 \text{ días}
 \end{aligned}$$

En la zona de la confluencia con la descarga de aguas residuales de la población de Tamquian, S.L.P.

Aplicando igualmente un porcentaje de remoción del 80% en la  $DBO_u$  de esta descarga tendremos:

## D a t o s :

## AFLUENTE:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 60 \text{ l/s.} & L_0 &= \frac{(65.14) + (0.13)(46\ 910)}{60 + 46\ 910} \\
 L_1 &= DBO_u = 65.14 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

## RIO MOCTEZUMA

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= 46\ 910 \text{ l/s.} & L_0 &= L = 0.21 \text{ mg/l.} \\
 L_2 &= L = 0.13 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

## TRAMO G

Hasta antes de la confluencia del río Tempoal.

D a t o s :

$$\begin{aligned}
 Q &= 46\,970 \text{ l/s.} & L &= 0.21 - 0.21 e^{-(0.501)(0.884)} \\
 L_0 &= 0.21 \text{ mg/l.} \\
 K_D &= 0.501 \text{ día}^{-1} & L &= 0.08 \text{ mg/l.} \\
 t &= 0.884 \text{ días}
 \end{aligned}$$

En la zona de la confluencia con el río Tempoal.

D a t o s :

AFLUENTE:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 24\,730 \text{ l/s} & L_0 &= \frac{(2.31)(24\,730) + (0.08)(46\,970)}{24\,730 + 46\,970} \\
 L_1 &= \text{DBO}_U = 2.31 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

RIO MOCTEZUMA:

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= 46\,970 \text{ l/s.} & L_\phi &= L = 0.85 \text{ mg/l.} \\
 L_2 &= L = 0.08 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

## T R A M O H

Hasta antes de la confluencia del río Tapaón.

D a t o s :

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 71\,700 \text{ l/s.} & L &= 0.85 - 0.85 e^{-(0.501)(0.919)} \\
 L_0 &= 0.85 \text{ mg/l.} \\
 K_D &= 0.501 \text{ día}^{-1} & L &= 0.31 \text{ mg/l.} \\
 t &= 0.919 \text{ días}
 \end{aligned}$$

En la zona de la confluencia con el río Tapaón.

D a t o s :

AFLUENTE:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 114\,067 \text{ l/s.} & L_0 &= \frac{(2.5)(114\,067) + (0.31)(71\,700)}{114\,067 + 71\,700} \\
 L_1 &= \text{DBO}_u = 2.5 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$

RIO MOCTEZUMA

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= 71\,700 \text{ l/s.} \\
 L_2 &= L = 0.31 \text{ mg/l.} & L_0 &= L = 1.65 \text{ mg/l.}
 \end{aligned}$$



## TRAMO I

Hasta la estación hidrométrica las Adjuntas.

## D a t o s :

$$Q = 185\,767 \text{ l/s.}$$

$$L = 1.65 e^{-(0.501)(0.011)}$$

$$L_0 = 1.65 \text{ mg/l.}$$

$$K_D = 0.501 \text{ día}^{-1}$$

$$L = 1.64 \text{ mg/l.}$$

$$t = 0.011 \text{ días}$$

Con esta carga orgánica contaminante continúa el río Pánuco, hasta la confluencia del río Guayalejo y su posterior desembocadura al Golfo de México.

CUADRO RESUMEN  
CARGA REMANENTE FUTURA

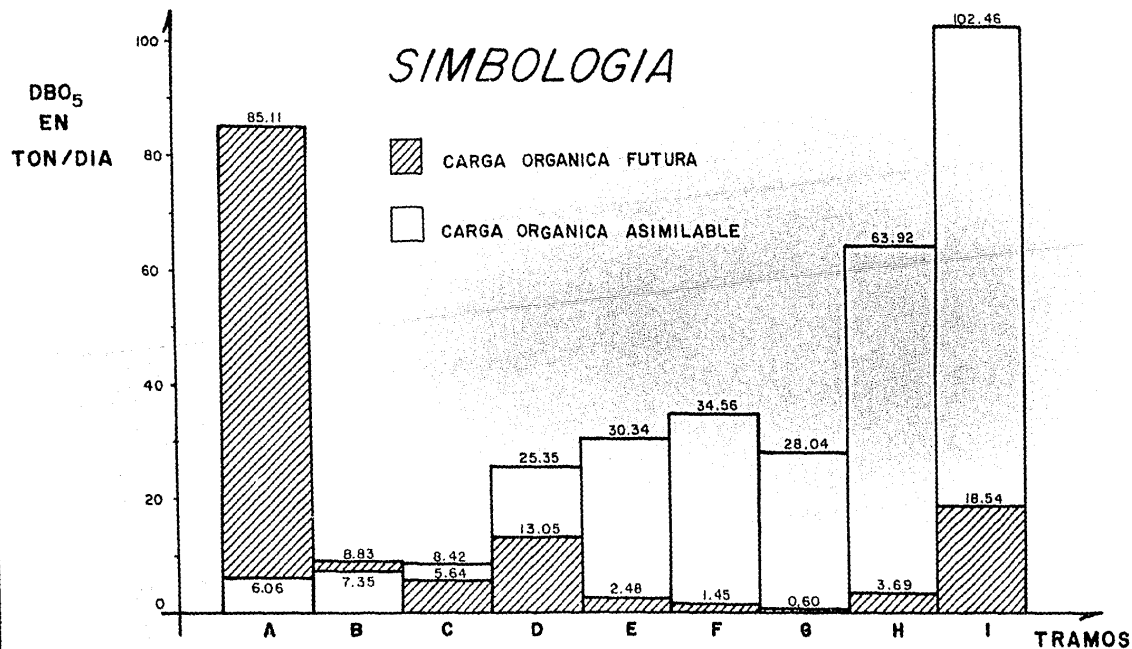
TRAMO	$L_0$ (mg/l)	$K_D$ (d <sup>-1</sup> )	$t$ (d <sup>fa</sup> )	$L$ (mg/l)
A	130.3	0.457	0.231	13.05
B	13.42	0.457	0.632	3.37
C	7.96	0.457	0.738	2.28
D	8.78	0.478	1.157	0.30
E	1.00	0.478	0.528	0.22
F	0.51	0.501	0.589	0.13
G	0.21	0.501	0.884	0.08
H	0.85	0.501	0.919	0.31
I	1.65	0.501	0.011	1.64



CUADRO RESUMEN DE CARGA  
ORGANICA, EXPRESADA COMO  
DBO<sub>5</sub> EN TON/DIA.  
(FUTURA)

TRAMO	L <sub>0</sub> CARGA ORGANICA FUTURA		L <sub>c</sub> CARGA ASIMILABLE
	A	130.3 x 0.7	85.11
B	13.42 x 0.7	8.83	7.35
C	7.96 x 0.7	5.64	8.42
D	8.78 x 0.7	13.05	25.35
E	1.0 x 0.7	2.48	30.34
F	0.51 x 0.7	1.45	34.56
G	0.21 x 0.7	0.60	28.04
H	0.85 x 0.7	3.69	63.92
I	1.65 x 0.7	18.54	102.46

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, disminuyó con siderablemente la carga orgánica en los primeros 3 tramos. Si posteriormente se realiza una segunda etapa de saneamiento y se establecen condiciones más estrictas antes del primer tramo, se tendrá una calidad de agua excelente.



**U. N. A. M.**  
 ESC. NAC. DE EST. PROF. "ARAGON"  
**INGENIERIA**

**CARGA ORGANICA EN  
 EL RIO MOCTEZUMA  
 (Situación Futura)**

**CALCULO Y DIBUJO:**  
**LUCIO TIZOC DOMINGUEZ R.**

**REVISO:**  
**ING. AMADO GAYOSO CH.**

CONCLUSIONES  
Y  
RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

1. El agua del río Moctezuma, desde sus orígenes en los ríos El Salto y Salado hasta la confluencia del río San Juan del Río, no es apta para el uso a que se destina actualmente (riego agrícola), en virtud de su alto grado de contaminación y condición séptica.
2. El colector general llamado río Moctezuma, se encuentra en malas condiciones de calidad en los tramos A, B y C, debido principalmente a las descargas de aguas residuales de la Ciudad de México, área metropolitana y por los ríos Tula y San Juan del Río que llegan con un alto grado de contaminación, ocasionado por el desarrollo industrial y habitacional de las zonas por las que pasan durante su recorrido.
3. De la confluencia con el río Extóraz hasta la estación hidrométrica Las Adjuntas, la corriente recibe importantes aportaciones que le permiten alcanzar una gran asimilación de carga orgánica, esto, hace que se mejore la calidad del agua del río Moctezuma tramo a tramo, aún cuando recibe algunas descargas de poblaciones.

4. De acuerdo a los usos del agua del río, y a lo establecido por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, se sugiere clasificar el río Moctezuma de la forma siguiente:

Tramos A y B como clase D III (Agua para uso agrícola e industrial).

Tramo C como clase D II (Agua para uso recreativo, conservación de flora, fauna y uso industrial).

Tramos de la D a la I como clase D I (Agua para abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional - coagulación, filtración y desinfección - e uso industrial).

5. La metodología y el planteamiento del modelo matemático descrito en este trabajo de tesis, permite controlar, proteger y garantizar una calidad adecuada del agua del río Moctezuma, con el objeto de que su uso sea más eficiente y económico.
6. Al tomar en cuenta la capacidad que tiene el río Moctezuma para asimilar y diluir la carga orgánica contaminante, en forma natural, permite que los responsables de descargas de



aguas residuales actuales y futuros, economicen en el diseño - de tratamiento de su descarga.

7. El modelo matemático empleado, con las modificaciones realizadas, representa las condiciones y características del comportamiento de la calidad del agua del río Moctezuma y permite establecer los criterios a seguir para sanear la corriente en forma adecuada.

#### R E C O M E N D A C I O N E S

- En base a los artículos 23, 24 y 25 del Reglamento para la Pre vención y Control de la Contaminación de Aguas, les sean fijadas condiciones particulares a todas las descargas de aguas re si duales que se viertan directa e indirectamente al río Mocte zuma.
- En base al presente estudio, que el porcentaje de remoción de carga orgánica contaminante no sea menor a 90% en el tratamiento de las descargas que se viertan a la corriente antes de la estación hidrométrica Ixmiquilpan y los porcentajes de remoción para las que se viertan después y hasta la estación hidro

métrica las Adjuntas, no sean menores a un 80% en su tratamiento.

Que los estudios de Clasificación a que se refiere el artículo 23 del Reglamento multicitado, sean publicados en el Diario Oficial de la Federación, para que de esta manera los responsables de descargas de aguas residuales en su proyecto de tratamiento de las mismas, tomen en cuenta dicha clasificación y se determinen tratamientos acordes con la calidad actual de la corriente.

- En base a la problemática de contaminación que vive el país, fomentar el interés en el área de Ingeniería Sanitaria y en especial en el área de contaminación de aguas, a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de todas las Universidades.

## B I B L I O G R A F I A

1. INGENIERIA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES. Volumen II.- PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES. G. M. Fair, J. CH. Geyer y D. A. Okun.- Editorial LIMUSA.- México, D. F. 1979.
2. TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS Y DESECHOS INDUSTRIALES. G. E. Barnes.- Primera edición.- Editorial UTHEA.- México, D. F. 1967.
3. TRATAMIENTO Y DEPURACION DE LAS AGUAS RESIDUALES. Metcalf-Eddy.- Primera edición.- Editorial LABOR, S. A.- México, D. F. 1977.
4. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, TEORIA, APLICACION Y TRATAMIENTO. - N. L. Nemorow.- Primera edición.- H. BLUME EDICIONES.- Madrid, Esp. 1977.
5. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. APHA, AWWA y WPCF.- 14° Edición.- 1976.
6. POLUCION DE AGUA, MODELOS Y CONTROL. Serie Técnica, Volumen 20. - Walter A. Castagnino.- Organización Panamericana de la Salud.- Editado por el CEPIS.- 1980.

7. CLASIFICACION DEL RIO MOCTEZUMA ( CUENCA DEL RIO PANUCO ) HASTA LA ESTACION HIDROMETRICA LAS ADJUNTAS. S. A. R. H. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación.- México, D. F. 1981.
8. METODOLOGIA PARA DETERMINAR LAS CONSTANTES DE DESOXIGENACION ( $K_D$ ) - REMOCION DE DBO ( $K_R$ ) Y REOXIGENACION ( $K_2$ ) EN UNA CORRIENTE. S.A.R.H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.- México. - D. F. 1977.
9. CLASIFICACION DE CUERPOS RECEPTORES Y FIJACION DE CONDICIONES PARTICULARES DE DESCARGA. Ponencia, Ing. Jesús García Ollervides. --- S. A. R. H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México, D. F. 1980.
10. INTRODUCCION A LA INGENIERIA SANITARIA ( AGUA ). S.A.R.H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.- México, D. F. 1981.
11. MANUAL DE ANALISIS DE AGUAS Y AGUAS DE DESECHO. Volúmenes I, II y III.- Cuarta edición.- S.A.R.H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.- México, D. F. 1976.
12. MANUAL DE TECNICAS DE MUESTREO DE AGUAS Y DETERMINACIONES EN EL -

CAMPO. Cuarta edición.- S.A.R.H. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.- México, D. F. 1982.

### LEGISLACION

13. LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE.- Publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 11 de enero de 1982. México, D. F.
  
14. REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACION DE AGUAS.- Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1973. México, D. F.