



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO FEDERAL

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

José Luis Oliva Peña



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

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

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

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

## INDICE DETALLADO

TEMA	PAGINA
I .-INTRODUCCION	I. 1
II .-ANTECEDENTES	II. 1
III.-SISTEMAS DE DRENAJE	III. 1
III.1.-CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO	III. 1
III.2.-CALIDAD DEL AGUA	III. 6
III.3.-ALEJAMIENTO	III.10
III.4.-DISPOSICION FINAL	III.14
III.5.-CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO	III.21
IV .-USO DEL AGUA RESIDUAL	IV. 1
IV.1.-REMOCION DE CONTAMINANTES EN LA PRESA ENDHO	IV. 3
IV.2.-EFECTOS DEL USO DEL AGUA RESIDUAL	IV.16
V .-REUSO DEL AGUA RESIDUAL COMO UN RECURSO	V. 1
VI .-CONCLUSIONES	VI. 1
VII.-BIBLIOGRAFIA	VII. 1

## INDICE DE TABLAS

NUMERO	CONTENIDO	PAGINA
1	RESULTADOS ANALITICOS. EFLUENTE Cd. MEXICO	III. 9
2	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #1	III.34
3	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #2	III.35
4	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #3	III.36
5	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #4	III.37
6	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #5	III.38
7	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #6	III.39
8	RESULTADOS ANALITICOS. ESTACION #7	III.40
9	CALIDAD DEL AGUA	III.41
10	CALIDAD DEL AGUA	III.42
11	CALIDAD DEL AGUA	III.43
12	EFICIENCIAS DE REMOCION EN LA PRESA ENDHO	IV.15
13	CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	V. 9
14	APORTE DE NUTRIENTES AL SUELO	V.10
15	TASAS MEDIAS DE ABSORCION DE NUTRIENTES	V.11

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA	CONTENIDO	PAGINA
1	CUENCA ORIGINAL	II. 6
2	VARIACIONES EN CONDICIONES DE DESAGUE	II. 7
3	SISTEMA DE DRENAJE DEL D.F.	III. 5
4	ALTERNATIVA FINAL DE DESCARGA	III.31
5	FUNCIONAMIENTO DEL D.R. 003	III.32
6	PRESA ENDO	III.33
7	COMPORTAMIENTO DBO 5	IV. 7
8	COMPORTAMIENTO SOLIDOS TOTALES	IV. 8
9	COMPORTAMIENTO SOLIDOS SUSPENDIDOS	IV. 9
10	COMPORTAMIENTO SOLIDOS DISUELTOS	IV.10
11	COMPORTAMIENTO CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	IV.11
12	PERFIL DBO 5	IV.12
13	PERFIL DQO	IV.13
14	PERFIL SOLIDOS SUSPENDIDOS	IV.14

## I.- INTRODUCCION

En la prehistoria, el hombre se ocupó en pequeñas comunidades que solo requerían un mínimo de satisfactores para su desarrollo.

Al paso del tiempo las comunidades fueron evolucionando hasta formar estructuras complicadas, sedentarias y con una división del trabajo bien determinada, provocada por el descubrimiento de la agricultura y originando a la sociedad.

Hasta hace dos siglos la mayor parte de la población se encontraba distribuida en comunidades rurales, sin embargo, ya existían importantes asentamientos humanos denominados "urbanos" dedicados al comercio y a la industria, principalmente. Estas comunidades fueron creciendo a un ritmo mayor al resto de la población hasta formar las grandes ciudades que hoy conocemos.

Las concentraciones urbanas son producto de un fenómeno denominado "desarrollo", el cual es un proceso histórico de cambios tecnológicos y sociales que se han originado por una demanda de mejor nivel de vida y, nacionalmente, de mayor poder económico.

El desarrollo económico de una comunidad urbana lleva consigo ser un núcleo de atracción a diversos sectores, lo que provoca un crecimiento explosivo de la población, de tal forma que , según datos reportados por la O.N.U. para el año 2000 habrá, mundialmente, mayor población urbana que rural, es decir, mas de 3,500'000,000 personas asentadas en poblaciones con mas de 20,000 habitantes.

La ciudad de México es una población producto del crecimiento demográfico propio y de la inmigración de la población rural al centro urbano atraída por la esperanza de una mayor oferta de trabajo, mejor nivel de vida, mayores comodidades, prestigio y acceso a todos los servicios que ésta proporciona. Esta situación ha provocado un crecimiento incontrolable que finalmente ha desembocado en una de las mayores concentraciones urbanas del mundo, la cual presenta la mayor diversidad de problemas sociales, económicos, técnicos, de dotación de servicios y de deterioro ecológico jamás imaginados. Basta nombrar que diariamente se generan mas de 8000 ton de basura y mas de 4'320,000 m<sup>3</sup> de aguas residuales.

## II.- ANTECEDENTES

La ciudad de México se encuentra situada al sureste de la cuenca del valle de México, la cual es cerrada, debido a la erupción de los volcanes que forman la sierra de Chichinautzin que bloquearon el drenaje natural hacia el valle de Cuernavaca.

La cuenca del valle de México se localiza al extremo sur del altiplano mexicano, limitada al norte por las sierras de Tepotzotlan, Tezontlalpan y Pachuca, al este por los llanos de Apan y la sierra Nevada, al sur por las sierras de Chichinautzin y del Ajusco, y al oeste por las sierras de las cruces, monte alto y monte bajo. Tiene una superficie de 9600 Km<sup>2</sup> y su altitud es de 2250 msnm. (figura #1).

El Distrito Federal ocupa el 15% de la cuenca. De esta superficie la ciudad de México ocupa un área mayor a los 500 Km<sup>2</sup> con una población superior a los 10'000,000 de habitantes.

La precipitación media anual es de 700 mm que representan 6,500 millones de m<sup>3</sup>/año.

El valle de México presentaba en épocas prehispánicas el más envidiable clima y abundancia en lagos, manantiales y ríos, lo que atrajo a numerosos grupos humanos, sin embargo, estos

grupos sufrieron serias calamidades cuando el liquido sobrepasaba sus limites normales. Fue entonces cuando nació la necesidad de crear infraestructura adecuada para proteger a la población contra las inundaciones.

Entre las principales obras podemos citar:

1449

El entonces rey Netzahualcoyotl ordena la construcción de un dique de 16 Km para proteger a la población de las aguas que fluían del norte hacia el lago de Texcoco. Posteriormente el mismo monarca ordenó complementar estas obras con el dique de Tlahuac y Mexicaltzingo que protegerían a la población de las aguas pluviales del sur.

#### EPOCA VIRREYNAL

En esta época se construye el dique que contiene el flujo de las aguas de las lagunas de Zumpango, Xaltocan y San Cristobal al lago de Texcoco.

1604 - 1607

Las graves inundaciones provocadas, principalmente, por los desbordamientos del río Cuautitlán motivaron la búsqueda de una solución drástica al problema que consistió en abrir la cuenca cerrada del valle de México por medio del primer tunel de Nochistongo, terminado el año de 1608, sin embargo se derrumbó y no fue sino hasta 1789 cuando después de 160

años de trabajo quedó permanentemente desviado el río Cuautitlán hacia la cuenca del río Moctezuma, por medio del tajo de Nochistongo.

1856

Las continuas inundaciones de la floreciente ciudad de México por el desbordamiento del lago de Texcoco obligó a iniciar los trabajos del Gran Canal del Desagüe y el túnel de Tequisquiác que quedó terminado en 1900, drenando estas aguas nuevamente hacia la cuenca del río Moctezuma.

1940

Debido al gran incremento de los volúmenes a desalojar de aguas pluviales y residuales, se construyó el segundo túnel de Tequisquiác que fue terminado en 1946 drenando del mismo modo hacia la cuenca del río Moctezuma.

Todas las obras fueron diseñadas y construidas para trabajar por gravedad, sin embargo, debido a los grandes volúmenes de agua extraídos al subsuelo, el crecimiento urbano, la concentración de edificaciones, la disminución del área de infiltración y la desecación de lagos, la superficie de la ciudad de México paulatinamente comenzó a hundirse provocando que actualmente la zona centro del Área metropolitana se encuentre en la parte más baja de la cuenca originando el inminente desplazamiento de la red de alcantarillado,

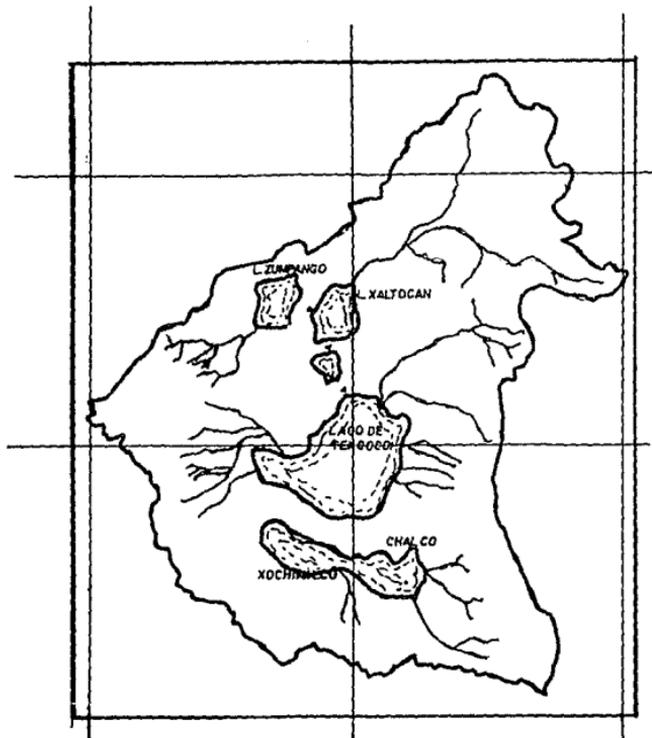
inclusive en el Gran Canal del Desagüe, que en algún momento provocó un peligro de retroceso de flujo del agua residual que conduce el canal del desagüe y la amenaza potencial de una inundación, que en el cruce de av. Juárez y Reforma hubiera alcanzado hasta 8m de altura. (figura #2).

El flujo del agua se mantuvo mediante la instalación de estaciones de bombeo, sin embargo el riesgo de la suspensión en el fluido eléctrico estaba presente.

Con el fin de, nuevamente, contar con una estructura confiable que trabajara por gravedad y que diera salida eficiente a las aguas residuales y pluviales de la ciudad de México, fué construido el sistema de drenaje profundo que, en su proyecto definitivo, cuenta con dos interceptores y un emisor central y se complementa con las obras realizadas de 1954 a 1958 incluyendo un interceptor poniente y otras obras anexas. Este sistema también descarga sus aguas a la cuenca del río Moctezuma y en particular al río Tula, afluente de este último.

En la construcción de las obras del sistema de drenaje profundo de la ciudad de México, el problema de alejamiento de las aguas residuales y pluviales queda a mediano plazo solucionado, sin embargo, las aguas efluentes son descargadas en la cuenca del río Moctezuma sin tratamiento alguno y utilizadas indiscriminadamente en el riego agrícola en los

distritos de riego 088, 003, 027 y 100, provocando efectos  
colaterales que mas adelante se señalan.



**FIGURA I**  
**CUENCA ORIGINAL**

## VARIACIONES EN LAS CONDICIONES DE DESAGUE

ZOCALO = NIVEL 0.0m

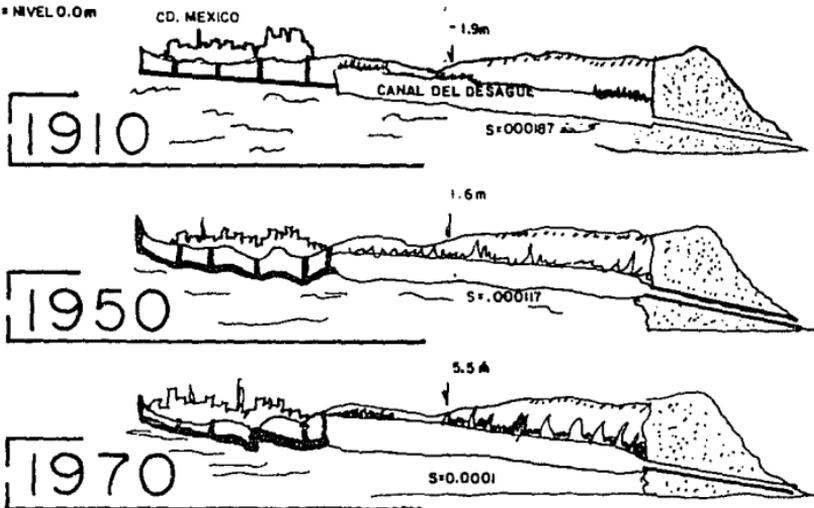


FIGURA 2

de Memorias del Drenaje Profundo

### III.- SISTEMAS DE DRENAJE

#### III.1 CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO

Para recolectar el volúmen de agua residual y pluvial generada en la ciudad de México se dispone de una compleja red de alcantarillado formado por atarjeas y colectores con tuberías de concreto con diámetro de 0.25 a 0.60 m las primeras y de 0.72 a 5.0 m las segundas. La longitud de todas estas tuberías sobrepasa los 15,000 Km.

Entre las principales redes colectoras del sistema se encuentran:

- a).- CANAL DE MIRAMONTES
- b).- RIO CHURUBUSCO
- c).- VIADUCTO PIEDAD
- d).- INTERCEPTOR PONIENTE
- e).- INTERCEPTOR CENTRAL
- f).- INTERCEPTOR ORIENTE

a).-El canal de Miramontes se inicia en Xochimilco y descarga al río Churubusco.

b).-Río Churubusco.- Este canal nace en la descarga del Río Mixcoac, que actualmente está colectado por el interceptor poniente. Posteriormente cruza la ampliación

proyectada del interceptor central por donde se podrán derivar volúmenes excedentes. Continúa su recorrido de Poniente a Oriente hasta el canal de Miramontes en donde cambia su dirección hacia el nororiente.

Recibe la aportación del canal Nacional antes de llegar al cruce proyectado con el interceptor oriente en donde se podrá derivar, parte o todo, el gasto hacia este último. Antes de llegar al lago de Texcoco, en donde se descargan 2 l/seg en la planta de tratamiento de aguas residuales, se puede derivar el gasto, parcial o completo, hacia el Gran Canal del Desagüe.

c).-Viaducto Piedad.- Este canal construido sobre el lecho del antiguo río se inicia por las descargas del río Becerra, que también pueden ser captadas por el interceptor poniente. Su recorrido es de oriente a poniente y en su camino cruza las ampliaciones de los interceptores oriente y central a los cuales se podrán derivar volúmenes excedentes. Finalmente su descarga es al Gran Canal a la altura de la estación san Lázaro.

d).-El río de los Remedios tiene por objeto conducir aguas pluviales, sin embargo, a la fecha tiene gran cantidad de descargas urbanas e industriales. En su recorrido cruza

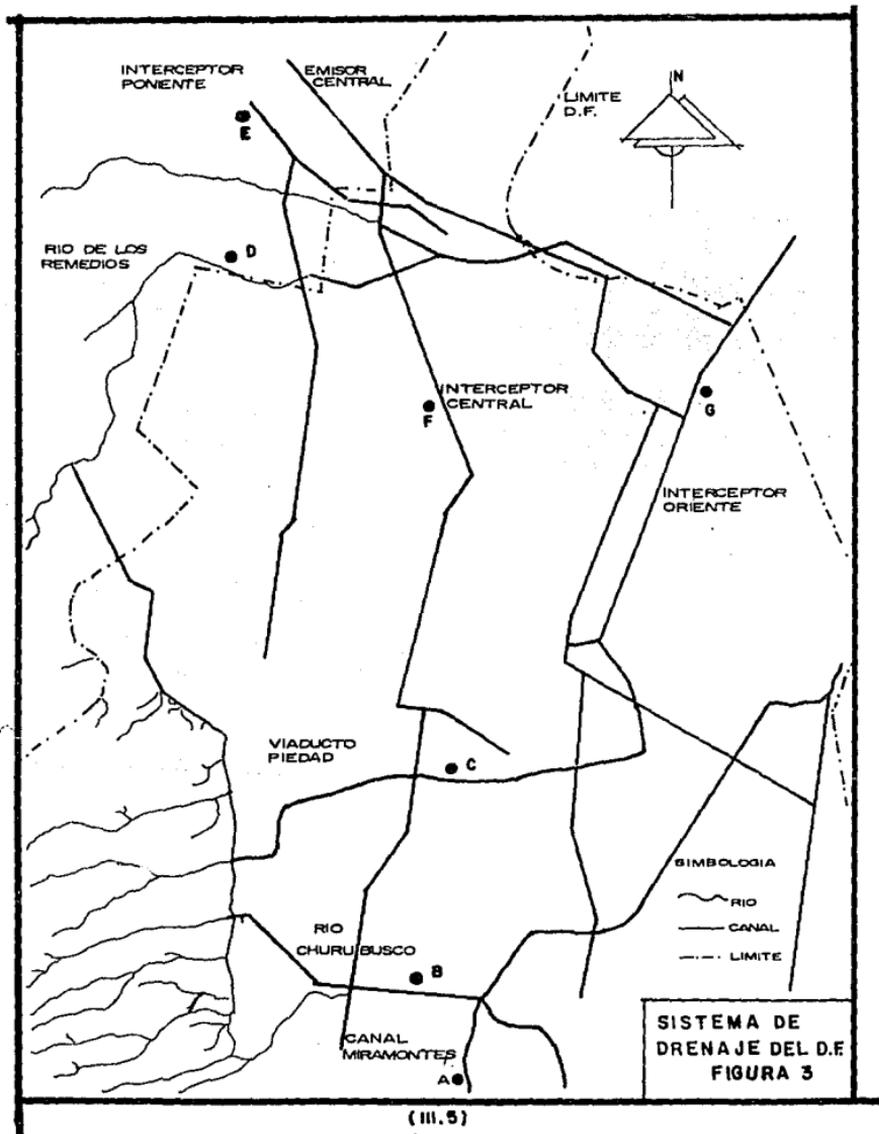
los tres interceptores antes mencionados en donde puede aliviar su caudal antes de su descarga al Gran Canal del Desagüe.

e).-Interceptor poniente.- Este interceptor se construyó con la finalidad de captar y desalojar las aguas del escurrimiento pluvial del poniente de la ciudad, sin embargo, en la actualidad tiene gran cantidad de descargas de aguas residuales. Su recorrido es de sur a norte y finalmente descarga sus aguas por medio del tajo de Nochistongo.

f).-Interceptor central.- Este se construye con un sentido sur norte y a su terminación iniciará su recorrido en la av. M.A. de Guevedo terminando en el emisor central. Tendrá una longitud de 25 Km con un diámetro interior de 5m, pendiente de 0.0005, capacidad máxima de 90 m<sup>3</sup>/seg y está ubicado a una profundidad media de 30 m.

g).-El interceptor oriente iniciará su recorrido desde el río Churubusco con un sentido sur norte hasta el canal abierto en donde recibe la descarga del Gran Canal del Desagüe. A partir de este punto el sentido es oriente norponiente hasta su descarga en la lumbrera "O" del emisor central.

Este canal es de sección circular. Una vez terminado tendrá una longitud de 27 Km con diámetro interior de 5 m, pendiente de 0.0007 y gasto máximo de 110 m<sup>3</sup>/seg. También está situado a 30 m de profundidad en promedio. En la figura # 3 se puede observar el sistema en conjunto.



### III.2 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua efluente de la ciudad de México tiene variaciones muy significativas a lo largo del día, mes y año e inclusive de lugar a lugar; sus características varían sustancialmente. Esta situación obedece a los diferentes orígenes del agua residual y a la ocurrencia del agua pluvial.

Como puntos representativos de la calidad del agua efluente de la ciudad de México se consideraron :

#### 1).-Canal Abierto.

En este punto se maneja el gasto del Gran Canal del Desagüe ya sea hacia el interceptor oriente o por el mismo canal.

#### 2).-Estación Cien Metros.

Situada sobre el interceptor central justo antes de la descarga de éste al emisor central, en donde a su vez se combinan con el agua del interceptor del oriente.

Los valores analíticos se obtuvieron del monitoreo del drenaje de la ciudad de México realizado durante el año de 1981 por la Cía. I.M.A.S.A. para el Departamento del Distrito Federal. Los valores, promedios anuales y el promedio pesado de las estaciones se pueden consultar en la tabla #1.

Del análisis de estos valores se puede observar que:

- El agua presenta una conductividad eléctrica moderada tendiendo a alta lo que implica la presencia de volúmenes considerables de aguas residuales de diversos tipos, sin embargo, la dilución en el sistema es importante.
- Se presen~~tan~~ una gran cantidad de sólidos en los que se denotan volúmenes importantes de materia orgánica y partículas de suelo erosionadas a la cuenca.
- La relación DBO/DQO es de 0.45 y 0.38 respectivamente para cada estación en lo que se denota una descarga de aguas residuales industriales mucho mayor en el Gran Canal del Desagüe. No obstante en ambos sistemas la descarga industrial es importante y evidencia la presencia de sustancias tóxicas que, en concentraciones altas, inhiben la actividad bacteriana y con esto la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor.
- El contenido de grasas y aceites es sumamente alto.

-- Se pueden detectar metales pesados en concentraciones altas.

En los capitulos sucesivos se revisará mas detalladamente la calidad del agua desde el enfoque de este estudio.

(III. B)



### III.3 ALEJAMIENTO

Como ya se mencionó, el sistema de drenaje de la ciudad de México cuenta, actualmente, con tres salidas artificiales:

- a).- Tajo de Nochistongo
- b).- Bran Canal del Desagüe
- c).- Sistema de Drenaje Profundo

En conjunto y mediante una complicada operación estos tres colectores evacúan de la ciudad de México las aguas residuales generadas en esta y las descargan a la cuenca del río Moctezuma en donde son utilizadas para el riego agrícola de casi 100,000 Ha en el denominado Valle del Mezquital Hgo., dentro de los distritos de riego 003, 027, 088 y 100.

#### III.3.1 Tajo de Nochistongo

El tajo de Nochistongo es el emisora que desaloja las aguas del ahora interceptor poniente, el cual se inicia en la desembocadura del vaso de Cristo en el municipio de Tlalnepantla, continúa en conducto cerrado hasta el kilómetro 12+359 en donde se convierte en un canal abierto de sección trapezoidal.

Las aguas captadas por el interceptor poniente son de origen residual doméstico, pluvial e industrial.

El gasto al inicio de la sección abierta se estima en 0.45 m<sup>3</sup>/seg sin embargo este canal recibe variedad de aportaciones como son el río Tepetzotlán. Este conducto desemboca al río el Salto el cual, mediante una derivadora, descarga casi la totalidad de sus aguas al canal el Salto que tiene una capacidad de 35 m<sup>3</sup>/seg y a su vez descarga en el vaso de la presa Requena, que hasta el año de 1987 era su principal aporte.

### III.3.2 Gran Canal del Desagüe

El Gran Canal del Desagüe drena por bombeo las aguas residuales y pluviales generadas en la parte baja de la ciudad, que se encuentra situada en lo que fue el antiguo lago.

El proyecto original contemplaba un gasto de diseño de 5 m<sup>3</sup>/seg en los primeros 20 Km y 17.5 m<sup>3</sup>/seg en lo que resta del recorrido.

Este colector ha trabajado en ocasiones hasta con gasto de 150 m<sup>3</sup>/seg mediante la sobreelevación de bordos. El canal cuenta con plantas de bombeo con capacidad de 220 m<sup>3</sup>/seg equipadas con subestación eléctrica y hasta tres circuitos de emergencia.

A su paso por los municipios de Ecatepec, Tecamac, Nextlalpan y Jaltenco se derivan 5 m<sup>3</sup>/seg por medio de dos plantas de bombeo situadas en el kilometro 25+000 y en el 27+000 con lo cual se permite el riego de aproximadamente 4400 Ha.

Posteriormente, aguas abajo de los túneles de Tequisquiác y del arrollo Hueypoxtla, a partir de la confluencia con este último toma el nombre de río Salado. El volúmen aportado equivale a 30 m<sup>3</sup>/seg ( 946 millones de m<sup>3</sup>/año ). Estas aguas son de origen pluvial, residual doméstico e industrial y son utilizadas en el riego de 42,843 Ha del distrito de riego 003.

### III.3.3 Emisor Central

El emisor central se origina a la altura de nueva Ecatepec, en la confluencia del interceptor central y el interceptor oriente a 48.41 m de profundidad.

Este emisor es un canal de sección circular con un diámetro interior de 6.5 m, con 50 Km de longitud, pendiente de 0.00195, excavado a una profundidad media de 120 m, siendo su profundidad máxima 220 m. El tunel está diseñado para un gasto máximo de 200 m<sup>3</sup>/seg.

Durante los 50 Km de longitud no recibe aportaciones sino únicamente las filtraciones de aguas subterráneas hacia el emisor.

La estructura de descarga está equipada con una derivadora que cuenta con tres compuertas, por medio de las cuales se derivan 13 m<sup>3</sup>/seg hacia el canal de fuerza el Salto-Tiamaco, mediante el cual se apoya al Gran Canal del Desagüe en el riego de parte de la zona alta del distrito de riego 003.

Además, esta estructura cuenta con un vertedor de cresta libre con el cual se derivan los volúmenes excedentes al río el Salto y de ahí al río Tula para finalmente descargar en la presa Endho donde estas aguas son almacenadas y reguladas para su posterior uso en el riego agrícola de los distritos de riego 003, 027 y 100.

### III.4 DISPOSICION FINAL

Los tres emisores antes mencionados descargan sus aguas en la cuenca del río Moctezuma en sitios diferentes, sin embargo, el agua en conjunto es derivada, almacenada, regulada y conducida con el fin de proporcionar agua de riego al distrito 003, tula, Hgo.

El manejo del agua es sumamente complicado ya que el distrito antes mencionado cuenta para su operación con tres presas de almacenamiento, seis derivadoras, 37.9 Km de canales principales revestidos, 147.6 Km de canales principales no revestidos, y 335.7 Km de canales secundarios no revestidos que en conjunto permiten utilizar, aproximadamente, 956'000,000 de m<sup>3</sup>/año.

Antes de la disposición final de estas aguas en el riego agrícola las aguas efluentes de los tres emisores de la ciudad de México son manejadas, en general, de la siguiente forma:

#### III.4.1 Tajo de Nochistongo.

Junto con el río Tepeji, era el principal afluente a la presa Requena.

La presa Requena se encuentra localizada a 6 Km aguas abajo de la población de Tepeji del Río; fue construida del año de 1919 a 1922, para una capacidad de 35'000,000 de m<sup>3</sup>. En 1926 fue sobre elevada para poder almacenar hasta 71'000,000 de m<sup>3</sup>. La capacidad útil es de 52'400,000 de m<sup>3</sup>, el área del embalse es de 734 Ha, con una profundidad máxima de 27 m sobre el cauce del río.

La descarga se realiza por medio de dos obras de toma y un vertedor de excedencias. El volumen descargado al canal Requena es conducido a la parte alta del distrito de riego donde son utilizadas en el riego agrícola. El resto del agua efluente es conducida a la presa Endho por medio del río Tula.

Los volúmenes descargados son, aproximadamente, 106'000,000 de m<sup>3</sup> por el canal Requena y 80'000,000 de m<sup>3</sup> hacia el río Tula, anualmente.

#### III.4.2 La Presa Endho.

El emisor central descarga 13 m<sup>3</sup>/seg (410'000,000 de m<sup>3</sup>/año), en operación normal, hacia el canal el Salto - Tiamaco el cual conduce estas aguas directamente al riego agrícola de la parte alta del distrito de riego 003. El volumen restante es conducido, por medio del río Tula a la presa Endho.

El volúmen conducido a esta presa por el río Tula varia entre gastos de 0 m<sup>3</sup>/seg hasta máximos registrados del orden de 300 m<sup>3</sup>/seg. En promedio, el gasto descargado a la presa Endho es de, aproximadamente, 1,100'000,000 de m<sup>3</sup> de emisior central y 80'000,000 m<sup>3</sup> por la presa Requena, lo que da un total de 1,180'000,000 de m<sup>3</sup>/año.

Esta presa está situada a 11 Km aguas abajo de la población de Tula, Hgo., sobre el cauce del río del mismo nombre. Fue construida con fines de riego de 1947 a 1951 con una capacidad total de 182'000,000 de m<sup>3</sup>, siendo su capacidad útil 137'600,000 de m<sup>3</sup> y una capacidad para azolves de 44'400,000 de m<sup>3</sup>. Su profundidad media es de 15m con un máximo de 55m sobre el lecho del río.

Las aguas son aprovechadas por medio de una obra de toma con capacidad de 30 m<sup>3</sup>/seg que opera la mayor parte del año para 25 m<sup>3</sup>/seg. Las aguas efluentes son conducidas hacia la zona de riego de los distritos 003 y 100 por medio del canal principal Endho.

#### III.4.3 Río Salado.

El río Salado (aguas arriba del Bran Canal del Desagüe) descarga en la parte alta del distrito de riego 003 en el canal principal Tiamaco Juandho y al canal Dendho en donde

se mezclan con las aguas conducidas por el canal El Salto Tlaaco y Principal Requena, respectivamente, para su posterior incorporación al sistema de riego.

Las aportaciones de aguas residuales del río Salado al sistema son de, aproximadamente, 1,000'000,000 de m<sup>3</sup>/año equivalentes a un gasto relativamente constante de 35 m<sup>3</sup>/seg.

Los tres sistemas en conjunto hacen posible el riego de 81,156 Ha distribuidas en: 28,870 Ha en el distrito 100; 4234 en el 027; y, 48,052 en el 003.

#### III.4.4 Suelos

Los suelos en que se disponen las aguas residuales de la ciudad de México se dividen en dos grupos: El primero corresponde a suelos recientes, aluviales, profundos, de textura variable y topografía plana; el segundo a suelos in situ mixtos con grados de desarrollo variable.

En el primer agrupamiento se identifican dos series: Actopan y Lagunillas, que son suelos profundos. En el segundo se encuentran las series Tepatepec y Progreso y son las que ocupan la mayor parte de la superficie en el Área del distrito de riego 003, el cual es el más representativo en cuanto a la disposición final de las aguas residuales a que se refiere.

III.4.4.1 Serie Tepatepec.- Esta serie ocupa 17,719 Ha dentro del distrito de riego 003 y como principales características tienen: suelos de profundidad que varia entre 50 cm y 1.50 m. la textura es media y fina con color gris, amarillento cafésacea; la topografía es senciblemente plana o inclinada con lomerios originados en tobas; su formación es aluvial medianamente intemperizada descansando en una toba compacta sin llegar a ser cementada; se tiene fertilidad baja en cuanto a nitrógeno, fósforo y potasio; abunda el calcio asimilable, el pH es ligeramente alcalino y no se presentan problemas en cuanto a sales se refiere.

En esta serie predominan los suelos franco arcillo-arenosos Tepatepec, franco arcilloso Tepatepec y arcilla Tepatepec.

En estos suelos se obtienen buenos rendimientos con alfalfa, trigo, maiz, cebada, chile, tomate y frutales diversos.

III.4.4.2 Serie Actopan.- Esta serie abarca el 1.1 % de las 42,843 Ha del distrito de riego. Se localiza en las vegas de los arroyos y rios de la región, tienen buena profundidad con texturas gruesas preferentemente producto del transporte de las corrientes, dominando las tobas y andesitas. Su topografía es plana con pendiente menor o igual al 2 % lo que provoca un drenaje superficial moderadamente insuficiente,

sin embargo, el drenaje interno es rápido. Estos suelos son ideales para la producción de hortalizas, camote y papa, obteniéndose también buenos rendimientos con maíz y alfalfa.

Los suelos dominantes son arcilla Actopan y franco arenoso Actopan.

III.4.4.3 Serie Progreso.- Estos suelos ocupan 21,867 Ha (51%) de la superficie del distrito. Se encuentran en las lomas y cerros, generalmente tienen poco espesor, yacen sobre un material calizo que dificulta la penetración de raíces y el paso del agua, la topografía va de inclinada a fuertemente inclinada. Las texturas predominantes son medias, finas y en ocasiones franco arenosas con colores que varían del café claro al rojizo claro. Estos suelos son originados de una capa caliza consolidada y su formación es in situ en las partes altas y coluvial en las laderas.

De acuerdo a estas características el drenaje interno va de rápido a muy rápido. Los tipos predominantes son arcilla Progreso, franco arenoso Progreso, franco Progreso, Franco arcillo-arenoso Progreso y arcillo-arenoso Progreso.

Se obtienen buenos rendimientos con alfalfa, trigo, cebada, maíz, chile tomate, avena y calabaza.

III.4.4.4 Serie Lagunillas.- Los suelos de esta serie se localizan en las márgenes de los ríos que cruzan la región, son profundos y con topografía plana, con pendiente menor al 2%. Estos suelos son originados por materiales arrastrados por las corrientes, como son andesitas y riolitas, su formación es aluvial. El drenaje interno es deficiente y constantemente están sujetos a inundación por el desbordamiento de los ríos o el drenaje de las zonas altas. El tipo predominante es arcilla. El nivel freático se encuentra, aproximadamente, a 1 m. Actualmente se cultivan maíz y alfalfa. La serie ocupa 4756 Ha, 11.3 % del distrito de riego 003.

### III.5 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Con el fin de evaluar la calidad efluente del drenaje de la ciudad de México, para su posterior uso en la agricultura, se centró la atención al efluente del emisor central, el cual de acuerdo a las características técnicas ya detalladas con anterioridad, día a día va adquiriendo mas importancia, en cuanto a su potencialidad como fuente permanente de recurso oportuno para las actividades agrícolas.

Para el objetivo de este estudio se realizó un muestreo rutinario de siete estaciones, en ocho ocasiones cada una, cubriendo los meses de mayor sequia y estiaje para observar la evolución de la calidad del agua. El muestreo se llevó a cabo durante los meses de mayo a agosto de 1984 y las estaciones muestreadas fueron:

#### 1.- PORTAL DE SALIDA DEL EMISOR CENTRAL

En esta estación se capta la calidad del agua efluente del emisor central, Con parte de la cual se riega la parte alta del distrito de riego 003 y el sobrante alimenta el almacenamiento de la presa Endho.

#### 2.- CIUDAD TULA ANTES DE LA DESCARGA DE PEMEX

En este sitio es posible observar la recuperación del río hasta antes de la descarga de aguas residuales tratadas de la refinería de pemex.

### 3.- CIUDAD TULA DESPUES DE LA DESCARGA DE PEMEX

Se observa en este lugar el efecto de la descarga en la calidad del agua del cuerpo receptor.

### 4.- ENTRADA A LA PRESA ENDHO

Aquí se detecta la calidad del agua influente al embalse.

### 5.- SOBRE LA OBRA DE TOMA DE LA PRESA ENDHO

En este punto se recolectaron muestras que revelan la calidad del agua después de su tiempo de residencia en el embalse y a nivel superficial.

### 6.- EFLUENTE DE LA PRESA ENDHO

En este lugar de muestreo se observa la calidad del agua después de su tiempo de permanencia en el embalse pero a 25 m de profundidad, misma que se aprovecha en el riego de la parte baja del distrito de riego.

### 7.- FILTRACIONES DE LA PRESA

En los manantiales que se encuentran a unos cuantos metros aguas abajo de la cortina, se puede observar la remoción de contaminantes efectuada por la matriz de suelo.

Todos los análisis de aguas fueron efectuados en las instalaciones del laboratorio del Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua de la entonces Comisión del Plan Nacional Hidráulico (CPNH), ahora Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

De la tabla #2 a la #8 se pueden consultar los resultados analíticos de cada estación, así como los promedios anuales.

No es posible analizar y evaluar la calidad del agua en un punto. Se debe estudiar al sistema y su comportamiento para poder entender sus variaciones, problemas y soluciones.

El agua, en general, se puede evaluar de diferentes formas y con respecto a diferentes indicadores. Para el caso que nos ocupa, el agua se analizará de acuerdo a dos enfoques: calidad agronómica y contaminación.

En cuanto a calidad agronómica se evaluará de acuerdo a los parámetros tradicionales de conductividad eléctrica, sodio, calcio, magnesio y Relación de Absorción del Sodio (R.A.S.); mas adelante se analizará su capacidad fertilizante. La evaluación de la calidad agronómica se realiza unicamente en los puntos 1 y 6, lugares en donde hay aprovechamiento para la agricultura.

La calidad del agua desde el punto de vista de contaminación se evaluará en todos los puntos de muestreo y tomando como parámetros indicadores los siguientes:

DBO.- DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO A LOS 5 DIAS Y 20°C

DQO.- DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

SST.- SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

SDT.- SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

ORGANISMOS COLIFORMES TOTALES

ORGANISMOS COLIFORMES FECALES

Solo en algunos casos se revisa la calidad del agua respecto a otros parámetros e inclusive respecto a metales pesados y sustancias tóxicas.

### III.5.1 Descripción del Sistema

A pocos metros aguas abajo de la descarga del emisor central nace el río Tula, el cual conduce las aguas residuales de la ciudad de México por 16 Km hasta llegar a la ciudad de Tula Hgo., lugar en donde recibe las importantes aportaciones de la ciudad del mismo nombre por su margen derecha, y la de la refinería de PEMEX por su margen izquierda. Pasando la ciudad recorre otros 13 Km hasta su llegada a la presa Endho. En este sitio el agua es almacenada durante, aproximadamente, un

mes; de esta forma entra en un estado de reposo bajo la acción del lirio acuático, maleza que cubre totalmente la superficie del embalse.

Por medio de una obra de toma sumergida a 25m, el agua es derivada hacia el canal principal Endho, a través del cual se conduce el agua a la zona de riego.

En las figuras 4, 5 y 6 pueden observarse el funcionamiento del sistema y el embalse en cuestión, respectivamente.

### III.5.2 Evaluación de la Calidad del Agua

A continuación se presenta la evaluación de la calidad del agua en cada una de las estaciones seleccionadas para este estudio.

III.5.2.1 Estación #1. Salida del Emisor Central. - El agua efluente del emisor central tiene características que difieren sustancialmente con las descargadas al mismo en la lumbrera "O", ésto se debe a que en sus 64 Km de recorrido el agua experimenta cambios producidos por los mecanismos de autodepuración, sin embargo, la calidad que interesa, en cuanto a su uso agrícola, es la efluente del sistema.

En este punto, mismo que surte de 13m<sup>3</sup>/seg a la parte alta del distrito de riego 003, el agua se clasifica como C3S1 durante todo el año, es decir, agua de salinidad media sin peligro de elevar el sodio de cambio.

El agua en este punto presenta una DBO alta que va de 151.5 mg/l en temporada de lluvias a 391.75 en estiaje. La relación DBO/DQO varía entre 0.6 y 0.72 lo que indica que se trata de aguas residuales domésticas en su mayoría.

Los sólidos varían bastante entre las épocas de secas y avenidas, situación lógica debido al arrastre de sólidos por la lluvia.

En cuanto a las bacterias coliformes, el agua se encuentra, en ambas estaciones bajo un estado de intensa actividad bacteriana.

III.5.2.2 Estacion #2. Ciudad de Tula, Hgo. Antes de la Descarga de Pemex. - Hasta este punto el río ha recorrido unos 16 Km desde el punto de descarga del emisor central, por lo que en la mayoría de las concentraciones contaminantes se presenta un abatimiento debido a la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua, y la dilución provocada por afluentes menos contaminados, entre otras causas.

Como se puede observar en la tabla 11, durante el año se tienen remociones de sólidos disueltos, DBD, DQD, Na y K, siendo las más altas para la DBD y DQD con un 60 % de disminución en su concentración, sin embargo, los sólidos suspendidos totales se incrementan debido a partículas de suelo erosionadas a la cuenca.

En estiaje los índices de contaminación son más altos debido a la poca dilución existente, salvo el caso de los sólidos suspendidos que es a la inversa, ya que la concentración aumenta cuando hay mayor precipitación.

En cuanto a la calidad agronómica, estas aguas se clasifican, de acuerdo al manual # 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, como C3S1 y C2S1, en épocas de lluvias, lo cual las hace aptas para el riego de cualquier cultivo, sin embargo, en cuanto a su calidad bacteriológica se presentan como inadecuadas para irrigación, no obstante, su uso es posible en ciertos cultivos y bajo prácticas especiales de uso.

III.5.2.3 Estación #3. Ciudad de Tula Hgo., Después de la Descarga de PEMEX. - En este punto la calidad del agua lejos de mejorar sufre un notable deterioro provocado por el agua residual industrial, supuestamente tratada, descargada al río Tula.

Practicamente todas las concentraciones reportadas son mayores que inclusive en la descarga del emisor central, salvo el caso de la DBO que es ligeramente menor e implica que toda la capacidad de autodepuración del río sea anulada por una sola descarga.

Debido a esto, el agua tiene una calidad agronómica menor ya que pasa de C281 en época de lluvias a C3S1 y de C3S1 en estiaje a C3S2, lo que aumenta el riesgo de salinización o sodificación del suelo. No obstante, la calidad del agua continúa siendo aceptable para riego e inaceptable desde el punto de vista bacteriológico.

III.5.2.4 Estación #4. Entrada a la Presa Endho.— Desde la estación número 3 el agua viaja a lo largo de 6 Km en los cuales prácticamente no recibe ninguna aportación considerable por lo que nuevamente se presenta una recuperación en la calidad del agua en promedio de 33 % con 64 % de remoción de sólidos disueltos, 47 % de DBO y 72 % de DBO, debido a la autodepuración del cuerpo receptor, a la velocidad de flujo y al área expuesta que permite una buena aereación y biodegradación.

En este punto la calidad del agua se clasifica como C3S1 y C3S2 para la época de estiaje e inadecuada desde el punto de vista bacteriológico.

### III.5.2.5 Estación #5. Sobre la Obra de Toma de la Presa

Endho.- La calidad del agua en este sitio presenta características muy superiores al agua influente al embalse debido a los mecanismos de reacción existentes y a la presencia de lirio acuático. En general, el agua es apta para el riego y se clasifica como C3S1 y C3S2 en lluvias y estiaje respectivamente. También aquí en agua, en cuanto a su calidad bacteriológica, sigue siendo inapropiada.

Por lo que se refiere a contaminación, el agua ha experimentado una notable disminución en la concentración de contaminantes, particularmente en DBO, DQO, SST y bacterias coliformes totales y fecales. No obstante con la reducción de contaminantes estas aguas no son aptas para otro uso diferente al agrícola.

### III.5.2.6 Estación #6. Efluente de la Presa Endho.-

La calidad del agua efluente de la presa es muy similar a la de la estación anterior, con algunas variaciones que se presentan como un incremento en la concentración.

### III.5.2.7 Estación #7. Filtraciones de la Presa Endho.-

Aguas abajo de la cortina, sobre el antiguo lecho del río, aflora una gran cantidad de manantiales producto de las filtraciones del agua almacenada, por debajo de la cortina de la presa.

El agua efluente de estos manantiales es de una calidad muy superior a la influente y efluente del embalse ya que se clasifica como C3S1 y C2S1 para temporada de estiaje y lluvias, respectivamente. En general todos los parámetros de contaminación se encuentran en valores aceptables para, inclusive, favorecer la vida acuática y otros usos, sin embargo, la calidad biológica es dudosa, sobre todo en periodo de estiaje.

Los valores analíticos de referencia pueden ser consultados en las tablas 9, 10 y 11.

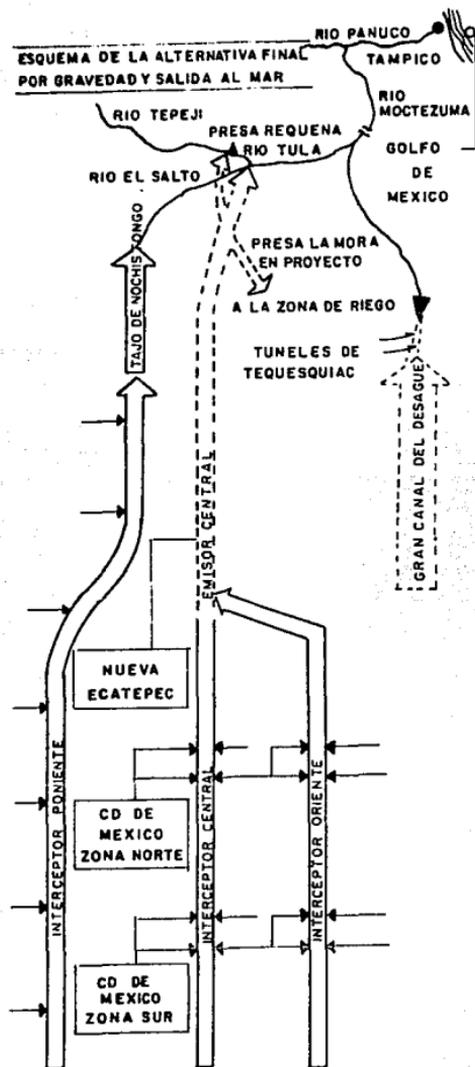
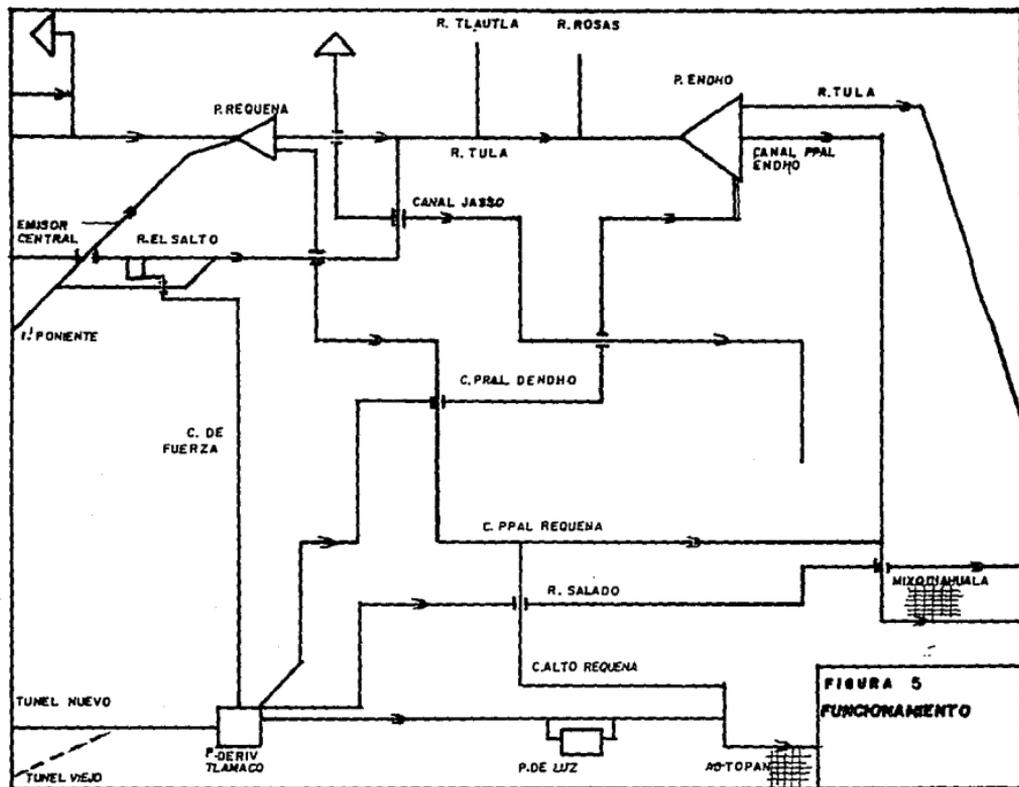
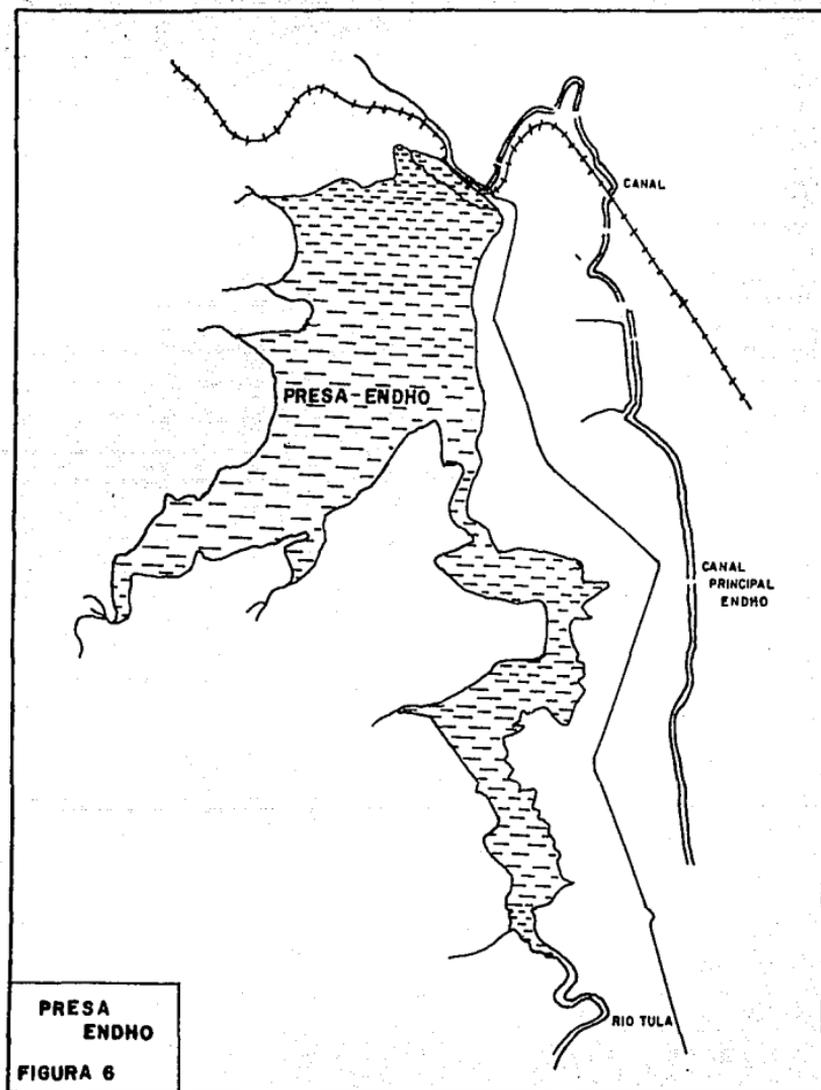


FIGURA 4

(III, 32)



**FIGURA 5**  
**FUNCIONAMIENTO**



(III.34)

TABLA 2		RESULTADOS ANALITICOS								PHISOR CENTRAL
ESTACION 1		FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				PROMEDIO
PARAMETROS	unidades	3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO	
TEMP.AMBIENTE	°C	24	27.5		30.5	29	29	31	30.5	29.64
TEMP.AGUA	°C	25	26		30	21.5	24	22	17	23.6
PH		7.6	7.4	7.1	7.7	7.5	7.2	7.6	7.3	7.4
G Y A	mg/l	35	91	60	255	17	125	79	19	96.37
SOLIDOS SUSP.TOT.	mg/l	215	270	192	215	1620	540	98	750	487.5
SOLIDOS DISUELT.TOT.	mg/l	705	720	712	513	372	545	946	432	543.3
SULFATOS	mg/l	52	59	7	84	9	104	129	120	71.75
FENOLES	mg/l	0.176	0.130	0.183	0.834	1.742	0.330	0.170	0.066	0.454
CLORUROS	mg/l	76	54	90	72	41	52	149	35	72.5
OXIGENO DISUELTO	mg/l	0	0	0	0	0.81	0	0	0	0.1
D B O	mg/l	324	338	355	540	149	89	314	54	271.63
D Q O	mg/l	460	431	490	792	356	234	356	69	399
FOSFATOS	mg/l	2.14	6.25	5.17	5.21	2.29	2.37	6.27	1.8	5.180
S A A M	mg/l	20.01	3.77	1.88	2.97	0.691	0.96	3.18	0.71	1.765
CONDUCTIVIDAD	mg/l	990	979	1053	858	656	793	1313	641	911
POTASIO	mg/l	24.6	20.4	25	25	17.4	26.8	37.8	22.5	25.07
SODIO	mg/l	113	115	54.2	139	43.7	83.3	165	53	95.78
CALCIO	mg/l	35	32.6	29.8	62.6	42.2	71	61	38	45.53
MAGNESIO	mg/l	17.6	16.6	20.3	14.7	15.7	21.3	23	15	18.025
PLOMO	mg/l	0.1642	0.0257	0.0312	0.0805	0.007	0.0179	0.0054	0.1653	0.059
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$\geq 2.4 \times 10^4$	$4 \cdot 2.4 \times 10^4$	$14 \cdot 2.4 \times 10^4$	$19 \cdot 2.4 \times 10^4$	$20$	$2 \cdot 4 \times 10^4$	$1 \cdot 2 \times 10^{18}$	$4 \times 10^{18}$	$1 \cdot 99 \times 10^{19}$
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$\geq 2.4 \times 10^4$	$2 \cdot 2.4 \times 10^{19}$	$2 \cdot 2.4 \times 10^{19}$	$3 \times 10^{19}$			$4 \cdot 6 \times 10^{17}$	$3 \times 10^{18}$	$1.35 \times 10^{19}$

TABLA 3		RESULTADOS ANALITICOS								TUJA ANTES DE DESCARGA DE PENEX
ESTACION 2		FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				PROMEDIO
PARAMETROS	unidades	3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO	
TEMP.AMBIENTE	°C	32	33		31.5	23.5	33	21.5	23	28.2
TEMP.AGUA	°C	23	24		26	20	23.5	19.5		22.7
PH		7.7	7.5	7.6	7.8	7.0	7.5	7.6	7.3	7.5
G Y A	mg/l	26	8	42	21	39	51	31	18	29.5
SOLIDOS SUSP.TOT.	mg/l	46	74	404	60	1300	433	2220	329	608.13
SOLIDOS DISUELT.TOT.	mg/l	952	926	670	902	506	579	180	366	635.13
SULFATOS	mg/l	56	159	141	187	28	105	81	59	103.25
FENOLES	mg/l	0.033	0.020	0.114	0.033	0.017	0.178	0.010	0.015	0.065
CLORUROS	mg/l	35	54	92	101	21	69	59	35	64.5
OXIGENO DISUELTO	mg/l	0	0	0	0	3.64	0	0.5	0.8	0.615
D B O	mg/l	122	44	152	203	69	45	61	30	92.13
D Q O	mg/l	190	123	195	264	163	234	188	79	179.
FOSFATOS	mg/l	0.9	4.52	5.99	5.15	1.34	5.31	2.45	1.62	3.54
S A A M	mg/l	1.79	1.91	2.77	3.18	0.284	0.98	0.54	0.85	1.535
CONDUCTIVIDAD	mg/l	1350	1238	1392	1260	394	391	569	641	956.88
POTASIO	mg/l	30.3	20.4	31.7	30	12.3	25.2	20.8	22.5	24.15
SÓDIO	mg/l	11.3	39.3	62.2	169	41.7	97.2	55.6	121	93.64
CALCIO	mg/l	58	92.9	59.6	85.1	41.1	79	70	38	65.83
MAGNESIO	mg/l	35	23.9	28.2	34	12.1	22.4	5.6	14	22.02
PLOMO	mg/l	0.0099	0.0097	0.0251	0.0201	0.0251	0.0116	0.0034	0.1780	0.0355
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$\geq 2.4 \times 10^{11}$	$\geq 2.4 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{17}$	$\geq 2.4 \times 10^{10}$		$\geq 2.4 \times 10^{21}$	$4.6 \times 10^9$	$7 \times 10^{17}$	$3.78 \times 10^{20}$
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$\geq 2.4 \times 10^{11}$	$\geq 2.4 \times 10^{11}$	$1.4 \times 10^{17}$	$\geq 2.4 \times 10^{10}$			$2.4 \times 10^9$	$7 \times 10^{17}$	$4.2 \times 10^{19}$

TABLA 4		RESULTADOS ANALITICOS				TULA DESPUES DE LA DESCARGA DE PENEX.				PROMEDIO
ESTACION 3	unidades	FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				
PARAMETROS		3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO	
TEMP. AMBIENTE	°C	31	32		30	27	27	28.5	25	28.64
TEMP. AGUA	°C	22	24		26	21	24	20.5	24	23.07
PH		7.9	8.1	7.8	8.0	7.5	7.7	7.5	7.1	7.7
G Y A	mg/l	27	38	40	22	37	60	55	23	37.88
SÓLIDOS SUSP. TOT.	mg/l	50	132	110	60	1640	120	3400	100	702.75
SOLIDOS DISUELT. TOT.	mg/l	1712	2052	1292	902	368	1424	434	810	1124.3
SULFATOS	mg/l	288	900	330	358	31	315	105	275	325.3
FENOLES	mg/l	0.107	0.50	0.156	1.03	0.051	0.199	0.148	1.955	0.464
CLORUROS	mg/l	136	133	149	137	37	132	91	34	105.8
OXIGENO DISUELTO	mg/l	0	0	0	0	2.32	0	0	0	0.28
D B O	mg/l	142	81	122	203	189	55	101	51	119.3
D O O	mg/l	200	195	195	257	549	351	416	104	283.6
FOSFATOS	mg/l	1.39	3.25	5.23	4.84	1.36	4.79	3.74	2.0	3.45
S A A M	mg/l	2.83	1.44	2.49	3.23	0.44	1.42	1.59	1.3	1.86
CONDUCTIVIDAD	mg/l	2305	2750	1760	1717	552	1315	980	1125	1622
POTASIO	mg/l	42.8	24.4	33.6	30	13.9	35.7	27.6	37.6	30.7
SODIO	mg/l	292	335	91.1	109	50.5	235.2	61	45	167.35
CALCIO	mg/l	118	125.5	62.4	36.1	40.3	145	107	59	92.9
MAGNESIO	mg/l	34.3	101.3	30.4	34	12.5	34.5	9.8	21	34.7
PLOMO	mg/l	0.0145	0.027	0.0251	0.201	0.2270	0.0072	0.1503	0.0559	0.065
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 2.4 \times 10^{15}$	$1.1 \times 10^9$			$\geq 2.4 \times 10^{20}$	$2 \times 10^{17}$	$7.1 \times 10^1$	$4 \times 10^{19}$
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$\geq 4 \times 10^{11}$	$\geq 2.4 \times 10^{15}$	$4.6 \times 10^1$				$1.5 \times 10^{17}$	$4 \times 10^1$	$2 \times 10^{17}$

TABLA 5		RESULTADOS ANALITICOS								INFLUENTE A LA PRESA		ENDIHO
ESTACION <sub>4</sub>	unidades	FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				PROMEDIO		
PARAMETROS		3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO			
TEMP.AMBIENTE	°C	25	31,5		30,5	25,5	28,5	29	25	28,1		
TEMP.AGUA	°C	25	27		28	21	25,5	20,5	26	24,9		
PH		8,2	8,5	7,9	7,9	7,3	7,5	7,5	7,4	8,12		
G Y A	mg/l		8		23	173	56	112	21	57,2		
SOLIDOS SUSP.TOT.	mg/l	58	18	51	136	1340	28	3450	350	594,3		
SOLIDOS DISUELT.TOT.	mg/l	1592	1242	1260	1056	830	345	335	532	947,3		
SULFATOS	mg/l	498	155	256	281	30	232	117	44	229,6		
FENOLES	mg/l	0,12	0,05		1,0	0,029	0,135	0,085	0,284	0,39		
CLORURDS	mg/l	137	112	107	114	34	58	103	44	92,38		
OXIGENO DISUELTO	mg/l	0	0		0	1,01	0	0	0	0,14		
D B O	mg/l	81	45	51	162	202	35	162	101	104,9		
D Q O	mg/l	200	157	83	238	345	188	287	159	204,5		
FOSFATOS	mg/l	1,68	1,2	16,8	5,39	1,01	4,5	3,31	3,29	4,65		
S A A M	mg/l	1,95	1,02	3,88	3,25	0,34	2,49	1,34	1,14	1,89		
CONDUCTIVIDAD	mg/l	2211	1782	1561	1502	540	1232	900	755	1325,8		
POTASIO	mg/l	39,8	28,5	34	30	14,2	27,3	25,2	25,9	27,9		
SODIO	mg/l	251	182	77,4	235	70,5	95,3	65,7	65	105,87		
CALCIO	mg/l	131	87,8	60	95,2	42,9	37	54	43	73,98		
MAGNESIO	mg/l	39,5	28,2	32,5	35,4	12,9	18,4	21,9	16	25,48		
PLOMO	mg/l	0,0149	0,0140	0,0391	0,0099	0,2408	0,002	0,1526	0,1526	0,0756		
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$1,1 \times 10^{15}$	$2,4 \times 10^{13}$	$2,1 \times 10^{14}$	$2,4 \times 10^{12}$		$2,4 \times 10^{14}$	$1,5 \times 10^{12}$	$3 \times 10^{15}$	$5,9 \times 10^{16}$		
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$1,1 \times 10^{19}$	$2,4 \times 10^{13}$	$1,5 \times 10^{12}$	$2,1 \times 10^{11}$		$2,4 \times 10^{14}$	$4 \times 10^{10}$	$3 \times 10^{19}$	$5,9 \times 10^{18}$		

(III.38)

TABLA 5		RESULTADOS ANALITICOS				FRENTE A LA 99RA DE TOMA (SUPERFICIAL).				PROMEDIO
ESTACION 5	unidades	FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				
PARAMETROS		3 MAYO	19MAY.	1 JUN	28JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO	
TEMP.AMBIENTE	°C	30	20		29	19	23.5	25	17	23.07
TEMP.AGUA	°C	21	22		18	21	27	22	21	21.7
PH		8	7.8	7.9	7.7	7.6	7.5	7.6	7.5	7.7
G YA	mg/l	5	4	14	8	68	33	99	2	29.13
SOLIDOS SUSP.TOT.	mg/l	20	40	40	40	98	22	142	68	58.75
SOLIDOS DISUELT.TOT.	mg/l	914	990	919	808	544	572	554	529	741
SULFATOS	mg/l	101	107	109	118	28	81	111	17	84
FENOLES	mg/l	0.022	0.01	0.023	0.064	0.227	0.055	0.079	0.043	0.067
CLORUROS	mg/l	110	105	102	105	50	72	92	65	65.7
OXIGENO DISUELTO	mg/l	0	0	0	0		0	0	0	0
D B O	mg/l	114	40	40	81	52	5	26	12	45.6
D Q O	mg/l	180	78	59	109	76	51	158	30	96.36
FOSFATOS	mg/l	5.23	5.51	5.02	4.53	1.8	2.85	3.11	4.41	3.8
S A A M	mg/l	2.52	1.93	1.23	1.78	0.67	0.59	1.33	1.24	1.42
CONDUCTIVIDAD	mg/l	1334	1430	1403	1328	825	925	875	890	1131.6
POTASIO	mg/l	38.8	24.5	27.3	27.0	18.7	23.1	23.3	30.2	27.3
SODIO	mg/l	152	160	55.8	186	89.3	97.4	93	91	116.81
CALCIO	mg/l	53	55.5	58.4	95.5	40	79	77	42	65.17
MAGNESIO	mg/l	22.55	22.6	23.9	26.0	34.5	17.7	19.6	18.4	19.2
PLOMO	mg/l	0.0112	0.0097	0.0197	0.0113	0.0241	0.00	0.2237	0.0355	0.05
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$2.3 \times 10^4$	$3.8 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$1.1 \times 10^8$		$4.6 \times 10^9$	$1.5 \times 10^9$	$2.1 \times 10^9$	$1.86 \times 10^9$
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$2.3 \times 10^9$	$3.8 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$3 \times 10^7$			$4.3 \times 10^8$	$2 \times 10^8$	$9 \times 10^9$

TABLA 7		RESULTADOS ANALITICOS								E-LUENTE DE LA PRESA.	PROMEDIO
ESTACION	6	FECHAS ESTIAJE	FECHAS AVENIDAS								
PARAMETROS			unidades	3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	
TEMP.AMBIENTE	°C	29	33		20	18	23	23.5	18	24.6	
TEMP.AGUA	°C	17	24		20	20	20	22	21	20.57	
PH		8.1	8	7.6	7.8	7.4	7.6	7.7	7.8	7.75	
G Y A	mg/l	278	5	8	8	54	59	118		75.7	
SOLIDOS SUSP.TOT.	mg/l	20	45	32	40	60	16	18	58	35.3	
SOLIDOS DISUELT.TOT.	mg/l	915	936	936	830	640	540	555	572	742	
SULFATOS	mg/l	55	124	85	97	14	61	131	82	82.5	
FENOLES	mg/l	0.024	0.01	0.018	0.085	0.214	0.08	0.053	0.03	0.0595	
CLORUROS	mg/l	112	104	102	55	63	72	93	56	83	
OXIGENO DISUELT	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
D B O	mg/l	61	20	41	101	33	38	19	34	49.63	
D Q O	mg/l	100	74	137	119	61	56	119	45	89.9	
FOSFATOS	mg/l	7.67	5.31	7.68	4.8		2.81	2.76	2.6	4.8	
S A A M	mg/l	3.75	2.33	1.91	2.24		1.19	1.19	1.25	1.93	
CONDUCTIVIDAD	mg/l	1384	1430	1408	1342	1001	927	891	891	1159.3	
POTASIO	mg/l	37	29.3	24.3	25	21.3	31	22.4	29.3	29.1	
SODIO	mg/l	159	74	53.6	191	116.1	131	97.2	94	115.7	
CALCIO	mg/l	60	53.5	60	95.5	52.6	134	78	43	73.45	
MAGNESIO	mg/l	22.0	23	32.5	34.9	20.1	33.5	20.7	18	25.28	
PLOMO	mg/l	0.0120	0.0097	0.0391	0.0117	0.0055	0.0039	0.0019	0.0042	0.0243	
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$9 \times 10^8$	$1 \times 10^{11}$	$2.8 \times 10^9$	$2 \times 10^9$		$\geq 2.4 \times 10^7$	$207.5 \times 10^7$	$2.8 \times 10^7$	$3.4 \times 10^{19}$	
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$9 \times 10^8$	$4.6 \times 10^{10}$	$2.1 \times 10^9$	$7 \times 10^8$			$4.3 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$	$8.29 \times 10^{19}$	

TABLA 8		RESULTADOS ANALITICOS				INFILTRACIONES RESA ENDO.				PROMEDIO
ESTACION 7		FECHAS ESTIAJE				FECHAS AVENIDAS				
PARAMETROS	unidades	3 MAYO	19 MAY.	1 JUN	28 JUN	14 JUL	26 JUL	9 AGO	23 AGO	
TEMP. AMBIENTE	°C	33	32		25	1		21.5	20	25.58
TEMP. AGUA	°C	21	22		21			22	20	21.2
PH		8.5	8.1	3	3.2	7.8		8.1	8.3	8.14
G Y A	mg/l	257	2	7	8	4.2		114	1	57.6
SOLIDOS SUSP. TOT.	mg/l	20	16	3	5	30		22	32	19.1
SOLIDOS DISUELT. TOT.	mg/l	574	525	582	520	530		476	505	544.9
SULFATOS	mg/l	45	12	32	45	3		42	174	50.57
FENOLES	mg/l		0.001	0.001	0.001	0.003		0.013	0.188	0.035
CLORUROS	mg/l	54	44	50	61	29		50	59	49.57
OXIGENO DISUELTO	mg/l	1.1	2.6	2.0	1.6	1.2		0	2.8	1.61
D B O	mg/l	8	2	2	5	10		5	3	5.14
D Q O	mg/l	20	5	10	20	25		10	5	13.6
FOSFATOS	mg/l	2.64	2.21	0.01	0.01	0.01		0.01	0.01	0.7
S A M	mg/l	0.01	0.04	0.01	0.01	0.016		0.01	0.01	0.015
CONDUCTIVIDAD	mg/l	770	792	770	770	782		756	776	773.7
POTASIO	mg/l	24.3	29.4	20.2	25	21.4		25.4	33.5	24.3
SODIO	mg/l	52	45.2	21	187	60.5		57.4	47	67.3
CALCIO	mg/l	59	45.3	45.3	79.3	50.5		117	33	63.8
MAGNESIO	mg/l	30.4	25	31.1	38.1	30.6		35.7	33	32.3
PLOMO	mg/l	0.0084	0.005	0.0169	0.0052	0.0015		0.0024	0.1322	0.025
COLIFORMES TOTAL	NMP/100ml	$2.4 \times 10^{11}$	$3.9 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$	$2 \times 10^3$			$4 \times 10^3$	$4.3 \times 10^1$	$4 \times 10^{10}$
COLIFORMES FECAL	NMP/100ml	$2.4 \times 10^{11}$	$2.3 \times 10^4$	$4.5 \times 10^4$	$3 \times 10^3$			$3 \times 10^3$	$3.3 \times 10^1$	$4 \times 10^{10}$
* VALOR MUY GRANDE NO REPRESENTATIVO.										

(111.40)

TABLA 9

CALIDAD DEL AGUA-

PARAMETRO	ESTACION							UN
	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	
Ca	371.3	1310	2133.3	1710.3	1380.3	1391	776	1
SST	223	146	90.5	79	35	34.5	12.5	2
SDT	687.5	852.5	1489.5	1287.5	907.5	879.5	575.5	2
DBO	391.8	132.8	137	84.8	68.8	69.3	4.5	2
DQO	543.3	123.3	212.3	169.5	106.5	107.5	13.8	2
Na	105.1	108.4	234.3	181.1	141	121.9	76.6	2
Ca	49	75.7	98	93.8	70.9	70	57.2	2
Mg	17.2	30.5	40	37.7	17	28.3	31.5	2
COLI TOT	$4 \times 10^{10}$	$6 \times 10^{10}$	$4 \times 10^{10}$	$5 \times 10^{10}$	$12 \times 10^9$	$2.5 \times 10^{10}$	$4 \times 10^{10}$	3
COLI FEC	$2 \times 10^9$	$6 \times 10^{10}$	$1.5 \times 10^{10}$	$92 \times 10^9$	$17 \times 10^9$	$1.2 \times 10^{10}$	$6 \times 10^{10}$	3
Cl	28	28.1	37.7	33.1	40.1	30.1	33.1	2
Na	4.58	4.71	10.12	8.22	6.13	5.30	3.32	4
Ca	1.99	3.82	4.89	4.67	3.53	3.49	2.85	4
Mg	1.42	2.50	4.11	2.76	1.39	2.32	2.59	4
K	1.02	1.96	2.5	2.39	1.81	1.29	1.46	4
RAS	3.51	2.64	4.8	4.26	3.9	3.11	2.01	
CLASIFIC	C <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> S <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> S <sub>4</sub>	
DBO/DQO	0.72	0.68	0.64	0.5	0.64	0.63	0.32	

LLM.

- 1 mmhos/cm
- 2 mg/l.
- 3 nmp/100 ml
- 4 me/l

(III. 41)

TABLA 10

## CALIDAD DEL AGUA-

PARAMETRO	LLUVIAS							UN
	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	
Ca	850.8	623.8	1110.5	838.3	877	927.5	771.3	1
SST	252	1070.3	1315	1309.5	82.9	38	28	2
SDT	599	407.8	759	661	574.5	604.5	504	2
DBO	151.5	51.5	101.5	125	24.5	31	6	2
DQO	256.3	166	355	239.5	96.3	70.3	9.6	2
Na	86.3	78.9	100.4	76.6	92.7	109.6	54.9	2
Ca	53.05	57	80.82	54.23	59.5	76.9	72.5	2
Mg	18.75	13.53	19.45	17.3	27	22.3	33.1	2
COLI TOT	$17 \times 10^{13}$	$8 \times 10^{20}$	$6 \times 10^{13}$	$1 \times 10^{19}$	$2.7 \times 10^8$	$5.2 \times 10^7$	$4.8 \times 10^4$	3
COLI FEC	$17 \times 10^{15}$	$3.5 \times 10^{17}$	$2.4 \times 10^{17}$	$1 \times 10^{19}$	$3.2 \times 10^8$	$3.2 \times 10^7$	$4.8 \times 10^4$	3
K	26.13	20.2	28.47	22.66	23.83	26	26.8	2
Na	3.8	3.43	4.36	3.28	4.03	4.76	2.39	4
Ca	2.61	2.84	4.38	2.70	2.96	3.83	3.61	4
Mg	1.54	1.11	1.59	1.42	2.21	1.83	2.72	4
K	0.66	0.51	0.72	0.57	0.60	0.66	0.68	4
RAS	2.52	2.44	2.52	2.28	2.50	2.82	1.34	
CLASIFIC	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>							
DBO/DQO	0.59	0.31	0.28	0.52	0.28	0.44	0.62	

L.L.M.

- 1 mmhos/cm
- 2 mg/l.
- 3 nmp/100 ml
- 4 me/l

TABLA 11

## CALIDAD DEL AGUA-

PARAMETRO	ANUAL							UM
	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Ca</b>	911	966.9	1522.0	1323.8	1131.1	1159.3	733.7	1
<b>SST</b>	487.5	608	703.8	524.3	3.8	35.3	19.1	2
<b>SDT</b>	613.3	635.1	1124.3	942.3	711	742	544.9	2
<b>DBO</b>	271.6	92.1	119.3	104.9	45.6	45.6	5.14	2
<b>DQO</b>	339.3	179.6	283.5	204.5	100.1	38.9	13.6	2
<b>Na</b>	25.8	93.6	167.4	105.9	116.8	115.7	67.3	2
<b>Ca</b>	46.5	66.8	92.9	74.0	75.2	73.5	63.8	2
<b>Mg</b>	18.0	22.0	34.7	25.5	13.2	25.7	32.7	2
<b>COLI TOT</b>	$1.7 \times 10^{13}$	$378 \times 10^{20}$	$4 \times 10^{19}$	$5.11 \times 10^{18}$	$1.9 \times 10^{17}$	$1.4 \times 10^{17}$	$4 \times 10^{10}$	3
<b>COLI FEC</b>	$1.0 \times 10^{13}$	$4 \times 10^{19}$	$2.0 \times 10^{19}$	$5.9 \times 10^{18}$	$9 \times 10^{17}$	$2.9 \times 10^{17}$	$4 \times 10^{10}$	3
<b>K</b>	25.1	24.2	30.6	27.9	27.3	28.1	24.3	2
<b>Na</b>	4.16	4.07	7.28	4.6	5.08	5.03	2.93	4
<b>Ca</b>	2.32	3.33	4.63	3.69	3.25	3.66	3.19	4
<b>Mg</b>	1.48	1.81	2.85	2.09	1.49	2.07	2.66	4
<b>K</b>	0.64	0.61	0.78	0.71	0.69	0.71	0.62	4
<b>RAS</b>	3.01	2.54	3.76	2.7	3.29	2.97	1.66	
<b>CLASIFIC</b>	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	
<b>DBO/DQO</b>	0.67	0.51	0.42	0.79	0.48	0.55	0.45	

LLM

- 1 mmhos/cm
- 2 mg/l.
- 3 nmp/100 ml.
- 4 me/l

#### IV. USO DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual efluente de la ciudad de México es utilizada, prácticamente en su totalidad en el riego de los distritos 088, 003, 027 y 100.

Con esta medida se han liberado volúmenes de aguas subterráneas anteriormente utilizadas en el riego agrícola, con lo que a la fecha se destinan como recurso para el consumo humano en la ciudad de México.

El riego en todos los casos se lleva a cabo por medio de canales y aplicación superficial por gravedad. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos es la encargada de administrar el recurso y proporcionar a los usuarios las láminas autorizadas con el fin de optimizar su uso.

Los cultivos más comunes en la zona son: el maíz, avena forrajera, alfalfa, chile, frijol y otros.

No obstante el control existente, por lo general, las láminas de riego establecidas, no son respetadas, el riego se realiza sin ninguna de las prácticas sanitarias recomendadas e inclusive, se siembran cultivos para consumo humano como es el tomate, chile y calabaza, mismos que pueden ser fuente importante de transmisión de enfermedades gastrointestinales.

La población que habita en el área de influencia de los distritos de riego es eminentemente rural y en general no cuenta con servicio de agua potable. Al introducirse las aguas residuales en el área de los distritos de riego se contaminaron todos los cuerpos de agua de buena calidad, por lo que al no contar con aguas de primer uso, se ven en la necesidad de utilizar aguas contaminadas en actividades primarias como es el lavado de ropa y el abrevadero.

#### IV.1 REMOCION DE CONTAMINANTES EN LA PREBA ENDHO.

Debido a la disminución en la capacidad del embalse y a la total cobertura de malezas acuáticas, es muy difícil lograr determinar con exactitud el tiempo de retención, no obstante, de acuerdo a cálculos y estimaciones realizadas se puede considerar como tiempo de retención promedio, un mes en época de estiaje y mes y medio en temporada de lluvias.

Durante este tiempo el agua experimenta una serie de transformaciones físicas, químicas y biológicas, por medio de las cuales se presenta una reducción en la concentración de las sustancias contaminantes presentes en el agua, como a continuación se explica.

El agua llega al embalse con cierta velocidad, que al entrar al remanso disminuye notablemente lo que provoca que las partículas suspendidas arrastradas por el río se sedimenten produciendo una remoción media de sólidos suspendidos de 94.78 %.

Entre los procesos que suceden durante el tiempo de residencia los mas importantes son:

- Las partículas de mayor tamaño se precipitan hacia el fondo atrayendo a otras de menor tamaño.

- El agua de la presa se encuentra en estado anaeróbico por lo que los microorganismos son del mismo tipo y son los que degradan la materia orgánica y parte de la inorgánica.
- Las condiciones existentes no son aptas para la sobrevivencia de algunos microorganismos debido a la disminución de materia orgánica, sólidos suspendidos y la ausencia de oxígeno, por lo que la mayor parte de estos mueren.
- Existen procesos de oxidación que reducen la presencia de sustancias inorgánicas como son los metales pesados.
- Según bibliografía, el lirio acuático actúa como un desionizador de las aguas residuales. La presa Endho se encuentra cubierta en sus 1200 Ha por plantas acuáticas de este tipo, lo que implica una reducción en el contenido de materia orgánica e inorgánica. No obstante al encontrarse sin ningún control y precipitarse al fondo del embalse a su muerte se provoca un círculo vicioso de eutroficación y una pérdida de volúmen por el incremento de azolves.
- La presa Endho presenta grandes pérdidas, debido a las infiltraciones existentes a través de la cortina y del lecho permeable del río. Esta situación provoca una recarga del acuífero y un flujo recuperable aguas abajo en forma de manantiales.

Los manantiales producto de las infiltraciones fluyen presentando una calidad bastante buena y una gran remoción de contaminantes debido a su paso através de la matriz del suelo.

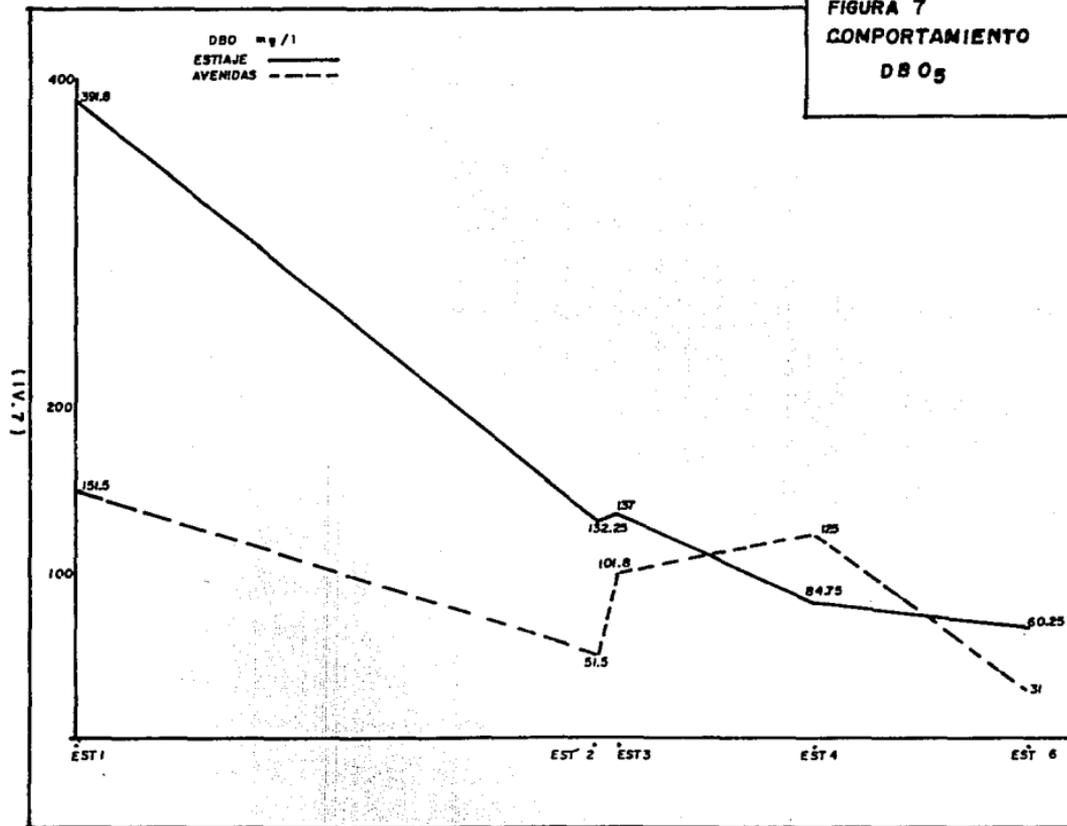
De la figura 7 a la 11 se puede observar el comportamiento y concentración de algunas sustancias a lo largo de su recorrido en la presa. Así mismo en la tabla 12 se anotan las eficiencias de remoción de contaminantes en la presa Endho en comparación con otros sistemas de tratamiento, de donde se concluye que esta presa funciona como un sistema de tratamiento biológico con alta eficiencia, la cual podría ser mayor si el agua se encontrara en condiciones aeróbicas.

Cabe hacer notar que la remoción de contaminantes en las aguas efluentes de los manantiales, en todos los casos supera el 90 %, lo que le confiere características similares de un tratamiento avanzado.

Es claro pensar que la calidad del agua del embalse varíe de acuerdo a la profundidad. Para ilustrar esta situación, de la figura 12 a la 14 se muestran los perfiles de concentración.

De la observación de las figuras mencionadas, se puede concluir que de acuerdo a los parámetros analizados el punto en donde se encuentra el agua de mejor calidad es a 2 m de profundidad y que en la mayoría de los casos el agua de peor calidad es la superficial.

FIGURA 7  
COMPORTAMIENTO  
DB O<sub>5</sub>



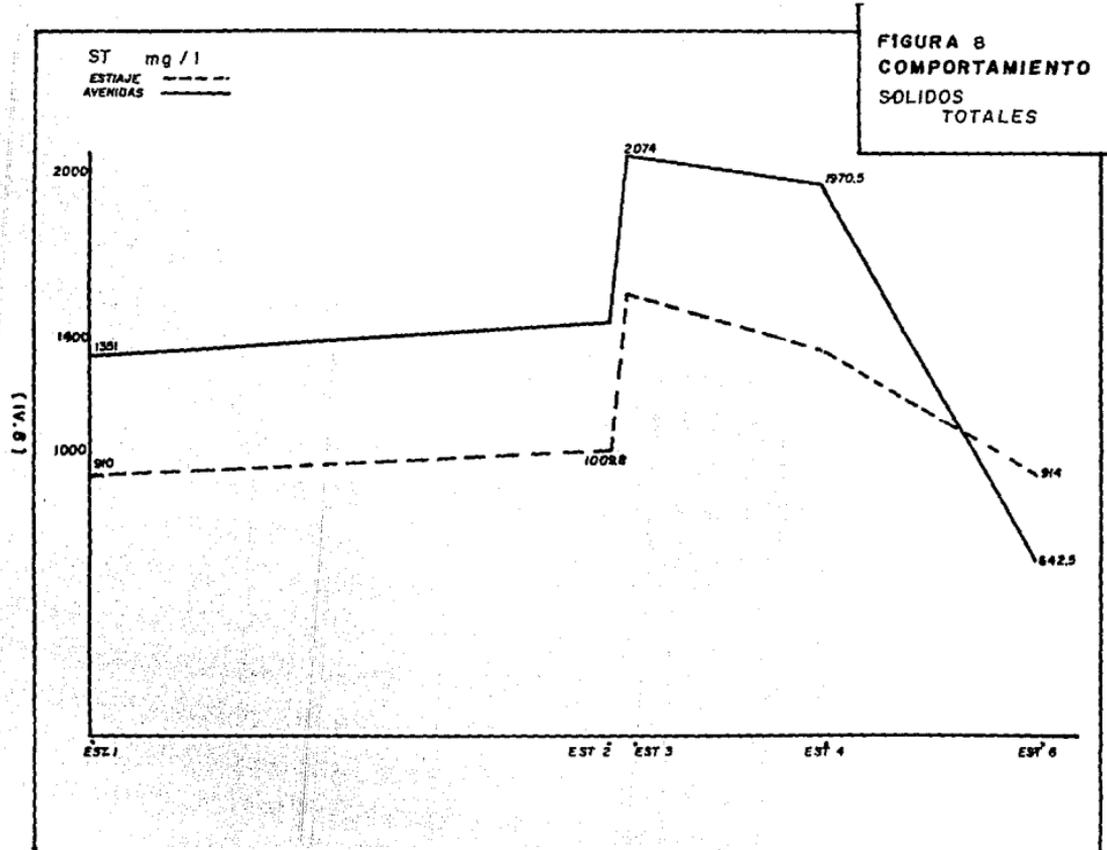


FIGURA 8  
 COMPORTAMIENTO  
 SOLIDOS  
 TOTALES

FIGURA 9  
COMPORTAMIENTO  
SOLIDOS  
SUSPENDIDOS

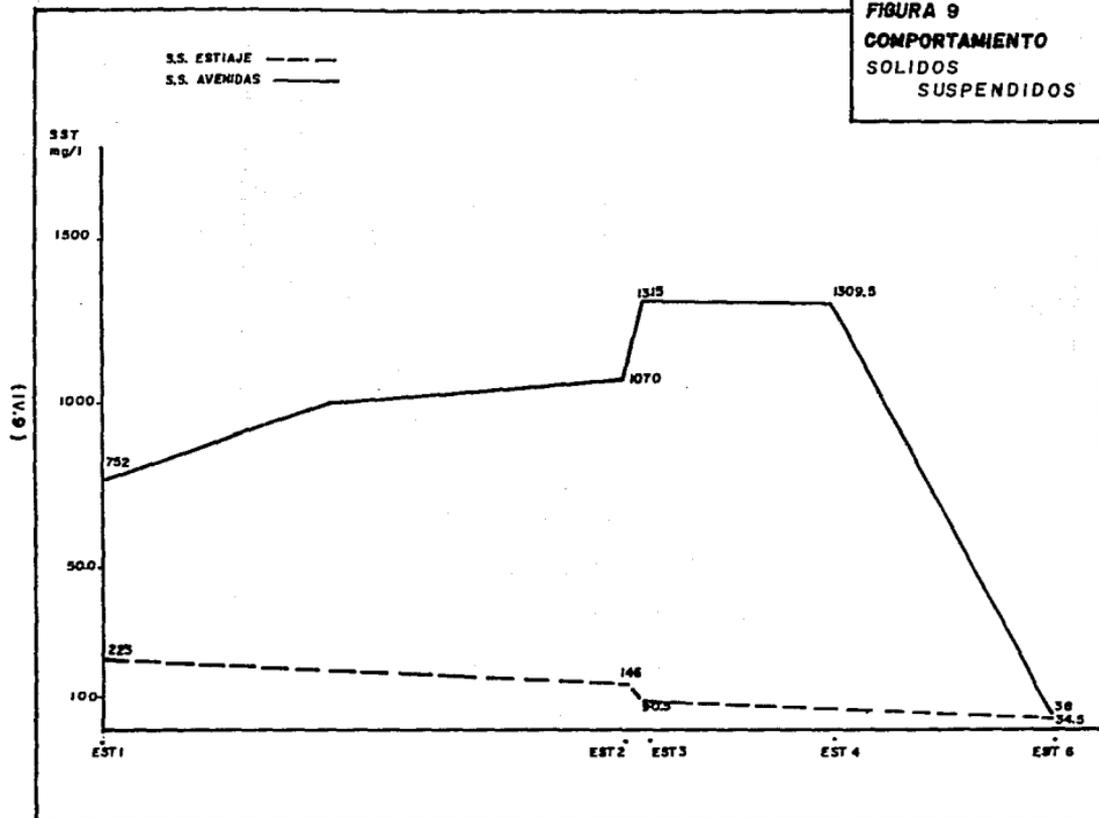
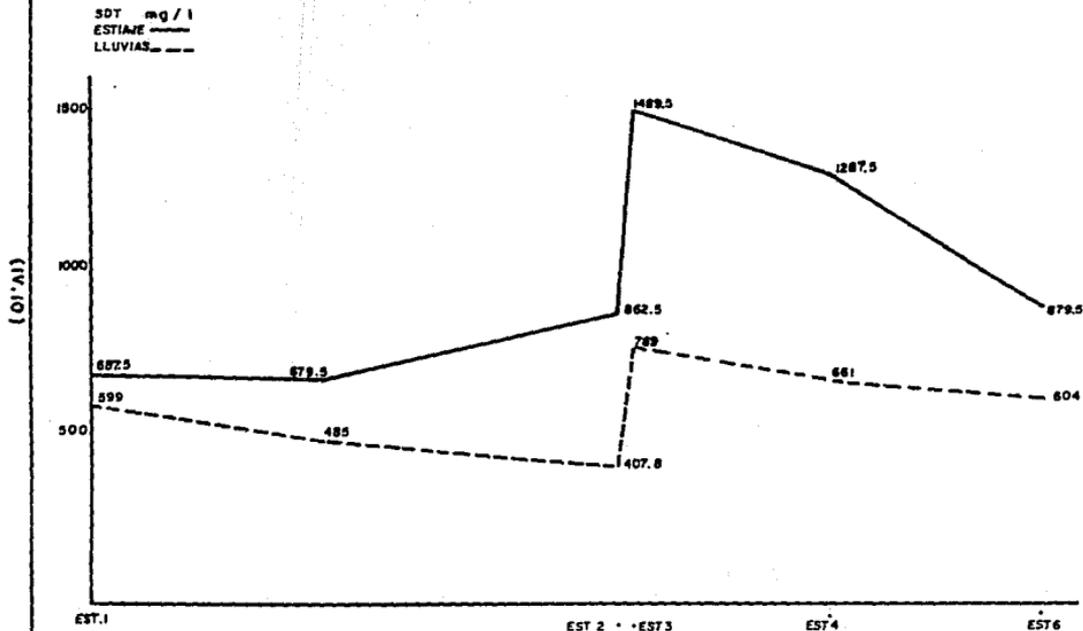


FIGURA 10  
COMPORTAMIENTO  
SOLIDOS DISUELTOS



(11.11)

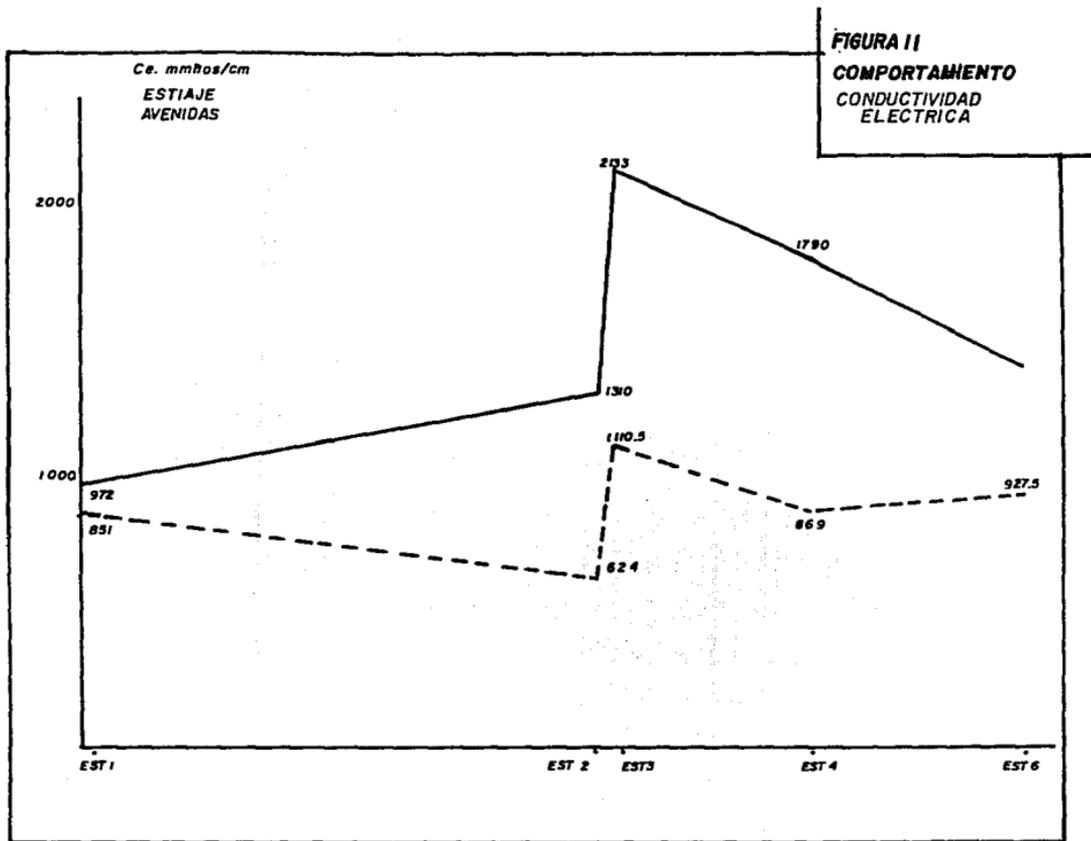


FIGURA 12

PERFIL

D B O

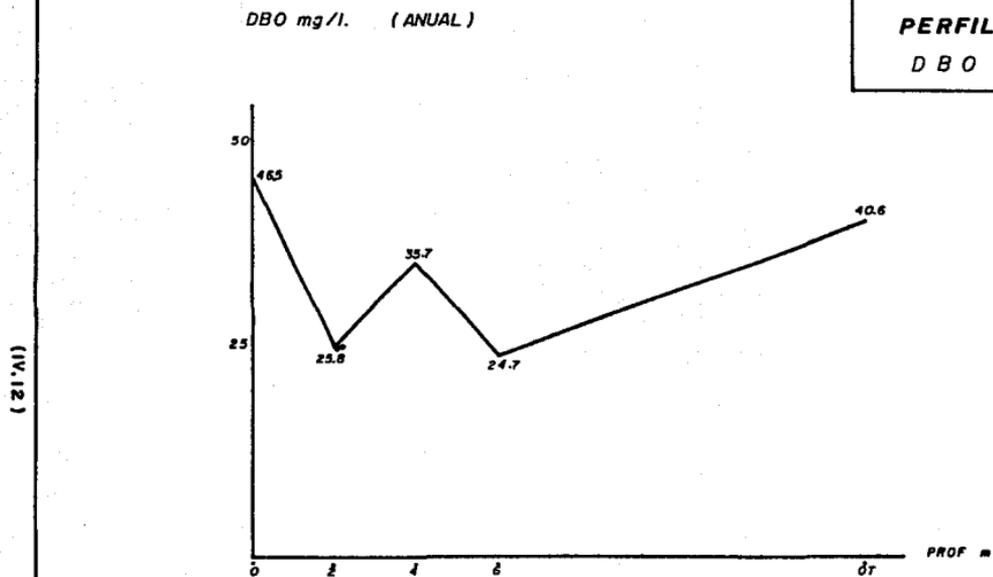
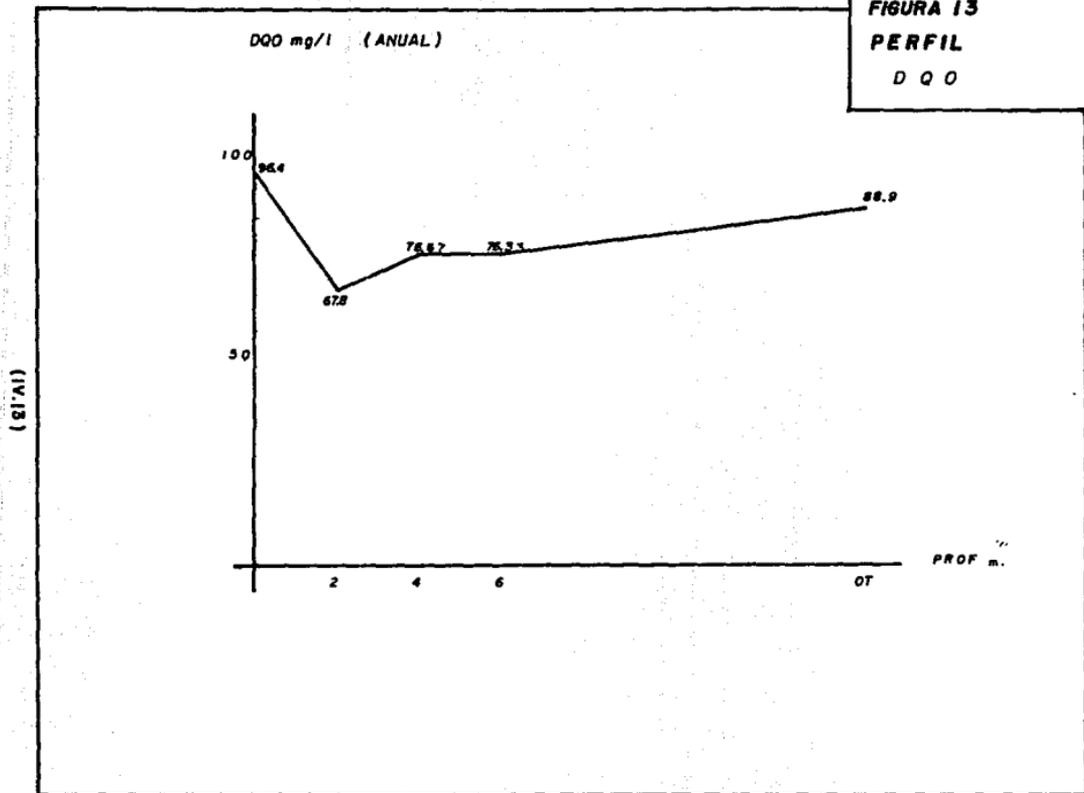


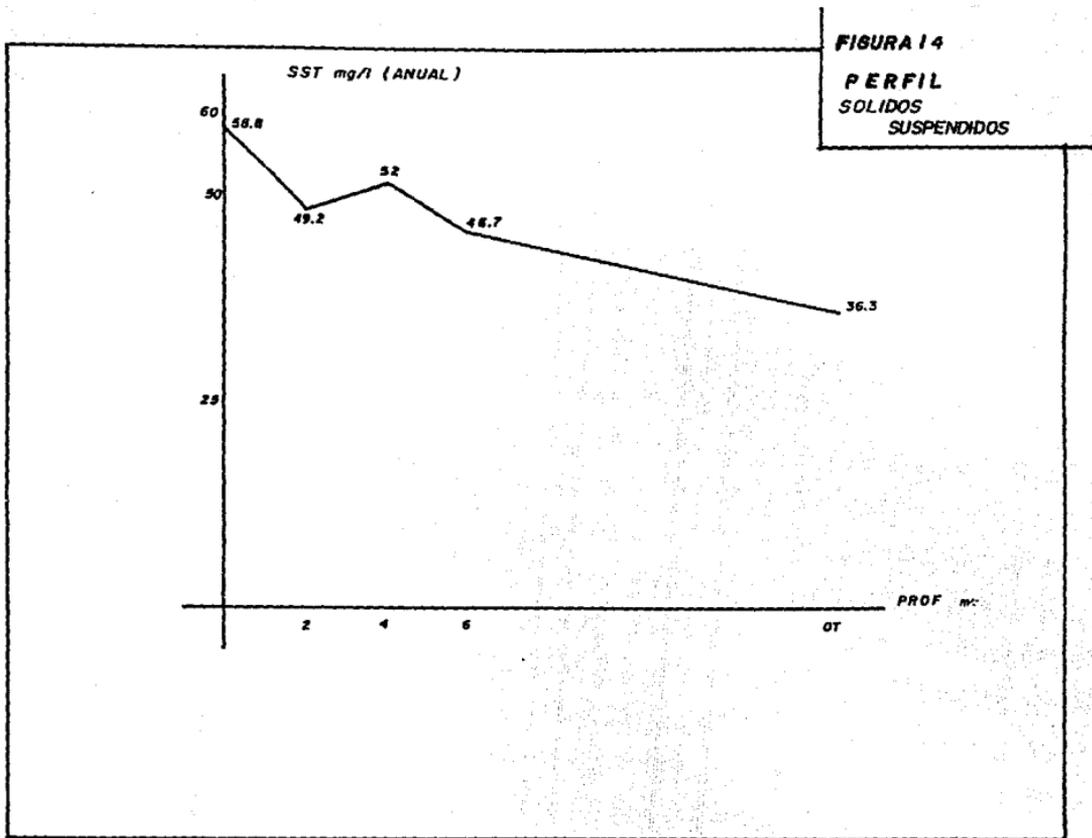
FIGURA 13

PERFIL

D Q O



(19.14)



**TABLA 12 EFICIENCIAS DE REMOCION EN LA PRESA  
ENDHO**

PARAMETRO		INFLUENTE - EFLUENTE		INFLUENTE- FOT		INFLUENTE- FOT (2 m)		INFLUENTE-MANANTIAL	
		EST 4 - EST 6		EST 4 - EST 5		EST 4 - EST 5 (prof.)		EST 4 - EST 7	
DBO	CONCENTRAC. mg/l	104.9	48.83	104.9	48.83	104.9	25.8	104.9	5.14
	% REMOISION	53		56		75		95	
DQO	CONCENTRAC. mg/l	204.5	88.9	204.5	96.38	204.5	67.8	204.5	13.6
	% REMOISION	57		53		67		93	
SST	CONCENTRAC. mg/l	694.3	36.3	694.3	58.8	694.3	49.2	694.3	19.1
	% REMOISION	95		92		93		97	
COLIFORMA FECAL	CONCENTRAC. NMP/100ml	$5.9 \times 10^8$	$8.3 \times 10^9$	$4 \times 10^8$	$8.9 \times 10^9$			$9.9 \times 10^8$	$4 \times 10^{10}$
	% REMOISION	> 99.9999				> 99.9999		> 99.9999	

(S'AI)

#### IV.2 EFECTOS DEL USO DEL AGUA RESIDUAL

En la ciudad de México, la cantidad de agua residual, producto de la descarga industrial y del drenaje urbano es de aproximadamente 3'000,000 de l/min los cuales son conducidos junto con las aguas pluviales a la cuenca del río Tula, lugar donde han sido utilizadas en irrigación por espacio de mas de 70 años.

El uso de aguas negras para el riego, produce por ejemplo, contaminación de tipo fecal, por lo que las verduras regadas de esta manera pueden provocar enfermedades gastrointestinales. Aún en los casos en que los productos cosechados no esten en contacto directo con las aguas residuales y que además sean cocidas, no dejan de tener la probabilidad de causar enfermedades.

La conceptualización legal de aguas negras, dice que es un liquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario, o de cualquier indole ya sea público o privado y que por tal motivo ha sufrido degradación en su calidad original.

La probabilidad de que el reuso de estas aguas pueda contaminar el suelo, las legumbres y fuentes de abastecimiento de agua es alta y con ello el riesgo de afectar la salud de la población.

Para determinar los efectos en la salud pública, la contaminación biológica es la que con mayor facilidad se puede correlacionar y determinar en laboratorio, es por ello que la mayor parte de los estudios realizados en este campo se enfocan de esta manera.

En el año de 1980 se realizaron los estudios sobre los "Efectos en la salud pública del reuso de aguas residuales en el distrito de riego 003 zona poniente de Tula, Hgo." sitio en que se riega con aguas residuales, así como en el municipio de Jilotepec, Mor., que se riega con aguas naturales.

A través de un muestreo intensivo de las aguas y de las clínicas de salud de la población afectada y su análisis estadístico se concluyó que:

- El problema de la contaminación del agua está íntimamente relacionado con el problema de escases de agua; por un lado las fuentes de abastecimiento están siendo agotadas por el

consumo irracional; por otro, el uso indiscriminado de las aguas residuales está ocasionando o agravando la problemática de salud.

- Se comprobó que durante el periodo 1975-1979 se incrementó la incidencia de enfermedades gastrointestinales, en general, y en particular de la amibiasis.
- Existe materia fecal en norias y pozos de abastecimiento público lo que complica el problema ya que hasta hace poco tiempo se consideraba que estas fuentes estaban a salvo de contaminación.
- El aislamiento específico de la amibiasis en las fuentes de abastecimiento corrobora la razón e incremento de este padecimiento en la población.
- Al comparar el incremento de la contaminación del agua como se observa en los análisis de las aguas negras que se utilizan para riego en Tula, Hgo., con el incremento de casos de amibiasis en la misma población, nos damos cuenta de que ha habido un aumento de esta enfermedad a través de los años en que se ha incrementado el riego con estas aguas.
- Hay mayor riesgo de padecimiento de amibiasis en la región donde se riega con aguas negras.

Otros efectos del reuso del agua residual se pueden observar en la agricultura.

El valle del Mezquital antes de la introducción de las aguas residuales era una zona semiárida con escasas corrientes superficiales y con suelos pobres de alta pedregosidad.

Con la introducción de estas aguas se han ido formando suelos orgánicos por la gran cantidad de lodos depositados por medio del riego.

Por otra parte las aguas residuales son, prácticamente, la única fuente segura de agua en la zona por lo que a la introducción de éstas se cuenta con un volúmen seguro del recurso, el cual ha permitido desarrollar una de las más importantes zonas de riego en el país.

## V. REUSO DEL AGUA RESIDUAL COMO UN RECURSO

El reuso del agua en la agricultura ha demostrado ser un sistema muy eficiente para renovar el agua residual efluente de concentraciones urbanas, sobre todo en casos donde se manejan grandes volúmenes de agua residual y el agua de primer uso es escasa.

En este capítulo se proponen una serie de medidas sanitarias necesarias para que pueda ser tomado en cuenta el reuso del agua en el valle del Mezquital como un sistema de tratamiento y de aprovechamiento integral de aguas residuales en la agricultura, ya que ésta ha comprobado ser la alternativa más viable.

El suelo es un sistema en que se presentan mecanismos de tratamiento. Al igual que en los cuerpos de agua, con el uso de aguas residuales, se liberan volúmenes de agua de primer uso, por lo que con un adecuado manejo de estos sistemas se pueda colaborar grandemente a reducir los problemas de contaminación aguas abajo, sin embargo, la implantación de las siguientes medidas sanitarias y de operación es indispensable:

- Aguas Residuales Industriales.-

Tratar estas aguas residuales antes de su descarga a los sistemas de alcantarillado, ya que contienen sustancias que inhiben los procesos de autodepuración y pueden ser tóxicas a suelos y cultivos.

- Descargas Clandestinas.-

Evitar descargas clandestinas en los emisores, fuera del área metropolitana del valle de México, con el fin de aprovechar al máximo los mecanismos de autodepuración de los cuerpos receptores.

- Conducción.-

Una vez que el agua es entregada a los distritos de riego, deberá ser conducida por los canales primarios y secundarios hasta las regaderas por medio de canales recubiertos para evitar pérdidas y contaminación por la infiltración de estas aguas fuera de los campos agrícolas.

- Presas como Sistemas de Tratamiento.-

Tomando en cuenta que las presas funcionan como verdaderos sistemas de tratamiento y que el agua estratifica su calidad, es necesario contar con obras de toma deslizantes con el fin de aprovechar el agua de mejor calidad. Adicional a estas compuertas, manejar el lino acuático mediante cosechas de acuerdo a su tasa de crecimiento podrá

colaborar a proporcionar un agua de mejor calidad y disminuir el azolve por precipitación del lirio muerto y el consecuente círculo de eutroficación.

- Mínimo Efluente.-

Mediante una programación integral, uso de aguas de reserva y manejo de láminas de riego adecuadas se podrá contar con cero efluente, un uso total del agua residual, lo que dará como resultado mínima contaminación aguas abajo de la zona de riego excepto por el agua que fluye como manantiales, producto de la recarga, misma que es de una calidad bastante buena debido a los mecanismos de remoción existentes através de la matriz de suelo. Para que esto funcione adecuadamente, se deberá evitar que las aguas residuales agrícolas ( de retorno agrícola ) sean descargadas a cuerpos de agua naturales y manantiales con el fin de evitar su contaminación.

- Descargas Locales.-

Es de suma importancia evitar que las aguas industriales y municipales de CFE, PEMEX, cementos Cruz Azul y ciudad de Tula se continuen descargando de la misma forma al río, ya que es claro que estas fuentes de contaminación disminuyen en gran medida el poder de autodepuración y dilución del río, proporcionando un efluente de una calidad mucho mas baja a la que podría descargar la presa Endho.

#### - Fertilización.-

Aceptando que el uso del agua residual en la agricultura ofrece la ventaja del aprovechamiento de los macro y micro nutrientes, presentes en estas aguas, por los cultivos regados, a continuación se realiza un balance de nutrientes aportados al suelo por las aguas efluentes del emisor central y de la presa Endho ; se relacionan con el suelo en donde se aplican con el fin de determinar las necesidades de fertilización para un manejo adecuado del sistema.

Debido a la ubicación geográfica de las fuentes antes mencionadas, las series de suelos regadas con las calidades de agua considerada son las de Tepatepec y Progreso, de las cuales en la tabla #13 se indican las características de los suelos.

Los cultivos seleccionados para el análisis fueron el maíz y alfalfa los cuales cubren aproximadamente un 75 % del área considerada.

Durante su desarrollo las plantas requieren láminas netas de riego de 136 cm para el alfalfa, 88 cm para el maíz de primavera y 54 cm el maíz de verano. El volumen de agua requerido por hectárea es de 13,000 m<sup>3</sup> para el alfalfa, 8800 m<sup>3</sup> para el maíz de primavera y 5400 m<sup>3</sup> el maíz de invierno.

Tomando en cuenta los datos analíticos reportados en las tablas 2 y 7, y los volúmenes regados por hectárea, se obtiene el aporte de nutrientes al suelo, el cual puede observarse en la tabla # 14.

Los cultivos en su desarrollo requieren de cierta cantidad de nutrientes. Sobre esto existen diversos criterios, pero tomando un valor medio, se obtiene que las tasas medias de absorción de nutrientes por la planta son los indicados en la tabla # 15.

Utilizando los datos de las tablas 13, 14 y 15 y sustituyéndolos en la fórmula se obtiene:

$$\text{DISPONIBILIDAD} = \text{NS} + \text{NA} - \text{NP}$$

Disponibilidad de nutriente al final del ciclo = nutriente en el suelo + nutriente en el agua - nutriente absorbido por la planta

El balance se realiza por cultivo, tipo de suelo y calidad de agua para riego. Cabe hacer notar que el análisis no es del todo exacto ya que no se toman en cuenta las pérdidas por lixiviación.

Serie Progreso, maíz, agua del emisor central

$$\text{N} \quad 15 \quad + \quad 134.99 \quad - \quad 162 \quad = \quad -12.1$$

P            87.5 + 23.45 - 53 = 57.95  
 K            212.5 + 352.3 - 108 = 456.80

**Serie Progreso, maiz, agua de la presa Endho**

N            15 + 172.94 - 162 = 25.94  
 P            87.5 + 22.93 - 53 = 57.95  
 K            212.5 + 405.92 - 108 = 510.42

**Serie Progreso, alfalfa, agua del emisor central**

N            15 + 246.98 - 210 = 51.98  
 P            87.5 + 22.98 - 50 = 60.48  
 K            212.5 + 340.95 - 199 = 354.45

**Serie progreso, alfalfa, agua de la presa Endho**

N            15 + 151.5 - 210 = -43.5  
 P            87.5 + 21.35 - 50 = 58.85  
 K            212.5 + 382.15 - 199 = 395.66

**Serie Tepatepec, maiz, agua del emisor central**

N            13.3 + 134.99 - 162 = -13.71  
 F            50 + 23.45 - 53 = 20.45  
 K            250 + 352.30 - 108 = 494.30

**Serie Tepatepec, maiz, agua de la presa Endho**

N            13.3 + 172.94 - 162 = 24.24  
 P            50 + 22.93 - 53 = 19.93  
 K            250 + 405.92 - 108 = 547.92

Serie Tepatepec, alfalfa, agua del emisor central

$$N \quad 13.3 + 246.98 - 210 = 50.28$$

$$P \quad 50 + 22.98 - 50 = 22.98$$

$$K \quad 250 + 340.95 - 199 = 391.95$$

Serie Tepatepec, alfalfa, agua de la presa Endho

$$N \quad 13.3 + 151.5 - 210 = -45.20$$

$$P \quad 50 + 21.35 - 50 = 21.35$$

$$K \quad 250 + 382.16 - 199 = 433.16$$

Como puede observarse prácticamente no hay necesidad de fertilización salvo en los casos del maíz regado con aguas del emisor central en donde se requiere adicionar nitrógeno a razón de 13 Kg/Ha/año, y para el alfalfa regada con aguas de la presa Endho 45 Kg/Ha/año. En ambos casos son cantidades muy pequeñas, sin embargo no se deben adicionar con láminas mayores ya que se introducirían fuertes cantidades de fósforo y potasio a los cuerpos receptores, provocando una mayor eutroficación.

- Manantiales.-

Como se pudo comprobar por los resultados analíticos de la muestra #7 (tabla #8) la calidad del agua efluente de los manantiales es excelente, debido a la remoción de contaminantes por su paso a través del subsuelo. sin embargo, esta notable ventaja no es utilizada actualmente

ya que constantemente son adicionados a estos cuerpos de agua volúmenes de agua residual o de retorno agrícola por lo que aguas abajo el agua es de baja calidad.

Es necesario implementar programas de manejo de canales, drenes y cauces, con el fin de respetar estos nuevos cuerpos de agua de buena calidad y aprovecharlos para otros usos como es la acuacultura o el abrevadero.

- Servicios Adicionales.-

Por otro lado es de vital importancia que se proporcione servicio de agua potable, al menos, mediante hidrantes a toda la población ya que actualmente ciertos sectores de ésta que no cuentan con el servicio, o este es deficiente, por lo que se ven obligados a utilizar el agua residual en usos domésticos como es el lavado de ropa o abrevadero.

- Capacitación.-

La concientización y capacitación de todos los sectores de la población al manejo del agua residual, sus ventajas y desventajas deben ser parte integral de los programas agropecuarios en la región así como fomentar zonas amortiguadoras de al menos 200 m de los núcleos urbanos a las zonas de conducción, uso y manejo del agua residual.

**TABLA 13 CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS**

NUTRIENTE	SERIE TEPATEPEC		SERIE PROGRESO	
	CONTENIDO MEDIO	CLASIFICACION	CONTENIDO MEDIO	CLASIFICACION
% M.O.	2.48	MEDIO	3.72	RICO
P (Kg/Ha)	50	RICO	87.50	RICO - MUY RICO
K ( Kg/Ha)	250	MEDIO	212.50	POBRE - MEDIO
N(NH3)(Kg/Ha)	13.3	POBRE - MEDIO	15	POBRE - MEDIO
Mg (Kg/Ha)	20	POBRE - MEDIO	22.5	POBRE - MEDIO
Ca (Kg/Ha)	3333	MUY RICO - EXTRA	2750	RICO - MUY RICO

**TABLA 14 APORTE DE NUTRIENTES AL SUELO**

NUTRIENTE	EMISOR CENTRAL				PRESA ENDHO			
	MAIZ PRIMAVERA	MAIZ VERANO	MAIZ ANUAL	ALFALFA	MAIZ PRIM	MAIZ VER	MAIZ ANUAL	ALFALFA
	P	13.46	9.99	23.45	22.98	18.13	4.8	22.93
K	211.2	141.1	352.3	340.95	265.52	140.4	405.92	382.16
N(NH3)	95.57	39.42	134.99	246.98	136.22	36.72	172.94	151.5
Mg	152.24	101.25	253.49	245.14	248.6	120.42	369.02	343.81
Ca	352	286.47	638.47	632.81	616	415.26	1031.26	998.92

VALORES EN kg/Ha/AÑO

**TABLA 15 TASAS MEDIAS DE ABSORCION**

CULTIVO	NUTRIENTE		
	N	P	K
ALFALFA	210	50	199
MAIZ	162	53	108

EN Kg/Ha.año

## VI CONCLUSIONES.

- El reuso del agua residual presenta grandes ventajas siempre y cuando se realice tomando en cuenta algunas medidas de control y manejo.
- El agua residual proporciona gran parte de los nutrientes que requiere la planta por lo que las necesidades de fertilización son mínimas.
- El agua efluente tanto del emisor central y en especial de la presa Endho presentan eficiencias de remoción de contaminantes muy superiores a las de un tratamiento primario como lo requieren las normas europeas para uso agrícola.
- El agua residual es apta para ser utilizada en los suelos del distrito de riego 003 y 100 así como en cualquier cultivo, exceptuando los de consumo humano directo o que tenga contacto el agua con el fruto, con el objeto de prevenir enfermedades gastrointestinales en la población.
- La presa Endho proporciona un tratamiento similar al secundario a las aguas ahí almacenadas, aunque el agua de mejor calidad que se encuentra dos metros de profundidad no es utilizada, por lo que es conveniente instalar obras de toma deslizantes.

- El agua al fluir através de un suelo similar al distrito de riego 003 recibe un tratamiento y remoción de contaminantes similar al efectuado por una planta de tratamiento avanzado que equivale a eficiencias superiores al 90 %.
- La población puede ser afectada significativamente si no se tienen programas adecuados de concientización y educación.
- La falta de servicios adecuados de agua potable en estas zonas inciden directamente en la salud de los habitantes de éstas.
- El reuso adecuado del agua residual es un sistema factible de implementar en diversas áreas, inclusive en el área metropolitana, lo que redundaría en menor costo de desalojo de agua residual, menor contaminación y saneamiento de la ciudad a través de la reforestación y creación de áreas verdes y agrícolas.

## VII BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. "MANUAL DE AGUAS PARA USOS INDUSTRIALES". ED. LIMUSA, MEXICO, 1982.

LUCERNA B. Y LENTON R. "CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS" CIFCA, MADRID, 1978.

FAIR, BEYER Y OKUN. "PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES". ED LIMUSA, MEXICO, 1981.

S.A.R.H., D.S.U.A.P.C. "APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL RIEGO AGRICOLA". DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION., MEXICO, 1984.

S.A.R.H., D.G.A.C.S.H. "MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CUERPOS RECEPTORES". SUBDIRECCION DE CUERPOS RECEPTORES., MEXICO, 1988.

BONILLA D., CONTRERAS M. Y OLIVA P. "COSTOS DE REMOCION DE MALEZAS ACUATICAS". S.A.R.H., MEXICO, 1985.

S.A.R.H., D.S.U.A.P.C. "REUSO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA, LOS MUNICIPIOS, LA INDUSTRIA Y EN LA RECARGA DE ACUIFEROS" DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION, MEXICO, 1981.

S.S.A. "EFECTOS EN LA SALUD PUBLICA DEL REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO DE RIEGO 003". ESCUELA DE SALUD PUBLICA, MEXICO, 1980.

HILLEBOE H. "MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS"  
ED. LIMUSA, MEXICO, 1984.

S.A.R.H., I.M.T.A. "LEGISLACION FEDERAL EN MATERIA DE AGUAS"  
SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA, MEXICO, 1987.

TECNOLOGIA DEL AGUA S.A. "ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO EN LA INDUSTRIA DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL EMISOR PONIENTE N.Z.T.". GOBIERNO DEL ESTADO DE MEXICO, MEXICO, 1970.

RAMALHO, RUBENS SETTE "INTRODUCTION TO WASTEWATER TREATMENT PROCESSES". ACADEMIC PRESS INC. LONDRES, 1977.

ESCODAR R. "MANUAL PARA EL CONTROL QUIMICO DE MALEZAS ACUATICAS". DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION. MEXICO, 1980.

EQUIHUA Y BENITEZ B. "DINAMICA DE LAS COMUNIDADES ECOLOGICAS"  
ED. TRILLAS, MEXICO, 1983

B.M.I.S.A.A.C. "MEMORIAS DE IV CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA". MEXICO, 1984.

CONTRERAS M. Y OLIVA P. "PREBAS DE ALMACENAMIENTO COMO UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL REUSO AGRICOLA". S.A.R.H., DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION, MEXICO, 1984.

CANTU G. Y CONTRERAS M. "REUSO Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES EN RIEBO AGRICOLA EN MEXICO" S.A.R.H., DIRECCION GENERAL DE USOS DEL AGUA Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION, MEXICO, 1985.

CASTELLANOS L. Y OLIVA P. "ESTUDIO DE LOS MECANISMOS DE REMOCION EN LA PRESA ENDAHO", S.A.R.H., INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA, MEXICO, 1985.

S.A.R.H. "EL USO DE COLIFORMES COMO INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA"., CENTRO DE ESTUDIOS ECOLOGICOS DE ACAPULCO, MEXICO, 1982.

S.M.I.S.A.A.C. "MEMORIAS DEL V CONGRESO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL". MEXICO, 1986.

S.A.R.H. "MEMORIAS DEL SEMINARIO PARA LA PLANEACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS". MEXICO, 1983.

U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR "WATER MEASUREMENT MANUAL". U.S.A., 1974.

S.A.R.H., D.B.D.U.R. "CARACTERISTICAS DE DISTRITOS Y UNIDADES DE RIEGO". DIRECCION GENERAL DE UNIDADES DE RIEGO. MEXICO, 1978.

OLIVA P. "ESTUDIO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA PRESA ENDHO". S.A.R.H., SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO.,MEXICO, 1984.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA