

01177  
2  
24

ALTERACION DE LA CALIDAD DEL AGUA  
EN EL CAUCE DE LA BARRANCA TLAHUAPAN  
POR EFECTO DE LA DESCARGA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE ECCACIV.

CLEMENTINA RITA RAMIREZ CORTINA

TESIS

Presentada a la División de Estudios de  
Posgrado de la  
FACULTAD DE INGENIERIA  
de la  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
como requisito para obtener  
el grado de  
MAESTRO EN INGENIERIA  
(AMBIENTAL)

CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

	PAG.
RESUMEN	
1. INTRODUCCION.	1
1.1. OBJETIVOS.	4
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.	4
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.	4
1.2. ALCANCES.	5
1.3. LIMITACIONES.	6
2. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA.	7
2.1. SITUACION PREVIA A ECCACIV.	9
2.1.1. GIROS INDUSTRIALES.	10
2.1.2. BARRANCAS RECEPTORAS.	16
2.2. DESCRIPCION DE ECCACIV.	20
2.2.1. SISTEMA COLECTOR.	21
2.2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO.	27
3. ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA PREVIOS A ECCACIV.	32
3.1. PRIMERA ETAPA DEL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC.	33
3.2. SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC.	40
3.3. OTROS ESTUDIOS.	49

4. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO.	53
4.1. ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA.	54
4.1.1. ESTACIONES DE MUESTREO.	55
4.1.2. PROGRAMA DE MUESTREOS.	58
4.1.3. PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.	60
4.2. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.	61
4.2.1. CAMPOS AGRICOLAS.	62
4.2.2. RENDIMIENTOS AGRICOLAS.	64
4.2.3. ENCUESTA.	65
5. RESULTADOS.	71
5.1. RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA.	71
5.1.1. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE CONTAMINACION.	72
5.1.2. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD AGRONOMICA.	86
5.2. RESULTADOS RELACIONADOS CON EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.	97
5.2.1. INFORMES DE LOS RENDIMIENTOS AGRICOLAS.	97
5.2.2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA.	109
6. ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS.	114
6.1. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA.	115
6.1.1. CALIDAD DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO.	116

6.1.2. VARIACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SU RECORRIDO POR LA BARRANCA TLAHUAPAN.	137
6.1.3. CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA.	147
6.1.4. COMPARACION DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUES DE LA CREACION DE ECCACIV.	155
6.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS RELACIONADOS CON EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.	162
6.2.1. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RENDIMIENTOS AGRICOLAS.	163
6.2.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA.	171
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	173
BIBLIOGRAFIA.	182
APENDICE	186

## 1. INTRODUCCION

El desarrollo industrial en el estado de Morelos tuvo un gran impulso en los años sesentas con la creación de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, lo cual propició la diversificación de empresas instaladas en la zona. Paralelamente al desarrollo industrial, al crecimiento urbano y a la prosperidad económica, se presentaron los problemas asociados con la falta de control de los desechos industriales y en poco tiempo los habitantes de la zona resintieron los efectos de la contaminación.

En particular, los desechos líquidos industriales de CIVAC se colectaban en tres drenajes principales para disponer las aguas residuales sin ningún tratamiento en los arroyos, por donde escurrían siguiendo las pendientes naturales de la cuenca. De esta forma los efectos negativos por la falta de control de las aguas residuales se esparcían por toda la zona, provocando condiciones insalubres para los habitantes, contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, y afectando en forma particular el uso común del agua de los arroyos en las prácticas agrícolas. Por otra parte, el marco jurídico para controlar la contaminación ambiental se estableció por primera vez en México con la Ley Federal Para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, Ley que se promulga el 23 de marzo de 1971. Dos años después, el 29 de marzo de 1973 se

publicó el Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua.

Esta legislación le sirvió de base al Gobierno del Estado y a la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para hacer frente a los problemas de contaminación en el Valle de Cuernavaca. Los estudios preliminares se iniciaron en 1972, obteniéndose como resultado un proyecto para el tratamiento conjunto de las aguas residuales industriales y domésticas, que abarcara el área industrial y parte de la zona urbana, considerándose este proyecto como un distrito para el control de la contaminación del agua.

El proyecto consistió en el diseño y construcción de un sistema colector de las aguas residuales y de una planta de tratamiento, implicando un tipo de administración conjunta con representantes de los gobiernos estatal y municipal, y del sector industrial. Con ese objetivo se constituyó el distrito de control como una empresa descentralizada del estado denominada Empresa para el Control de la Calidad del Agua en el Valle de Cuernavaca, mejor conocida por las siglas de ECCACIV, formalmente establecida en 1975.

Los estudios previos a la construcción de ECCACIV sirvieron para caracterizar la calidad de las aguas residuales en los principales cuerpos receptores, siendo éstos las barrancas Tlahuapan, La Gachupina, la de Rivetex y la del Rastro Municipal. También se definió el mejor sitio para construir la planta de tratamiento, en base a la

morfología del terreno, se eligió el municipio de Jiutepec, Mor. junto a la barranca Tlahuapan, lo cual permitiría hacer llegar las aguas residuales por gravedad a la planta de tratamiento.

La barranca Tlahuapan, por su localización, recibía las aguas residuales de dos de los grandes colectores de CIVAC y algunas descargas domésticas, que seguían su recorrido cruzando el poblado de Jiutepec, el de Emiliano Zapata, algunas áreas de propiedad privada y los campos agrícolas de la zona, por lo cual resultaba ser uno de los sitios importantes donde abatir la contaminación.

En enero de 1979 se iniciaron las operaciones de la planta de tratamiento, tal como se proyectó la planta se localiza en el municipio de Jiutepec, Mor. y recibe las descargas de CIVAC y de otras industrias importantes situadas en la cercanía, además de las aguas residuales domésticas de diversos fraccionamientos. El efluente tratado se descarga a la barranca Tlahuapan donde se mezcla con aguas de origen doméstico y de retorno agrícola.

Dada la importancia histórica que representa el primer distrito de control de la contaminación del agua, se consideró importante en este estudio evaluar hasta que grado ha sido útil el distrito de ECCACIV para mejorar la calidad del agua y cual ha sido su influencia en la agricultura, para ésto se centraron los objetivos en el estudio de la calidad del agua de la Barranca Tlahuapan.

## 1.1. OBJETIVOS

Los objetivos se definen primero de manera general, presentando así la intención global que se tiene al realizar este estudio. A su vez, el objetivo general abarca diversos aspectos que dan lugar a los objetivos específicos

### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el impacto de ECCACIV en la calidad del agua de la barranca Tlahuapan.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1) Evaluar el impacto que ocasiona el efluente de la planta de tratamiento de ECCACIV en la calidad del agua de la barranca Tlahuapan, determinando la capacidad de asimilación de la barranca y su recuperación, mediante un estudio de calidad del agua.

2) Evaluar la influencia del distrito de ECCACIV en la calidad del agua de la barranca Tlahuapan, comparando la calidad que tenía antes de la creación del distrito, con los resultados obtenidos en este estudio.

3) Evaluar el impacto de ECCACIV en la agricultura, relacionando los rendimientos agrícolas de la zona antes y

después del inicio de operaciones de la planta de tratamiento. Así mismo, investigar la aceptación del agua para uso agrícola.

## 1.2. ALCANCES

Determinar el grado de contaminación del agua de la barranca Tlahuapan, antes y después de recibir el efluente de la planta de tratamiento y en su recorrido hasta su confluencia con el río Apatlaco.

Evaluar el cambio que presenta la calidad del agua de la barranca Tlahuapan después de la creación del distrito de ECCACIV.

Determinar si el agua de la barranca Tlahuapan que se usa para riego, cumple con las normas recomendadas para el uso agrícola.

Determinar el nivel de aceptación que tiene el agua de la barranca Tlahuapan para uso agrícola, e investigar alguna relación entre la calidad del agua y los rendimientos de los cultivos.

### 1.3. LIMITACIONES

El impacto del distrito de ECCACIV sobre la Barranca Tlahuapan se determinó en relación con la calidad del agua atendiendo a sus características fisicoquímicas y bacteriológicas, sin incluir el análisis de otros parámetros como pudieran ser los biológicos o el contenido de compuestos orgánicos sintéticos. Las determinaciones se hicieron en muestras simples colectadas mensualmente de agosto de 1982 a diciembre de 1983, en diferentes puntos de la barranca y dos canales de riego.

Se utilizaron únicamente cuatro parámetros fisicoquímicos, DBO, DQO, SDT y pH, para establecer alguna diferencia con la calidad del agua que se tenía antes de la creación de ECCACIV.

El impacto de ECCACIV en la agricultura se refiere únicamente a la calidad del agua que llega a los campos de cultivo y su relación con las normas de calidad para uso agrícola. Al relacionar los rendimientos agrícolas con el inicio de operaciones de la planta de tratamiento se usó la información disponible a partir de 1977 y se comparó con los rendimientos del período 1982-83. La opinión de los campesinos sobre el uso del agua para riego se obtuvo mediante entrevistas exclusivas de la gente que se encontró trabajando en el campo.

## 2. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA

El Valle de Cuernavaca se localiza al sur de Distrito Federal en el Estado de Morelos; está limitado al este por la ciudad de Cuernavaca, al oeste por Tepoztlán, al sur por Tejalpa y al norte por la autopista México-Cuernavaca; cubre un área de 5000 ha, y abarca básicamente los municipios de Cuernavaca, Huitzilac y Tepoztlán. El valle se localiza en la parte petrográfica más joven del país, y consiste principalmente de rocas y formaciones volcánicas; su altitud sobre el nivel del mar está entre 1350 y 2200 metros.

En esta zona predomina un clima excelente todo el año, la temperatura media anual es de 20.7 °C y el promedio mensual más alto ocurre durante los meses de abril y mayo, llegando hasta 23 °C. La precipitación media anual en la región es de 1061 mm y el 85 % se registra en el período de junio a septiembre.

La vegetación consiste en el remanente de jungla caducifólea, que originalmente cubría las suaves pendientes y las áreas rocosas del valle. Este tipo de vegetación no es particularmente usual en bosques, sin embargo ha tenido muchos cambios a causa de la agricultura, y algunas tierras que, en otros tiempos, estuvieron cubiertas de espesa vegetación, actualmente producen altos rendimientos de diversos cultivos.

Hidrológicamente, el área presenta una red de corrientes

perennes e intermitentes, que descargan su flujo al río Apatlaco. Este río, a su vez, es un importante afluente del río Amacuzac, ubicado al suroeste del Estado de Morelos y que sirve de límite físico entre este estado y el de Guerrero. Las fuentes para el abastecimiento de agua en el valle de Cuernavaca son abundantes, puesto que además de las corrientes superficiales se tienen excelentes fuentes de agua subterránea.

La economía de la región se ha basado tradicionalmente en la agricultura y el turismo y en las dos últimas décadas en la industria, que recibió un gran impulso con el proyecto de la Ciudad Industrial (CIVAC). Estas actividades compiten por el uso del agua, siendo los principales el abastecimiento público, la agricultura y la industria. Todos los usuarios contribuyen en diferentes proporciones al problema de la contaminación de las corrientes superficiales receptoras de las descargas residuales, donde aumentan la concentración de materiales tóxicos, materia orgánica, sólidos, fertilizantes y plaguicidas.

En base a la distribución geográfica de las descargas de aguas residuales es posible establecer una clara definición de zonas. Desde este punto de vista, la zona más importante en el valle es la que corresponde a la Ciudad Industrial y sus alrededores. A continuación se hace una breve descripción de la situación que prevalecía en esa zona antes de la creación del distrito de ECCACIV y,

posteriormente, se hace una descripción del propio distrito.

## 2.1. SITUACION PREVIA A ECCACIV

Los problemas de contaminación originados por los desechos industriales se manifestaron principalmente en los cuerpos de agua receptores de las descargas, debido a que se limitaba su uso agrícola en algunos cultivos que resultaban afectados por la mala calidad del agua. La inadecuada disposición de las aguas residuales también motivó quejas de los habitantes aledaños a los arroyos, por el desagradable aspecto y malos olores. La inconformidad de los habitantes de la región se acentuó en el año de 1973 debido a la disposición de desechos sólidos industriales en un pozo de absorción, comunicado geológicamente con el manantial San Gaspar. Esta situación provocó la contaminación de las aguas del manantial, fuente de abastecimiento de agua potable para cinco poblados.

La aparición de estos problemas motivó la intervención de las autoridades federales y locales, que iniciaron estudios de calidad del agua formales, para evaluar la situación y analizar alternativas de control. Los primeros estudios realizados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos datan de 1972 y permiten conocer con detalle la planta industrial existente, así como las principales

características de las descargas. Además, se obtuvo la calidad del agua en los principales ríos de la cuenca y sus afluentes.

En los siguientes subtemas se hace un resumen de los diversos giros industriales existentes en esa época y una descripción de las barrancas receptoras de las aguas residuales industriales.

#### 2.1.1. GIROS INDUSTRIALES

En 1973 la Ciudad industrial del Valle de Cuernavaca se encontraba en su primera etapa de desarrollo, con una superficie urbanizada de 400 hectáreas. El 50% de esta superficie estaba destinada a la industria y el resto a zonas habitacionales y comerciales. El proyecto de crecimiento de CIVAC contaba con 1100 ha más, para una segunda y tercera etapas. Estos planes de desarrollo industrial se tomaron en cuenta al diseñar el distrito para el control de la contaminación de las aguas residuales.

En esa época CIVAC contaba con 19 industrias instaladas y otras 17 se encontraban ubicadas en las zonas aledañas. La relación de industrias de CIVAC se presenta en la Tabla 2.1 y se indica el ramo industrial de cada una, predominando las de productos farmacéuticos, textiles, químicos y automotrices.

En la Tabla 2.2 se presentan las 17 industrias

instaladas cerca de CIVAC, dos de ellas dependientes del Estado: los Depósitos de PEMEX y el Rastro Municipal. El porcentaje de los diversos giros industriales establecidos en ese año se muestra en la Tabla 2.3, donde se observa que predominaban las industrias textil con un 28 % y las industrias Química y Farmacéutica con un 25 por ciento.

La diversidad de las industrias existentes originaron descargas de aguas residuales de muy variada composición. Las aguas residuales generadas en CIVAC se colectaban mediante un sistema de drenaje combinado, con tres colectores principales que conducían las descargas hasta cauces naturales. En los arroyos el agua escurría siguiendo la pendiente del terreno hasta los municipios vecinos a Cuernavaca, donde era aprovechada en los campos agrícolas.

Los drenajes naturales por donde escurrían las aguas residuales industriales eran: la barranca de Rivetex, la del Rastro Municipal, la Gachupina y la barranca Tlahuapan, también conocida como Puente Blanco.

En el Plano 2.1 se representa la zona industrial del Valle de Cuernavaca en 1973 y en él se indican la localización de CIVAC y sus tres grandes colectores de aguas residuales, la ubicación de las industrias aledañas a CIVAC y de las cuatro principales barrancas receptoras de las descargas.

TABLA 2.1 INDUSTRIAS LOCALIZADAS EN CIVAC, MOR. EN 1973.

NOMBRE	RAMO
Química Mexama, S.A.	Productos químicos
Nissan Mexicana, S.A.	Armadora de autos
Orsabe, S.A.	Productos farmacéuticos
Química Morelos, S.A.	Productos farmacéuticos
Laboratorios Julian, S.A.	Productos farmacéuticos
Esquím, S.A.	Productos químicos
Crema Ponds, S.A.	Productos de belleza
Ks. de Morelos, S.A.	Productos de plástico
Refacciones Textiles Suero, S.A.	Refacciones textiles
Refrigeración de Morelos, S.A.	Fábrica de hielo
Tamacani, S.A.	Fábrica de alfombras
Poligal Mexicana, S.A.	Fábrica de hilos
Electrocap, S.A.	Fábrica de capacitores
Telegabinetes de México	Fábrica de muebles
Coloide Mexicana, S.A.	Partes automotrices
Erge, S.A.	Taller eléctrico
Stehedco, Mex., S.A. de C.V.	Refacciones textiles
Manufacturera Gráfica Mexicana	Productos químicos para las artes gráficas
Veco, S.A.	Fábrica de equipo industrial

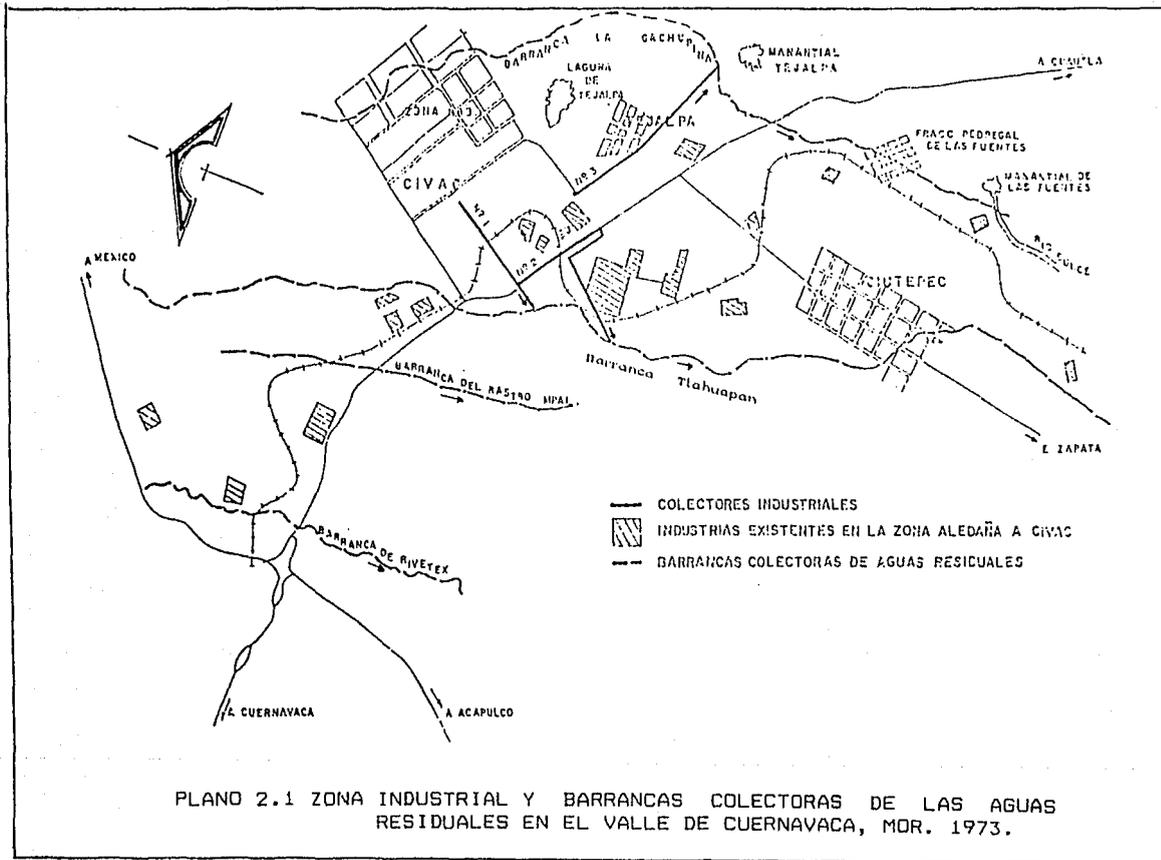
TABLA 2.2 INDUSTRIAS ESTABLECIDAS EN LA ZONA ALEDANA  
A CIVAC, MOR. EN 1973

Grupo Industrial Interamericano RIVETEX (Textil).  
Almacenes Nacionales de Depósito de PEMEX.  
Rastro Municipal.  
Hilados Morelos, S.A. (Textil).  
Cementos Moctezuma, S.A.  
Paksa, S.A. (Productos de celulosa).  
Mosaicos Venecianos, S.A.  
Aves de México, S.A.  
Industria Automotriz de Cuernavaca, S.A.  
Casa de los Gallos, S.A. (Estampado de telas).  
Nobilis Lees, S.A. de C.V. (Fábrica de alfombras).  
Cerillera Morelense.  
Textiles de Morelos, S.A. de C.V.  
(Unidad Jiutepec).  
Cal Morelos, S.A.  
Up John, S.A. (Antibióticos).  
Syntex, S.A. (Productos químicos).  
Textiles del Valle de Cuernavaca.

---

TABLA 2.3 GIROS INDUSTRIALES PREDOMINANTES EN 1973

	Num. de Ind.	%
Química y Farmacéutica	9	25
Metalúrgica y Acabado de metales	4	11
Textil	10	28
Celulosa	1	3
Plástico	1	3
Electrónica	1	3
Materiales de construcción	3	8
Cárnicos	2	5
Otros (hielo, muebles, cerillos, etc.)	5	14
TOTAL	36	100



## 2.1.2. BARRANCAS RECEPTORAS.

Los estudios para la caracterización de las aguas residuales incluyen un registro de las industrias, con lo cual se puede conocer el origen de las aguas residuales que llegaban a cada uno de los cuerpos receptores.

A la barranca Rivetex se vertían las descargas de la colonia Flores Magón y los desechos industriales de las fábricas Rivetex e Industria Automotriz de Cuernavaca; mientras que el Rastro Municipal descargaba sus aguas residuales a la barranca del mismo nombre.

La barranca Tlahuapan recibía las descargas industriales de Packsa S.A., Mosaicos Venecianos S.A. y de los Almacenes Nacionales de Depósito de PEMEX; aguas abajo descargaban los colectores I y II de CIVAC, con las aportaciones de las aguas residuales de las industrias que ha continuación se relacionan.

Por el colector I:

Química Mexama S.A.

Esquim S.A.

Laboratorios Julian S.A.

Crema Ponds S.A.

Cristianson S.A. de C.V. (descarga prevista).

Por el colector II:

Nissan Mexicana S.A.

Syntex S.A.

Textiles del Valle de Cuernavaca

Descarga municipal de Tlahuapan

Laboratorios Lepetit S.A. (descarga prevista).

Aguas abajo de la descarga del colector II llegaban, a la barranca Tlahuapan, las aportaciones de los desechos líquidos de las fábricas: Nobilis Lees S.A. de C.V., Up-John S.A., Cementos Moctezuma S.A. y las aguas residuales del fraccionamiento Los Tarianes.

La barranca La Gachupina recibía las descargas residuales de la zona habitacional de CIVAC y de las siguientes industrias:

Ks de Morelos S.A.

Refacciones Textiles Suero S.A.

Refrigeración de Morelos.

Orsabe S.A.

Tamacani S.A.

Polígal Mexicana S.A.

Electrocap, S.A.

Telegabinetes de México.

Aves de México, S.A.

Coloide Mexicana, S.A.

Erge S.A.

Stehedco Mex. S.A. de C.V.

Manufacturera Gráfica Mex.

Veco S.A.

La misma barranca recibía, a la altura del poblado de Tejalpa, la descarga del colector III con las aportaciones del mismo poblado y de la Industria Química Morelos, S.A.

Aguas abajo, la Gachupina recibía, a cielo abierto, los desechos de las fábricas Hilados Morelos S.A. y Casa de los Gallos S.A..

La fábrica Textiles de Morelos S.A. de C.V., Unidad Jiutepec, descargaba sus aguas residuales al río Dulce, formado por las aguas de la barranca La Gachupina y del manantial Las Fuentes o San Gaspar.

Con el fin de estimar los caudales vertidos a cada una de las barrancas y la carga orgánica medida como demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, se elaboró la Tabla 2.4, con datos publicados en los primeros estudios de calidad del agua. En dicha tabla se puede observar que la barranca Tlahuapan recibía un total de  $15016 \text{ m}^3/\text{d}$  de aguas residuales, con un contenido de DQO de  $42.791 \text{ ton/d}$  y de SST de  $5.058 \text{ ton/d}$ . Por su parte, la barranca La Gachupina recibía un caudal de  $6167 \text{ m}^3/\text{d}$ , una DQO de  $5.562 \text{ ton/d}$  y una carga de SST de  $1.345 \text{ ton/d}$ . Para la barranca Rivetex se estimó un caudal de  $1762 \text{ m}^3/\text{d}$ , una DQO de  $0.506 \text{ ton/d}$  y los SST en  $0.215 \text{ ton/d}$ . No se encontraron datos para la barranca del Rastro.

Los resultados de la Tabla 2.4 muestran que la barranca Tlahuapan recibía la mayor cantidad de aguas residuales industriales y en segundo lugar La Gachupina. Los caudales más importantes resultaron provenir de los tres colectores de CIVAC.

TABLA 2.4 VALORES PROMEDIO DE LAS DESCARGAS  
VERTIDAS EN LAS BARRANCAS

BARRANCA	DESCARGA	GASTO m <sup>3</sup> /d	DQD Ton/d	SST Ton/d
TLAHUAPAN				
	Colector I	10195	31.961	3.731
	Colector II	3888	10.256	1.015
	Packsa S.A.	138	0.146	0.037
	Mosaicos Venecianos	95	0.004	0.003
	Nobilis Lees	328	0.041	0.039
	Up-Jhon	216	0.039	0.209
	Cementos Moctezuma	156	0.014	0.024
	TOTAL:	15016	42.791	5.058
LA GACHUPINA				
	Colector III	3801	3.134	1.120
	Refrigeración de Mor.	130	0.011	0.010
	Orsabe S.A.	432	1.279	0.031
	Poligal Mex. S.A.	544	0.544	0.068
	Electrocap S.A.	60	0.022	0.004
	Veco S.A.	60	0.007	0.006
	Hilados Morelos	181	0.097	0.019
	Textiles de Mor.	959	0.468	0.087
	TOTAL:	6167	5.562	1.345
RIVETEX	Fábrica Rivetex	1762	0.506	0.215
DEL RASTRO	El Rastro	Sin datos.		

Nota: Sólo se tienen datos de las industrias más importantes.

## 2.2. DESCRIPCION DE ECCACIV

Un Distrito para el Control de la Contaminación del Agua normalmente consiste de una agrupación de empresas ubicadas dentro de una zona que facilita la aplicación de medidas de control de la contaminación del agua. El Distrito es una empresa descentralizada del gobierno estatal, con un organismo administrador que se encarga de planear, construir y operar las obras de recolección, conducción, tratamiento y disposición de las aguas residuales de las industrias afiliadas. Los responsables de las descargas que utilizan el servicio pagan una cuota al organismo administrador, de acuerdo a la cantidad y calidad de las aguas residuales descargadas. El importe de las cuotas permite que el Distrito sea autosuficiente.

El primer distrito para el control de la calidad del agua, ECCACIV, quedó formalmente establecido en 1975. Este abarca una amplia zona en el Valle de Cuernavaca, Mor., que incluye la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca y las industrias aledañas, así como los poblados cercanos que cuentan con red de alcantarillado. Estos últimos aportan aguas residuales de origen doméstico a la planta de tratamiento.

Dos partes importantes que integran el Distrito son el sistema de recolección de las aguas residuales y la planta de tratamiento, por lo que se hace una somera descripción de ellos en los siguientes subtemas.

### 2.2.1. SISTEMA COLECTOR

ECCACIV cuenta con una amplia red de colectores para captar las descargas de la mayor parte de la zona industrial y conducir las hasta la planta de tratamiento construida en el municipio de Jiutepec, Mor.

El sistema colector de las aguas residuales quedó constituido por dos interceptores denominados Rivetex y Gachupina, con una longitud aproximada de 3.2 y 6.5 Km, respectivamente. Ambos se unen a un emisor de 2.2 Km que conecta con la planta de tratamiento. Las aguas que se generan en CIVAC, antes de ser descargadas al ramal Gachupina, se colectan por un sistema de alcantarillado separado, que forma parte de las obras del Distrito, con una longitud aproximada de 3 Kilómetros [11].

El diseño del sistema colector se hizo tomando en cuenta la integración futura al Distrito de industrias y fraccionamientos cuya construcción estaba contemplada, a corto plazo. Se consideró un factor de seguridad mínimo de 2, para la relación de la capacidad máxima del conducto entre el caudal máximo. El diámetro de los tubos varió de acuerdo a los caudales acumulados esperados, siendo en el origen de las descargas de 30 cm, en la primera parte de los interceptores de 45 cm, en la segunda parte de los interceptores que conectan con el emisor de la planta de tratamiento de 60 cm y el propio emisor de 76 centímetros. Se emplearon tuberías de concreto simple para los diámetros

de 30 a 60 cm, de acuerdo con las especificaciones ASTM C-40-70. La tubería de 76 cm se instaló de concreto reforzado, sujeta a las especificaciones ASTM C-76-70. La sección de las tuberías se calculó de manera que con el gasto máximo el agua pueda escurrir sin presión interior. Además, se calculó un tirante para gasto mínimo tal, que permita arrastrar las partículas sólidas en suspensión, pudiendo como mínimo alcanzar el valor de 1 cm en casos excepcionales, y en casos normales, 1.5 centímetros.

Las características hidráulicas para el interceptor Rivetex, considerando el diseño original de 6.5 Km, indican que la capacidad máxima del tubo lleno varía de 155 a 1500 lps, mientras que el escurrimiento máximo calculado varía de 24 a 569 lps y por otro lado, el escurrimiento mínimo varía de 1.85 a 140 litros por segundo. El cálculo hidráulico para el interceptor Gachupina muestra una capacidad máxima del tubo lleno de 385 a 1000 lps y un escurrimiento máximo de 88 a 260 lps, con un escurrimiento mínimo de 7.79 a 53 litros por segundo.

En el Plano 2.2 se muestra el área que abarca el distrito de ECCACIV, indicando la localización de CIVAC y de algunas industrias, así como la red principal del sistema colector de las aguas residuales y la ubicación de la planta de tratamiento. El interceptor Rivetex estaba construido en un 50 % del diseño original, conectado a los colectores I y II, sin llegar a la industria Rivetex. En 1983, la planta de tratamiento colectaba las aguas

residuales de las 64 industrias que se presentan en la Tabla 2.5, y recibía, además, las aguas residuales domésticas provenientes de los poblados de Tlahuapan y Tejalpa, de los fraccionamientos Villas del Descanso, Pedregal las Fuentes y La Palma, así como de las unidades habitacionales del INFONAVIT: Las Rosas e Insurgentes.

Todas las descargas conectadas a la planta de tratamiento, incluyendo las aguas de origen doméstico, aportan un caudal promedio de 180 litros por segundo. Este caudal tiene muy poca variación diaria. La diversidad de industrias y la falta de un pretratamiento en el lugar de origen de las aguas residuales, permiten llegar a la planta de tratamiento desechos de composición extremadamente variable; sin embargo, las aguas residuales de origen doméstico aportan un 25 % del caudal del influente, por lo cual es posible mantener el proceso biológico y amortiguar, por dilución, los cambios bruscos en la composición de los desechos industriales.

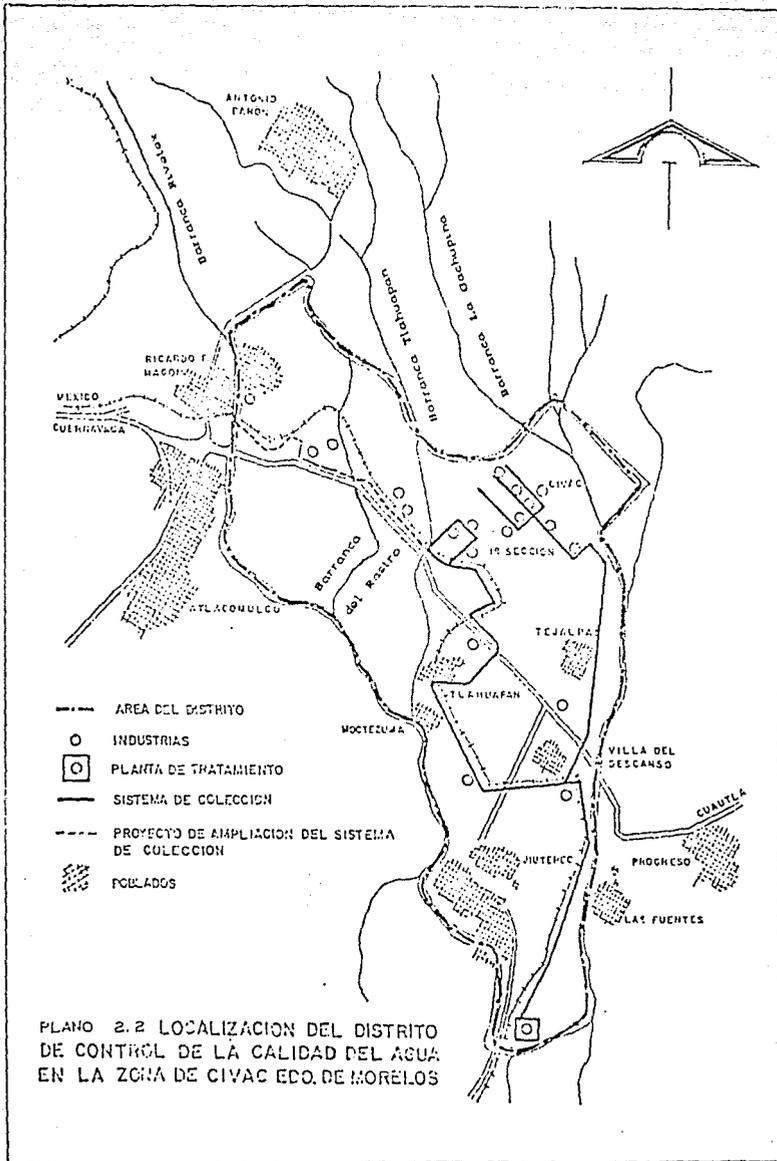


TABLA 2.5 INDUSTRIAS CONECTADAS A ECCACIV EN 1983

1. AHS/México, S.A. de C.V.
2. Aluplast, S.A. de C.V.
3. Alucaps.
4. Autoservicio El Dorado, S.A.
5. Avios para telares, S.A. de C.V.
6. Banco Nacional de México.
7. Beecham de México, S.A. de C.V.
8. Bodega de Leche Alpura.
9. Cables Automotrices, S.A.
10. Cementos Portland Moctezuma, S.A.
11. Cerámica Tauro.
12. Cerillera Morelense, S.A.
13. Christianson, S.A. de C.V.
14. Coloide Mexicana, S.A.
15. Colorante Xochi, S.A.
16. Dominics, S.A. de C.V.
17. Dos Osos, S.A.
18. Equipos IEM, S.A.
19. Emaprim.
20. Erge, S.A.
21. Esquim, S.A. de C.V.
22. Fibrolub.
23. Givaudan de México, S.A.
24. Gráfica Industrial Mexicana, S.A. de C.V.
25. Granjas Avícolas Roxana, S.A.
26. Hilagasa, S.A.
27. Industrial Blaju, S.A.
28. Industria Fiesta de Morelos, S.A.
29. Industrias Maki, S.R.L. de C.V.
30. Industrias Parrmal, S.A.
31. Infra del Sur, S.A.
32. KS de Morelos, S.A.

TABLA 2.5 CONTINUACION

33. Laboratorios Imperiales, S.A.
  34. Laboratorios Julian de México, S.A.
  35. Laboratorios Lepetit, S.A. de C.V.
  36. Motel La Herradura.
  37. Multi Kemm, S.A.
  38. Metal Kemm, S.A.
  39. Nacional Algodonera, S.A.
  40. Nissan Mexicana, S.A. de C.V.
  41. Nobilis Lees, S.A. de C.V.
  42. Noriega y del Blanco, S.A.
  43. Orsabe, S.A. de C.V.
  44. Ostionería el Crucero.
  45. Plastikem, S.A.
  46. Plásticos Científicos, S.A. de C.V.
  47. Poligal Mexicana, S.A.
  48. Pond's de México, S.A. de C.V.
  49. Pharma-Tap, S.A. de C.V.
  50. Porcelana de Cuernavaca.
  51. Química de Morelos, S.A.
  52. Química Mexama, S.A.
  53. Raffia, S.A.
  54. Selemex, S.A.
  55. Sistemas y Componentes, S.A.
  56. Syntex, S.A.
  57. Tamacani, S.A.
  58. Telegabinetes de México, S.A.
  59. Textiles San Andrés
  60. Textiles de Morelos, S.A.
  61. Transportadora de Automóviles.
  62. Up-John, S.A. de C.V.
  63. Veco, S.A.
  64. Válvulas Jet.
-

## 2.2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento es de lodos activados de tipo convencional y está integrada por unidades de tratamiento preliminar, primario, secundario y manejo de lodos.

El tratamiento preliminar tiene como función proteger los equipos de las unidades y procesos subsecuentes. Este tratamiento consiste de cribado, desarenado y control de flujo. La planta cuenta con rejillas de limpieza manual que permiten eliminar basuras de material fibroso, plásticos y hules; dos canales desarenadores, también de limpieza manual, para eliminar los sólidos gruesos y arenas que sedimentan rápidamente; y cuenta, además, con un sistema de derivación para desviar el flujo del agua de una o más unidades cuando requieran limpieza o mantenimiento.

Después del tratamiento preliminar el agua pasa al tratamiento primario que consiste en las siguientes operaciones unitarias: sedimentación primaria, separación de grasas y aceites, regulación de flujo, homogeneización y preaeración. Siguiendo el flujo del agua, después del desarenador pasa a dos tanques rectangulares de sedimentación primaria, equipados con rastras de madera, que separan las grasas y aceites que flotan en la superficie del agua, al mismo tiempo que arrastran los sólidos sedimentados en el fondo de los tanques hasta las tolvas. Los lodos colectados se extraen de las tolvas y se conducen al tanque de almacenamiento de lodos para su

tratamiento. El efluente de los sedimentadores primarios pasa a los tanques de regulación de flujo, los cuales funcionan como homogeneizadores, iniciándose en ellos el proceso de aereación, mediante aereadores mecánicos.

El efluente del tratamiento primario, regulado tanto en su caudal como en su calidad, pasa al tratamiento secundario, que consiste en un proceso de oxidación biológica, seguido de una sedimentación secundaria. El proceso de oxidación biológica lo llevan a cabo microorganismos que continuamente consumen grandes cantidades de materia orgánica, contenida en los desechos líquidos, sintetizándola en nuevo material celular. El remanente de materia orgánica se convierte a productos relativamente estables como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{NH}_3$ . El proceso de lodos activados involucra la aereación de los desechos biológicamente degradables, hasta convertirlos en grandes masas de sólidos sedimentables, formados por microorganismos activos; razón por la cual se les designa como lodos activados. Este proceso se lleva a cabo en el tanque de aereación, equipado con aereadores mecánicos para abastecer el oxígeno necesario. Después de que los microorganismos estabilizan aeróbicamente la materia orgánica, el flujo pasa a dos tanques circulares de sedimentación. Esto permite que los lodos se floculen y sedimenten, produciendo un efluente claro. Una parte de los lodos activados se regresa al tanque de aereación, como semilla para continuar el proceso, y el exceso de lodos se

desecha, pasándolo al tanque de digestión de lodos. Con la sedimentación secundaria se termina el tratamiento de los desechos líquidos, y el efluente se descarga a la barranca Tlahuapan.

La digestión aeróbica de los lodos se lleva a cabo hasta la fase endógena del crecimiento de los microorganismos, para disminuir la masa total de sólidos que se quiere manejar. Este proceso se lleva a cabo en el tanque de digestión de lodos, que cuenta con aereadores mecánicos. Una vez estabilizados los lodos se tiene la opción de pasarlos a lechos de secado, o bien, continuar el tratamiento mediante la adición de polímeros para provocar la coagulación de los lodos y así facilitar su filtración en filtros rotativos. De esta forma los lodos pierden un 40 % de humedad y adquieren una consistencia tal que permite su manejo como residuo sólido y puede ser enviado a relleno sanitario. El tratamiento fisicoquímico se agregó al sistema de tratamiento en 1985.

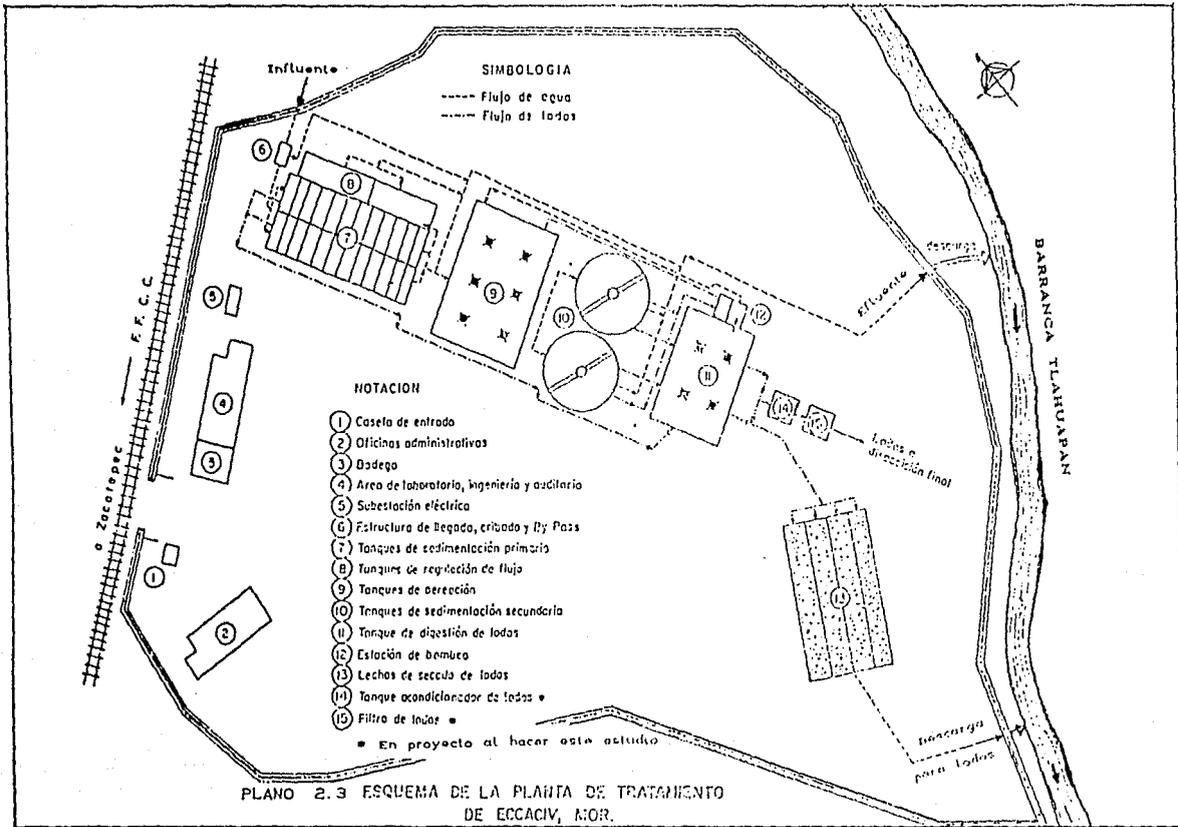
La planta de tratamiento cuenta, además del propio sistema de tratamiento, con instalaciones adecuadas para su administración, operación y mantenimiento, como son: una caseta de entrada, oficinas administrativas, bodega, área de laboratorio, de ingeniería y de auditorio, subestación eléctrica y estación de bombeo.

El terreno donde se localiza la planta de tratamiento es irregular y accidentado, con una área aproximada de 3 ha y una diferencia de altura de 7 m entre el nivel de la red

que alimenta el agua residual y la salida del efluente tratado. La diferencia de altura permite reducir las necesidades de bombeo y favorece la distribución del agua a través de la planta por gravedad.

El diseño original de la planta considera la posibilidad de aumentar su capacidad, de acuerdo a las necesidades futuras, mediante la construcción de módulos de tratamiento. Actualmente opera con un caudal promedio de 180 lps, con tiempos de retención de 2.5 h en los sedimentadores primarios y secundarios, y de 6 h en el tanque de aereación.

En el Plano 2.3 se muestra un esquema de la planta de tratamiento, con las diversas unidades que la conforman. En el mismo se señala el recorrido del agua a través de las diversas operaciones y procesos de la planta, desde su alimentación hasta la descarga del efluente. Igualmente se indica el flujo de los lodos, desde su origen hasta su envío a disposición final. El efluente tratado se descarga a la barranca Tlahuapan, en donde se mezcla con aguas residuales de origen doméstico y agrícola.



### 3. ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AGUA PREVIOS A ECCACIV

La Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación de la SRH, tuvo desde su creación entre sus metas más importantes, el estudio de las principales cuencas del país para determinar sus niveles de contaminación y aplicar el nuevo criterio de condiciones particulares de descarga. En particular, para la zona del Valle de Cuernavaca se tiene un estudio de la cuenca del Alto Amacuzac, realizado en dos etapas, además de otros estudios tendientes a solucionar el problema de la contaminación del agua, mediante la investigación y selección de alternativas de control, que dieron como resultado el diseño del distrito de ECCACIV. Otro estudio relacionado con el reúso del agua se llevó a cabo, parcialmente en su tercera etapa, en la zona agrícola del Valle de Cuernavaca, para investigar los efectos en la agricultura originados por el uso de las aguas residuales industriales.

Los resultados publicados en esos estudios servirán de base para conocer la calidad del agua de la barranca Tlahuapan y de los canales de riego, antes de la creación del distrito de ECCACIV. Esta información se usará más adelante para compararla con los resultados obtenidos en este trabajo.

### 3.1 PRIMERA ETAPA DEL ESTUDIO EN LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC.

La primera etapa del Estudio para la Evaluación de la Calidad del agua en la Cuenca del Alto Amacuzac fué realizado en 1972 por el Instituto de Ingeniería de la UNAM y financiado por la SRH. El objetivo general de ese estudio fué conocer la calidad del agua de los principales cuerpos receptores de la cuenca como son los ríos Amacuzac, Apatlaco, Yautepec y Cuautla y de sus afluentes más importantes, así como la calidad de las aguas residuales tanto industriales como municipales que se descargan en dichas corrientes.

Los resultados de esa primera etapa sirvieron para la aplicación de las primeras disposiciones estipuladas por el Reglamento Para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1973, así mismo permitieron planear detalladamente una segunda etapa del estudio.

Los resultados de calidad del agua de mayor utilidad para este trabajo, son los que corresponden a las descargas de las principales industrias. Destacan los tres grandes colectores de CIVAC y algunas estaciones localizadas en los cauces naturales receptores de las descargas, en particular la estación denominada Puente Blanco ubicada en la barranca Tlahuapan, aguas abajo de las aportaciones de los colectores I y II.

En las Tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los valores mínimo, máximo y promedio de los parámetros fisicoquímicos de las descargas de cada uno de los colectores de CIVAC y de la estación Puente Blanco. El análisis de esta información permite hacer las siguientes observaciones en relación a los parámetros fisicoquímicos más importantes.

La temperatura resulta notable por sus valores máximos de 39 y 45 °C en los colectores I y II respectivamente. En la estación Puente Blanco el valor máximo es de 36 °C. En el colector III se tienen valores más acordes con la temperatura ambiente, con una máxima de 24 °C. Los valores de pH para los colectores I y II son predominantemente ácidos, variando entre 2.6 y 11.7, con un promedio de 4.6 para el colector I y entre 2.4 y 6.7 con un promedio de 5.1 para el colector II. El colector III tiene valores de pH entre 5.5 y 9.0, con un promedio de 7.5 y en la estación Puente Blanco las variaciones son más extremas desde 2.7 hasta 12.3, con un valor promedio de 6.76.

El oxígeno disuelto presenta valores promedio para los colectores I y II de 0.6 y 1.4 mg/l, para la estación Puente Blanco de 0.6 mg/l y para el colector III de 3.8 mg/l. Es notable que los valores mínimos detectados en cada una de las estaciones llegan a cero mg/l.

Los resultados de  $DBO_5$  y DQO son mayores para los colectores I y II. En el primero se tienen valores promedio de 1466 y 4135 mg/l para  $DBO_5$  y DQO, respectivamente, y en

el segundo de 1839 y 2638 mg/l. En la estación Puente Blanco los promedios son de 1399 y 2965 mg/l y en el colector III los valores son más bajos con relación a los anteriores, reportándose en promedio 182 mg/l de  $DBO_5$  y 827 mg/l de DQO.

En cuanto al contenido de sólidos, tomando como referencia los sólidos disueltos totales (SDT), se tienen para el colector I los valores máximo y promedio de 5604 y 3478 mg/l. En el colector II los mismos valores son 4294 y 2016 mg/l, y en la estación Puente Blanco los valores son 4048 y 2866 mg/l. Por otro lado, en el colector III el valor máximo fué de 12558 mg/l y el promedio de 3456 mg/l. En este último se tienen variaciones más extremas que dan un valor promedio comparable con las otras estaciones.

Otros parámetros son el nitrógeno amoniacal y de nitratos y los fosfatos. Los valores promedio del nitrógeno amoniacal para cada uno de los colectores I, II y III son, 30.34, 18.77 y 32.31 mg/l, y para la estación Puente Blanco el promedio es de 31.24 mg/l. Los valores promedio del nitrógeno de nitratos son para cada una de las estaciones, en el mismo orden, de 2.35, 2.68, 0.41 y 3.31 mg/l, y el promedio de los fosfatos es de 2.77, 5.54, 2.54 y 2.64 mg/l.

La variación de los flujos horarios en los tres colectores de CIVAC fué de 109 a 130 lps para el colector I, de 43 a 47 lps para el colector II y de 18 a 70 lps para el colector III.

TABLA 3.1 COLECTOR INDUSTRIAL I

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	26	39	35
pH	2.6	11.7	4.6
OD	0	3	0.6
DBO <sub>5</sub>	600	2900	1466
DQO	1120	7620	3135
ST	564	6000	3844
STF	244	4420	2187
STV	320	3484	1657
SST	58	628	366
SSF	0	242	86
SSV	52	514	280
SDT	506	5604	3478
SDF	218	4382	2037
SDV	268	3180	1378
N-NH <sub>3</sub>	3.2	58.8	30.34
N-NO <sub>3</sub>	0	12.64	2.35
PO <sub>4</sub>	0.20	12.0	2.77

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 17 muestreos realizados entre el 8 de marzo y el 18 de abril de 1973. Referencia [16].

TABLA 3.2 COLECTOR INDUSTRIAL II

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	24	45	29
pH	2.4	6.7	5.1
OD	0	6.3	1.4
DBO <sub>5</sub>	200	5100	1839
DQO	405	5888	2638
ST	564	4804	2341
STF	256	3340	1058
STV	216	2804	1220
SST	0	712	261
SSF	0	422	95
SSV	0	448	164
SDT	430	4294	2016
SDF	256	3062	957
SDV	170	2744	1082
N-NH <sub>3</sub>	1.26	188	18.77
N-NO <sub>3</sub>	0.25	10.00	2.68
PO <sub>4</sub>	0.11	19.60	5.54

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 17 muestreos realizados entre el 2 de marzo y el 18 de abril de 1973. Referencia [16].

TABLA 3.3 COLECTOR INDUSTRIAL III

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	19	24	21.4
pH	5.5	9	7.5
OD	0	6.7	3.8
DBO <sub>5</sub>	80	530	182
DQD	48	3200	827
ST	604	13504	3983
STF	404	12792	3433
STV	188	1324	550
SST	64	1048	529
SSF	12	638	297
SSV	52	410	232
SDT	444	12558	3456
SDF	342	12184	3102
SDV	90	1040	319
N-NH <sub>3</sub>	0.28	202.7	32.31
N-NO <sub>3</sub>	0.03	0.65	0.41
PO <sub>4</sub>	0.40	6.8	2.54

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 9 muestreos realizados los días 16, 17 y 18 de abril de 1973. Referencia [16].

TABLA 3.3 COLECTOR INDUSTRIAL III

PARAMETROS	V A L O R E S		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	19	24	21.4
pH	5.5	9	7.5
OD	0	6.7	3.8
DBO <sub>5</sub>	80	530	182
DQO	48	3200	827
ST	604	13504	3983
STF	404	12792	3433
STV	188	1324	550
SST	64	1048	529
SSF	12	638	297
SSV	52	410	232
SDT	444	12558	3456
SDF	342	12184	3102
SDV	90	1040	319
N-NH <sub>3</sub>	0.28	202.7	32.31
N-NO <sub>3</sub>	0.03	0.65	0.41
PO <sub>4</sub>	0.40	6.8	2.54

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 9 muestreos realizados los días 16, 17 y 18 de abril de 1973. Referencia [16].

TABLA 3.4 PUENTE BLANCO

PARAMETROS	V A L O R E S		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	22	36	28
pH	2.7	12.3	6.76
OD	0	2.1	0.6
DBO <sub>5</sub>	600	2992	1399
DQO	854	6660	2965
ST	1316	4176	2718
STF	1236	2436	1706
STV	752	1740	1341
SST	98	428	180
SSF	0	212	51
SSV	98	216	219
SDT	1852	4048	2866
SDF	1232	2420	1669
SDV	812	1628	1295
N-NH <sub>3</sub>	5.2	52.5	31.24
N-NO <sub>3</sub>	1.20	12.48	3.31
PO <sub>4</sub>	0.40	4.00	2.64

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 7 muestreos realizados del 2 al 31 de marzo de 1973. Referencia [16].

### 3.2. SEGUNDA ETAPA DEL ESTUDIO DE LA CUENCA DEL ALTO AMACUZAC.

En 1973 se continuó con el estudio de la calidad del agua en la cuenca del Alto Amacuzac en una segunda etapa [5]. En esta ocasión la meta general consistió en determinar las condiciones de la calidad del agua en los ríos de la zona, evaluando los daños que ocasionaban las descargas de aguas residuales, con el fin de establecer las recomendaciones y disposiciones que habrían de llevarse a cabo para el mejor control de la calidad del agua.

El desarrollo de ese estudio comprendió múltiples actividades como lo son la determinación de las características fisicoquímicas, bacteriológicas y biológicas del río Apatlaco. El estudio abarca desde su nacimiento, en el municipio de Cuernavaca, hasta su desembocadura con el río Amacuzac, con una longitud aproximada de 40 Km, más un tramo de 18 Km del Amacuzac, entre la unión de los dos ríos y el poblado de Huixtla. También se incluyeron los principales afluentes, tales como la barranca de Amanalco y los ríos Palo Escrito, Tetlama, Yautepec y Cuautla; y el canal de Tenayuca que es una extracción de agua utilizada para la generación de energía eléctrica.

Se aplicó el modelo matemático de simulación MODI para estimar la variación del oxígeno disuelto a lo largo del río Apatlaco. Se determinó la calidad del agua del

manantial San Gaspar y del lago Tequesquitengo con el objeto de clasificarlos de acuerdo a su uso. Se caracterizaron las descargas de aguas residuales de los tres colectores de CIVAC, la Tenería Morelos, el ingenio Emiliano Zapata y del municipio de Zacatepec. Se evaluó el grado de toxicidad de las descargas del ingenio, la Tenería Morelos y de la barranca de Amanalco mediante bioensayos estáticos para determinar el límite de tolerancia medio, TLM, en tres especies de peces nativas de la zona.

Se realizó un estudio socioeconómico para determinar la relación costo/beneficio entre los daños ocasionados por la contaminación del agua y el costo para mejorar su calidad. Como parte de este estudio se realizaron pruebas de tratabilidad mediante sedimentación y lodos activados obteniendo resultados para los tres colectores de CIVAC, la Tenería Morelos y la descarga municipal de Zacatepec. Además, se hicieron pruebas mediante un tratamiento anaerobio para la descarga de la fábrica de alcohol del ingenio. También se investigaron, someramente, los efectos de las aguas residuales en los cultivos; para lo cual, se utilizó la técnica de percepción remota con fotografía aérea; y se complementó la información con una encuesta socio-económica.

Para los fines del presente trabajo, es de interés la información relacionada con los colectores de CIVAC, así como los resultados de calidad del agua en los canales de riego de la zona, que abarca los terrenos de Tejalpa,

Jiutepec y Emiliano Zapata. En las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 se presentan los valores mínimo, máximo y promedio de los resultados de los análisis fisicoquímicos para cada uno de los colectores de CIVAC. Estos valores corresponden a 24 muestreos realizados cada dos horas durante tres días seguidos, en cada colector, entre el 2 y el 17 de octubre de 1973.

La evaluación de los resultados, que se hace en el estudio, señala que las descargas de aguas residuales están fuera de las normas máximas tolerables, impuestas por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua. Se hacen las siguientes observaciones a cada uno de los parámetros:

a) Los sólidos sedimentables se sobrepasan con los valores promedio de 17.2, 1.39 y 3.05 ml/l en los colectores I, II y III respectivamente, teniendo como límite máximo permitido 1 ml/l.

b) Las grasas y aceites tienen promedios superiores a la norma de 70 mg/l, siendo éstos para cada colector de 115.85, 183.83 y 135.20 mg/l.

c) La temperatura tiene como valor máximo permitido 35 °C y no se sobrepasa en ninguna de las tres descargas.

d) El ámbito de pH para el colector I es de 3.3 a 11.6, para el II es de 4.6 a 7.9 y para el III es de 6.5 a 8.5, siendo la norma permitida por el Reglamento de 4.5 a 10 unidades de pH.

e) La materia flotante no se detectó en ninguna de las descargas.

Otras observaciones a las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 incluyen: a) los colectores I y II tienen mayores concentraciones de  $DBO_5$  y DQO que el colector III, siendo los valores promedio de 1081, 1370 y 52 mg/l para  $DBO_5$  y de 1715, 2300 y 166 mg/l para DQO; y b) en la misma forma se tienen los gastos para cada colector con valores promedio de 52, 59 y 15 l/s. Las tablas contienen otros parámetros como: a) nitrógeno orgánico y amoniacal, b) nitratos, c) fosfatos, d) sustancias activas al azul de metileno y e) sólidos totales y suspendidos.

Las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis de las aguas residuales de CIVAC se refieren a la conveniencia de darles tratamiento y aprovecharlas para uso agrícola e industrial, o simplemente descargarlas a los cuerpos receptores sin causar problemas de contaminación. Las pruebas de tratabilidad, con lodos activados para los tres colectores de CIVAC, dieron porcentajes de remoción entre 80 y 90 % para  $DBO_5$ , de 70 a 85 % para DQO y de 0 a 30 % para SSV. Se recomendó implantar condiciones particulares a las descargas de CIVAC y construir una planta de tratamiento para las aguas residuales de la zona.

En cuanto a la determinación de efectos en los cultivos por el uso de las aguas residuales, mediante la técnica de percepción remota sobrevolando la zona para tomar fotografías a color e infrarrojo, no se lograron resultados

definitivos. Sin embargo, se obtuvieron datos de la calidad del agua de tres canales de riego denominados Tlahuapan, Sta. Clara y Aguacate. Estos canales están localizados en la zona agrícola de los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata. En la Tabla 3.8 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos y de algunos metales para estos mismos canales, indicando que Tlahuapan y Sta Clara recibían aguas residuales de los colectores I y II, mezcladas con excedencias de riego del manantial Chapultepec. Además, el canal Aguacate recibía las aguas residuales de la barranca Gachupina y excedencias del manantial San Gaspar.

De la Tabla 3.8 se tienen las siguientes observaciones sobre algunos parámetros para los canales Tlahuapan, Sta. Clara y Aguacate, en ese orden: a) los resultados de pH son de 5.7, 7.0 y 7.0; b) los de OD son cero, 0.1 y 7.4 mg/l; c) la  $DBO_5$  de 1238, 199 y 1 mg/l; y d) la DQO de 2220, 341 y 28 mg/l. Con estos cuatro parámetros, se distingue que la calidad del agua es diferente para cada canal, siendo la del Aguacate agua prácticamente no contaminada. Así mismo los valores de los demás parámetros resultan más bajos que los presentados para los colectores de CIVAC en las tablas anteriores; lo cual probablemente se debe a las aportaciones de los manantiales.

TABLA 3.5 COLECTOR INDUSTRIAL I

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	28	31	29
pH	3.3	11.6	6.9
OD	0	1.8	0.8
DBO <sub>5</sub>	170	2598	1081
DQO	718	4747	1715
G y A	2.32	437.80	115.85
ST	1536	5888	2887
STV	664	4116	1506
SST	42	658	210
SSV	0	296	6
S Sed. ml/l	1.5	40	17.2
N-Org	6.27	112.42	22.38
N-NH <sub>3</sub>	2.01	46.6	15.63
N-NO <sub>3</sub>	0.01	3.80	1.76
PO <sub>4</sub>	0.02	35.2	7.08
SAAM	0	1.84	0.68
Gasto l/s	35	65	52

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 24 muestreos simples tomados cada dos horas del 2 al 4 de octubre de 1973. Referencia [5].

TABLA 3.6 COLECTOR INDUSTRIAL II

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	19	31	25
pH	4.6	7.9	6.8
OD	0	5.3	1.9
DBO <sub>5</sub>	21	3045	1370
DQO	174	8801	2300
G y A	71.53	490.84	183.83
ST	288	5252	1770
STV	88	1464	564
SST	0	418	153
SSV	0	196	37
S Sed. ml/l	0.01	8.0	1.39
N-Org	3.24	27.20	11.50
N-NH <sub>3</sub>	0.69	48.23	3.95
N-NO <sub>3</sub>	0.01	3.33	0.82
PO <sub>4</sub>	0.01	10.40	2.76
SAAM	0.5	8.48	3.93
Gasto l/s	52	88	59

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 24 muestreos simples tomados cada dos horas del 8 al 10 de octubre de 1973.

Referencia [5].

TABLA 3.7 COLECTOR INDUSTRIAL III

PARAMETROS	VALORES		
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO
Temperatura °C	14	25	16.5
pH	6.5	8.5	7.6
OD	2.1	6.3	5.1
DBO <sub>5</sub>	7	133	52
DQD	25	521	166
G y A	43.41	239.95	135.20
ST	260	7304	3020
STV	72	6496	2666
SST	48	1826	372
SSV	48	1710	260
S Sed. ml/l	0.02	40	3.05
N-Org	0	242.56	13.08
N-NH <sub>3</sub>	0	13.69	3.96
N-NO <sub>3</sub>	0.01	0.60	0.30
PO <sub>4</sub>	0.12	11.50	2.75
SAAM	0	15.00	6.06
Gasto l/s	9	52	15

NOTAS: Las unidades son mg/l. Los valores corresponden a 24 muestreos simples tomados cada dos horas del 15 al 17 de octubre de 1973.

Referencia [5].

TABLA 3.8 CANALES DE RIEGO

PARAMETROS	CANALES		
	TLAHUAPAN	STA. CLARA	AGUACATE
Temperatura °C	16	11	11
pH	5.7	7.0	7.0
OD	0	0.1	7.4
DBO <sub>5</sub>	1238	199	1
DGO	2220	341	28
ST	2844	692	204
STV	1948	412	132
SST	184	70	64
SSV	38	18	34
N-Org.	16.33	11.10	3.26
N-NH <sub>3</sub>	4.01	1.90	0.93
N-NO <sub>3</sub>	0.29	0.46	0.52
PO <sub>4</sub>	2	0	0.63
SAAM	0.25	0.20	0
BORO	0.429	0.279	0.140
PLOMO	0.0285	0.01595	0.00096
CROMO	0.02	0.02	0.02
SODIO	84.8	21.7	11.7
COBRE	0.02	0.02	0.02
FENOLES	<0.001	<0.001	<0.001

NOTAS: Las unidades son mg/l. Referencia [5].

### 3.3 OTROS ESTUDIOS

En 1975 se realizaron dos estudios con el objeto de elegir y concretar la mejor alternativa para el control de la contaminación del agua. El primero fué "El Diseño del Sistema de Tratamiento para el Control de la Contaminación del Agua en la Zona de CIVAC, Mor." [10]. En este estudio se consideraron aspectos técnicos y económicos para decidir la ubicación de una planta de tratamiento, junto a la barranca Tlahuapan en el Municipio de Jiutepec, y construir un sistema de colectores, para captar las aguas residuales originadas en CIVAC, incluyendo las de las industrias y fraccionamientos cercanos.

El segundo estudio fué el "Estudio Financiero y Diseño Definitivo del Sistema de Control de la Contaminación del Agua en la Zona de CIVAC, Mor." [11 y 12]. En este estudio, además del diseño de la planta de tratamiento y del sistema colector de las aguas residuales, se presentaron las posibilidades de financiamiento y amortización de la inversión.

Posteriormente, en 1976, la Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, de la SARH, llevó a cabo la tercera etapa del estudio de "Reúso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos" [13], en el cual se investigaron los riesgos de afectación de suelos y de rendimientos de cultivos por el uso extensivo de diversos tipos de aguas

residuales. Para evaluar los efectos en la agricultura relacionados con el uso de las aguas residuales industriales, se tomó como referencia la zona agrícola regada con las descargas de CIVAC, en el municipio de Jiutepec, Mor.

Las actividades realizadas se enfocaron al análisis del agua y suelos, para lo cual se tomaron muestras de los colectores I y II, en épocas de estiaje y lluvias. Además, se tomaron muestras de suelo a diversas profundidades en dos parcelas, una de ellas regada con agua residual y la otra con riego de temporal, para ser usada como testigo. Para los análisis de agua se hicieron dos muestreos, uno en abril y otro en julio, para cada colector y se determinaron, además de los parámetros fisicoquímicos comunes, el contenido de metales y las características agronómicas. Con los resultados de calidad del agua se estimaron valores promedio para evaluar la calidad para uso agrícola.

En la Tabla 3.9 se presentan las características agronómicas para el agua de los colectores. Al comparar esos resultados con los criterios que fijan la calidad del agua para riego, se tienen para cada parámetro las siguientes observaciones:

a) la conductividad eléctrica de 2390  $\mu\text{mhos/cm}$  resulta mayor que la norma de 2000  $\mu\text{mhos/cm}$ , lo que indica una calidad inadecuada para riego.

b) la salinidad efectiva de 13.7 meq/l y la salinidad potencial de 9.6 meq/l, se encuentran dentro del ámbito de 3 a 15 meq/l, que determina una calidad de agua condicionada para riego.

c) la relación de adsorción de sodio de 6.1 queda dentro del límite <10, considerado para el agua de buena calidad.

d) el carbonato de sodio residual con 3.4 meq/l queda dentro del ámbito >2.50, considerado de calidad inadecuada.

e) el porcentaje de sodio posible, con un valor de 52, queda en el ámbito >50, para calidad condicionada.

f) la clasificación  $C_4S_1$  indica que el agua puede causar muy altos efectos por salinidad y bajos efectos por el contenido de sodio.

En la evaluación de estos resultados se considera que los promedios de calidad para ese tipo de agua no son un reflejo real de sus características generales, y al margen de esta observación, las conclusiones más relevantes de ese estudio alertan sobre la peligrosidad de las descargas residuales de los colectores I y II, para el uso agrícola, principalmente por sus valores de pH ácidos, altas temperaturas y elevado contenido de sales.

TABLA 3.9 CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA RESIDUAL  
INDUSTRIAL DE LOS COLECTORES I Y II.

PARAMETROS	VALORES
Conductividad eléctrica, $\mu\text{mhos/cm}$	2390
Salinidad efectiva, meq/l	13.7
Salinidad potencial, meq/l	9.6
Relación de adsorción de sodio, RAS	6.1
Carbonato de sodio residual, meq/l	3.4
Porcentaje de sodio posible, PSP	52
Clasificación	$C_4-S_1$
Cloruros, meq/l	8.8

Referencia [13], 1976.

#### 4. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO.

El plan de actividades para el desarrollo de este estudio, se inició con un reconocimiento de la zona. En primer lugar, se recorrió el cauce de la barranca Tlahuapan hasta el sitio en que se une con el río Apatlaco. Después, con el apoyo del personal del Distrito de Riego Num. 16 se conocieron los campos de cultivo que se riegan con el agua de la barranca y la red de canales que permiten su distribución. El mismo Distrito de Riego proporcionó información sobre los rendimientos agrícolas.

Al hacer el recorrido por la barranca se investigó la existencia de otras aportaciones, tanto de aguas residuales como de aguas provenientes de manantiales. Se buscaron cambios importantes en la morfología del cauce, como caídas de agua o estancamientos. Se calculó una longitud aproximada de 5 Km para la barranca, desde la planta de tratamiento hasta el Río Apatlaco. Se reconocieron las vías de acceso a los sitios donde se ubicarían las estaciones de muestreo, con el objeto de hacer el recorrido de los muestreos en forma rápida y eficiente, para conservar las muestras con la menor alteración posible.

Además, se solicitó información a la gerencia de la planta de tratamiento sobre el funcionamiento de la misma, la relación de industrias conectadas y los planes de ampliación. Entre los planes futuros existía el proyecto de dar tratamiento fisicoquímico a los lodos.

En este trabajo se distinguen dos aspectos importantes del plan de actividades de acuerdo a los objetivos que se pretenden. Por lo cual se separan, por una parte, las actividades relacionadas con la evaluación de la calidad del agua, y por otra, las actividades relacionadas con el uso del agua en la agricultura.

#### 4.1. ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Al definir las actividades para el estudio de la calidad del agua, fué necesario adaptarse a la disponibilidad de equipo y personal. En función de lo anterior, se planteó el programa de muestreos, de tal manera que fuera posible obtener resultados representativos de la calidad del agua en los diversos sitios de muestreo. En consecuencia, se realizaron muestreos simples e instantáneos en cada una de las estaciones. El recorrido para la colecta de las muestras se inició desde la salida del laboratorio del CIECCA, en el D.F., con equipo y material de muestreo, hacia el Valle de Cuernavaca, para visitar cada una de las estaciones, y regresar el mismo día para la pronta entrega de las muestras al laboratorio mencionado.

Con el fin de obtener datos representativos de la calidad del agua, tanto en época de estiaje como de lluvias, se programaron muestreos mensuales durante un año. Se fijaron once estaciones de muestreo, nueve de ellas

localizadas en diversos puntos de la barranca y dos en canales de riego.

Los parámetros de calidad del agua se eligieron para determinar, principalmente, el grado de contaminación orgánica y el contenido de nutrientes, característicos de los efluentes de las plantas de tratamiento de lodos activados. Además, se determinaron otros parámetros complementarios para relacionarlos entre sí al evaluar los resultados analíticos.

A continuación se presentan los subtemas con los resultados de esta parte del programa, que se refieren a la selección de las estaciones de muestreo, al programa de muestreos y a los parámetros analíticos que se determinaron.

#### 4.1.1 ESTACIONES DE MUESTREO

Las estaciones de muestreo se seleccionaron con el fin de evaluar el impacto del efluente de la planta de tratamiento en la calidad del agua de la barranca. Por lo tanto, las estaciones se localizaron antes y después de las aportaciones que recibía la barranca, iniciando en el sitio donde se localiza la planta de tratamiento y finalizando en el Río Apatlaco, después de mezclarse el caudal de la barranca. Además, atendiendo a la importancia del agua para uso agrícola, se seleccionaron dos estaciones en canales de

riego. En total se fijaron 11 sitios de muestreo.

Los lugares precisos para coleccionar las muestras se escogieron por las características uniformes en el cauce de la barranca, de tal forma que se facilitara medir el gasto. En el Plano 4.1 se indica la ubicación de cada una de las estaciones, con las claves E 1 a E 11. A continuación se presenta la denominación de cada estación, su localización y su importancia para este estudio.

Estación E 1. Aguas arriba del efluente de la planta. Se localiza 3 metros antes de la descarga del efluente de la planta de tratamiento. Esta estación permitirá conocer la calidad del agua de la barranca antes de recibir el efluente de la planta.

Estación E 2. Efluente de la planta. Se refiere a la descarga del efluente de la planta, sobre la barranca. Servirá para determinar la calidad del agua del efluente que representa la más importante aportación de aguas residuales, por ser una descarga permanente.

Estación E 3. Aguas abajo del efluente de la planta. Se localiza 5 m después de la descarga del efluente. Esta estación permitirá conocer la calidad del agua que se tiene como resultado de la mezcla del efluente con el agua de la barranca.

Estación E 4. Canal Tributario. Se localiza a 15 m del efluente de la planta. Este canal aporta aguas de retorno agrícola provenientes del manantial Las Fuentes.

Estación E 5. Aguas abajo de la descarga de lodos de la

planta. Se localiza aproximadamente a 20 m del canal tributario, aguas abajo de la salida que conecta con los lechos de secado de la planta de tratamiento. Al hacer este estudio la planta de tratamiento tenía problemas con la acumulación de lodos en el tanque digestor, por lo que eventualmente era necesario vaciar los lodos a la barranca para dar mantenimiento al tanque digestor. Aún cuando esta acción era casual, se deseaba conocer la calidad del agua en este sitio, que podía estar influenciada por lodos sedimentados.

Estación E 6. Puente en Emiliano Zapata. Se localiza bajo el puente del poblado Emiliano Zapata, aproximadamente a 1 Km del efluente de la planta. Esta estación servirá para estimar los primeros cambios en la calidad del agua durante su recorrido por la barranca.

Estación E 7. Las Compuertas. Se localiza en el canal Las Compuertas que lleva agua de la barranca al campo agrícola Sta. Clara. Este sitio se eligió para determinar la recuperación de la calidad del agua de la barranca en su recorrido hasta los canales de riego.

Estación E 8. Canal frente a la quebradora. Se localiza en un canal situado frente a una quebradora de piedra, en el campo agrícola Las Compuertas. Se eligió por las mismas consideraciones de la estación anterior y para tener otro punto de referencia de la calidad del agua que llega a los campos de cultivo.

Estación E 9. Granjas Mérida. Se localiza a un lado de

Las Granjas Mérida, aproximadamente a 3.5 Km de la planta de tratamiento. Este sitio se eligió porque el caudal de la barranca es mayor que en las estaciones anteriores, debido a aportaciones provenientes del manantial Palo Escrito.

Estación E 10. Confluencia con el Río Apatlaco. Se localiza en la confluencia de la barranca con el río Apatlaco, 5 m antes de que el agua de la barranca se mezcle con el río; desde este punto se estimó una distancia aproximada de 5 Km hasta la planta de tratamiento. Este sitio se eligió para evaluar la capacidad de recuperación total en la calidad del agua de la barranca.

Estación E 11. Río Apatlaco. Se localiza sobre el Río Apatlaco, bajo el puente del Km 111.5 de la Autopista México - Acapulco, aproximadamente a 100 m de la afluencia de la barranca. Se eligió para conocer la calidad del agua del río y relacionarla con los posibles usos que puede tener.

#### 4.1.2 PROGRAMA DE MUESTREOS

Con el fin de obtener datos de calidad del agua que indicaran su variación durante un ciclo anual, se programaron muestreos mensuales para cada una de las estaciones hasta completar un año, iniciando en agosto de 1982. Sin embargo, por diversos motivos como la disponibilidad de vehículo, la posibilidad del laboratorio

para recibir las muestras, etc., se modificaron algunas fechas. Las fechas reales en que se hicieron los muestreos se presentan a continuación en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1. FECHAS DE MUESTREO

----- 1982 -----				
AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
4	NO	6	9	NO
----- 1983 -----				
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
27	17	18	20	10
JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
15	12	6	NO	NO
NOV	DIC			
15 y 28	6			

El programa de muestreos abarcaba inicialmente de agosto de 1982 hasta agosto del 1983; sin embargo, en el muestreo del 6 de agosto de 1983 se determinaron otros análisis fisicoquímicos de importancia en la calidad agronómica del agua y, con el fin de tener más datos que hicieran representativos los resultados de estos parámetros, se

realizaron otros tres muestreos en noviembre y diciembre, como se indica en la Tabla 4.1. En total se hicieron 11 muestreos para el análisis de parámetros fisicoquímicos indicadores del grado de contaminación del agua, y 4 muestreos para el análisis de parámetros de la calidad agronómica.

Las muestras colectadas fueron simples e instantáneas, se logró hacer el recorrido para los muestreos en las 11 estaciones el mismo día. Las muestras se conservaron en hielo durante el transporte y se refrigeraron a 4 °C en el laboratorio hasta ser analizadas.

Al hacer los muestreos se determinaron la temperatura, el pH, el gasto y el oxígeno disuelto. El gasto se calculó con el producto de la velocidad por el área transversal, el OD se determinó por el método de Winkler, fijando las muestras en el campo y titulando en el laboratorio. Se colectaron muestras por separado para los análisis fisicoquímicos, las grasas y aceites, el OD y, en los últimos muestreos, para las determinaciones bacteriológicas y los metales pesados.

#### 4.1.3. PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

Se determinaron los parámetros fisicoquímicos más comunmente usados para evaluar el grado de contaminación del agua, como son: pH, temperatura, OD, DBO<sub>5</sub>, DCO, grasas

y aceites, fosfatos totales y ortofosfatos, nitrógeno en sus diferentes formas, sólidos en todas sus formas, conductividad eléctrica, dureza total y turbiedad.

Los análisis relacionados con la calidad agronómica del agua fueron los siguientes: bicarbonatos, sulfatos, cloruros, relación de adsorción de sodio, coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, y los metales: boro, calcio, magnesio, sodio, potasio, fierro, manganeso, zinc, plomo, arsénico, mercurio, níquel, cobre y cromo.

Los análisis se hicieron en el Laboratorio del Centro de Investigación para el Control de la Calidad del Agua, CIECCA, de la SARH, actualmente dependiente del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. Los métodos de análisis empleados fueron los recomendados por el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater [2].

#### 4.2. USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.

En esta segunda parte del programa de actividades se investigaron los usos del agua de la barranca, confirmando que efectivamente el reuso del agua es exclusivamente agrícola. Las acciones de esta parte del programa están enfocadas a tres objetivos: a) conocer los campos en que tradicionalmente se ha usado el agua de la barranca para riego, b) investigar los rendimientos agrícolas, especialmente en periodos anteriores a la creación de

ECCACIV, y c) conocer la opinión de los campesinos sobre el uso del agua.

La información relacionada con esta parte del estudio se consiguió con el apoyo del Distrito de Riego 16, de la SARH, y se presenta en los siguientes subtemas.

#### 4.2.1. CAMPOS AGRICOLAS

Se recorrió la zona agrícola para conocer los campos que tradicionalmente se riegan con agua de la barranca Tlahuapan. Además, se conoció el sistema de riego consistente en una red de canales, que permite suministrar el agua de acuerdo a un programa que establece la cantidad de agua para cada campo. Este programa toma en cuenta la extensión del predio y los cultivos en cada uno. Este procedimiento se opera en forma manual con personal encargado de medir el gasto en los canales y controlar el tiempo de riego.

De esa manera se identificaron 10 campos que son regados con agua de Tlahuapan, especialmente en época de estiaje, todos de propiedad ejidal y dedicados a diversos cultivos, según la época del año. La localización de estos campos se indica en el Plano 4.1 identificados con números ordinales del 1 al 10 y sus respectivos nombres. Cabe hacer notar que en el Campo Nuevo se tenía el proyecto de construir fraccionamientos.

Todos los campos corresponden a los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata; en total cubren un área de 437.2 ha y sus propietarios suman un total de 339 ejidatarios. En la Tabla 4.2 se presentan los campos con sus respectivos canales de riego, la superficie y el número de usuarios registrados por la SARH.

TABLA 4.2. CAMPOS REGADOS CON AGUA DE LA BARRANCA TLAHUAPAN EN LOS MUNICIPIOS DE JIUTEPEC Y EMILIANO ZAPATA.

NUM. CAMPO	CANAL DE RIEGO	SUPERFICIE ha	USUARIOS
1.	Azezentla Barranca Tlahuapan	44.0	35
2	Guante T. La Rueda	29.5	42
3	Guante R. La Rueda	36.0	26
4	El Llano La Rueda y Aguacate	66.0	38
5	Campo Nuevo (fraccionamientos)	17.2	17
6	San Gabrieles Sta. Clara y El Mango	36.8	24
7	Compuertas Sta. Clara	65.5	46
8	Temalaca Sta. Clara	75.8	58
9	Amatitlán El Amate y Sta. Clara	19.0	15
10	Campo Verde El Amate y Sta. Clara	47.4	38
TOTAL:		437.2	339

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH, en el Edo. de Morelos.

#### 4.2.2. RENDIMIENTOS AGRICOLAS

Se deseaba conocer algún cambio en los rendimientos agrícolas, que se relacionara directamente con el inicio de operaciones de la planta de tratamiento. Para ésto se solicitó oficialmente información al Distrito de Riego 16 en Zacatepec, Mor. A este Distrito le corresponde administrar la zona agrícola del Estado de Morelos, donde se cultivan más de 150 mil ha, de las cuales el 70 % son de temporal. Parte de las actividades del distrito comprende llevar el registro estadístico de rendimientos agrícolas de la zona. Dicho registro, se realiza en forma global para cada cultivo, por áreas y unidades; por este motivo, al solicitar la información particular de los pequeños campos de interés en este estudio, fué necesario remitirse a los archivos de las oficinas del Distrito de Riego en Emiliano Zapata, Mor.

El registro de datos para cada campo, indica la unidad, el área y la sección en que se localizan; el ciclo anual, el subciclo (primavera ó invierno); el tipo de tenencia, ejidal o pequeña propiedad; el mes y la semana en que se hace el informe.

Se anotan además, los cultivos, la superficie cultivada, el rendimiento medio, el precio unitario, la comercialización de los productos, que puede ser: 1).exportación, 2).particular, 3).oficial ó 4).autoconsumo. En caso de pérdidas, se indica el tipo o la causa de las

mismas, como: 1).enfermedades, 2).plagas, 3).siniestros, 4).problemas socio-económicos, 5).falta de asistencia técnica y 6).otros. Se indica también, el nombre de los canales de riego y el sector de riego.

Lamentablemente, para los campos que son de interés en este estudio, el registro de rendimientos se inició en 1977, y no se encontró información para todos los campos. La información existente corresponde a los períodos de 1977-78, época en que se construyó la planta de tratamiento, 1979-80, justo cuando se iniciaron las operaciones de la planta, y 1982-83, período en que se realizó el trabajo de campo para este estudio. La información incluye datos de rendimientos para cada tipo de cultivo y superficie cultivada. En la Tabla 4.3 se indican los campos para los que se tiene información, en cada período.

#### 4.2.3. ENCUESTA

Algunas entrevistas con los ejidatarios en el Poblado de Emiliano Zapata, pusieron de manifiesto la dificultad de recabar información fidedigna sobre el aprovechamiento del agua en la agricultura y sus efectos en los cultivos. Lo anterior fué debido a que las opiniones emitidas estaban influenciadas por diversos intereses, tales como, buscar indemnización por daños de los cultivos, pedir aumento de

TABLA 4.3. CAMPOS PARA LOS QUE SE TIENE  
INFORMACION DE RENDIMIENTOS AGRICOLAS.

P E R I O D O S		
1977-1978	1979-1980	1982-1983
Guante T	Guante T	Guante T
Guante R	Guante R	Guante R
El Llano	El Llano	El Llano
San Gabrieles	San Gabrieles	San Gabrieles
Temalaca	Temalaca	Temalaca
Amatitlán	_____	Amatitlán
Campo Verde	_____	Campo Verde
_____	_____	Azezentla
_____	_____	Compuertas

los precios de garantía de algunos productos agrícolas, solicitar servicio de agua potable, etc. Ante esta situación se decidió conseguir información con los campesinos que se encontraran en los campos agrícolas al hacer el recorrido para coleccionar las muestras de agua. Con ese fin, se preparó una encuesta que permitió obtener información sobre los siguientes temas:

a) Datos generales de las parcelas. Con esta parte de la encuesta se solicitó información de los predios, su

ubicación, extensión y tipo de propiedad. Las respuestas esperadas, en cuanto al tipo de propiedad, podían ser: ejidal, pequeña propiedad ó terreno rentado. Esto último resulta costoso para los ejidatarios en el cultivo de la caña de azúcar, porque pueden cultivar una mayor extensión, entre 20 y 30 ha, y asegurar la cosecha por 2 ó 3 años.

b) Datos relacionados con los cultivos. Se deseaba saber si los períodos de siembra son de temporal, de riego ó ambos. Además, los tipos de cultivos que se hacen en cada período, como cereales, leguminosas, hortalizas u otros; indicando específicamente qué cultivos. Según esta clasificación de los productos agrícolas, se tenían como posibles, los cereales: arroz, cebada, centeno, maíz, sorgo y trigo. Las leguminosas: cacahuate, chícharo, ejote, frijol y lenteja. Las hortalizas: ajo, berenjena, berro, calabaza, camote, cebolla, col, coliflor, espinaca, jitomate, lechuga, melón, pepinos, pimiento, rábano, sandía, tomate y zanahoria. La caña de azúcar se clasificó como otro tipo de cultivo.

Se solicitaron los rendimientos obtenidos para cada cultivo en los últimos cinco años, presentando como opciones las respuestas: menos de un 30 %, un 40% y más de un 90%. Asimismo, se cuestionó sobre los fertilizantes y plaguicidas empleados para cada cultivo, dosis aplicadas y formulaciones. Sobre estos aspectos, los campesinos se limitan a seguir las recomendaciones de los técnicos de la SARH, quienes les indican los productos y las dosis a usar.

Solamente fueron proporcionados nombres comerciales, como herbicida 210, matahierba, sulfito de amonio y simplemente "fertilizante".

c) Datos relacionados con el agua. En esta parte de la encuesta se preguntó qué tipo de agua se emplea para riego, y se consideraban las siguientes opciones: agua potable o de pozo, agua de la barranca Tlahuapan, agua de lluvia, ó ambas. Otras preguntas fueron: En que meses del año se usa cada tipo de agua, La forma de riego y la cantidad ó lámina de riego empleadas. Una de las preguntas más importantes fué si se ha notado algún efecto en los cultivos por emplear un tipo de agua en particular. En caso afirmativo, se solicitaba indicar: con qué tipo de agua, en qué cultivos, y cuál había sido el efecto.

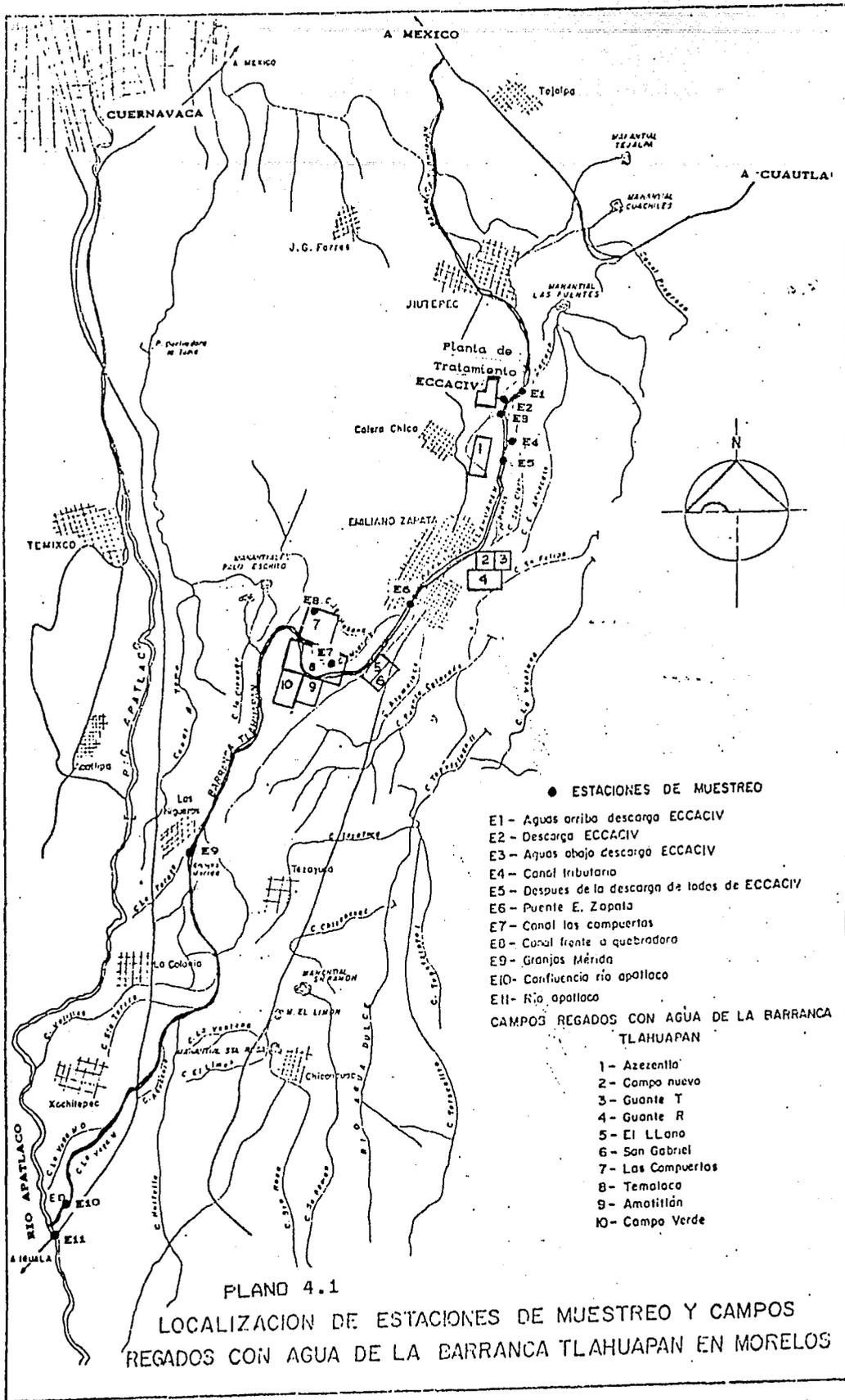
Otras preguntas relacionadas con el uso del agua, se refieren al tipo de agua que se emplea para uso doméstico; y cuáles son los diversos usos domésticos que se le dan al agua, con las posibles respuestas: para cocinar o beber, aseo personal, lavado de ropa, otros. Con ésto, se deseaban investigar otros posibles usos del agua de la barranca.

Por último, se incluyeron dos preguntas relacionadas con la planta de tratamiento, sobre la posibilidad de un futuro aprovechamiento de los lodos como fertilizante o mejorador de suelo. Las preguntas fueron: ¿conoce sobre el uso de los lodos (de la planta de tratamiento) como fertilizante?, se esperaban respuestas como sí, no o poco; y la otra pregunta: ¿estaría dispuesto a probar los lodos en sus

cultivos?, y se pedía en cualquier caso, afirmativo o negativo, indicar porqué.

Las preguntas relativas al agua para uso doméstico y al uso de los lodos de la planta de tratamiento como fertilizante, se cancelaron. La primera, porque en general, los campesinos laboran en el campo pero tienen su casa en los poblados vecinos; y la segunda porque la gente no estaba enterada de la existencia de los lodos.

Con el objeto de motivar la participación de las personas y de agilizar las entrevistas, no se usaron los formatos de la encuesta y la información se solicitó mediante pláticas informales, cubriendo los temas previstos. De esta forma se lograron recabar las opiniones de 12 personas que, al azar, se encontraron laborando en el campo, al momento de realizar los muestreos de calidad del agua, entre los meses de julio y noviembre de 1982.



## 5. RESULTADOS

Los resultados de este estudio se separan en dos partes, en primer lugar, la parte principal que corresponde al estudio de la calidad del agua en la barranca Tlahuapan, y en segundo, la parte complementaria que se relaciona con el uso del agua en la agricultura. A su vez, el estudio de la calidad del agua también se compone de una etapa de muestreos para determinar el grado de contaminación del agua, seguida de otra etapa complementaria para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista agrícola.

Los resultados que se lograron reunir en relación con el uso del agua en la agricultura se presentan en el segundo tema de este capítulo, que contiene, por un lado, los rendimientos agrícolas para los campos que se riegan con agua de la barranca Tlahuapan, y por otro, los resultados de la encuesta que se realizó entre los campesinos para evaluar el grado de aceptación del agua y sus efectos en los cultivos.

### 5.1. RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA.

Se realizaron 11 muestreos entre agosto de 1982 y agosto de 1983, en las estaciones previamente seleccionadas, y se determinaron los parámetros de interés en contaminación del agua, tal como se indica en el capítulo anterior. Por otra

parte, se realizaron cuatro muestreos adicionales entre agosto y diciembre de 1983, con el fin de evaluar la calidad agronómica del agua, para lo cual se determinaron los parámetros de interés en el uso agrícola del agua.

De esta manera se cuenta con dos grupos de resultados de acuerdo a los parámetros que se determinaron en cada etapa de muestreos, y se presentan por separado en las siguientes secciones para facilitar su interpretación al hacer el análisis y la evaluación de los mismos.

#### 5.1.1. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE CONTAMINACION

Los parámetros para determinar el grado de contaminación del agua se eligieron tomando en cuenta el origen industrial de las aguas residuales que son captadas por ECCACIV, y el tratamiento de lodos activados a que son sometidas, así como las aportaciones que recibe la barranca Tlahuapan en diversos puntos.

Los resultados obtenidos en esta parte del estudio se muestran en las Tablas 5.1 a la 5.11, para cada una de las estaciones identificadas con las claves E.1 a la E.11 y su nombre correspondiente. En cada una de las tablas mencionadas se tienen los valores para cada parámetro ordenados por fecha de muestreo, de manera que cada renglón presenta los diversos valores obtenidos secuencialmente en los muestreos, que a su vez, abarcan en forma global un

período de un año, de agosto de 1982 a agosto de 1983.

Se realizaron 11 muestreos para cada estación, con excepción de las estaciones E.7 del canal Las Compuertas, en la que faltó la muestra del 10 de mayo de 1983, y de la estación E.8 del canal Frente a la Quebradora en la que faltaron las muestras del 4 de agosto de 1982 y del 10 de mayo de 1983. En dichas ocasiones no fué posible muestrear porque no había agua en los canales al momento de hacer las visitas. Los resultados que corresponden a estos sitios se muestran en las Tablas 5.7 y 5.8.

A continuación se hacen algunas observaciones generales en relación con los resultados de los diversos parámetros de calidad del agua:

Cuando el análisis de algún parámetro no reporta ninguna concentración, se indica que la concentración puede ser menor al límite de detección del método empleado, como en el caso de los siguientes parámetros: fosfatos totales ( $PO_4-T$ ),  $<0.01$  mg/l; ortofosfatos ( $PO_4-Orto$ ),  $<0.01$  mg/l; nitrógeno de nitratos ( $N-NO_3$ ),  $<0.001$  mg/l; nitrógeno de nitritos ( $N-NO_2$ ),  $<0.001$  mg/l; y sólidos sedimentables (SSed.),  $<0.1$  ml/l. Sin embargo, para los cálculos estadísticos estos valores se consideran como cero.

Entre las fechas de noviembre de 1982 y febrero de 1983 no fué posible la determinación del nitrógeno orgánico, (N-Org), y por lo tanto tampoco se cuenta con los datos correspondientes al nitrógeno total (N-T), el cual representa la suma del nitrógeno amoniacal ( $N-NH_3$ ) y el

nitrógeno orgánico. Igualmente, en algunas ocasiones faltaron otras determinaciones como es el caso de la medición de gastos y otros parámetros, por limitaciones de material o equipo.

Los sólidos en sus diferentes formas se representan como sólidos totales (ST), suspendidos totales (SST) y disueltos totales (SDT). Cada uno, a su vez, es la suma de los sólidos fijos (STF, SSF y SDF) más los sólidos volátiles correspondientes (STV, SSV y SDV).

La turbiedad se midió de acuerdo a la concentración esperada, para bajas concentraciones, del orden de las decenas, o menos, se utilizó el turbidímetro de Hellige, y se reportan valores en mg/l como  $\text{SiO}_2$ ; para concentraciones mayores, del orden de las centenas, o más, se utilizó el turbidímetro de Jackson, y se reportan los valores en unidades de turbiedad Jackson (UTJ). En cada tabla se hacen las indicaciones pertinentes.

TABLA 5.1. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.1. AGUAS ARRIBA DE LA DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.5	7.6	7.2	8.5	7.5	7.7	7.5	7.9	7.6	7.4	8.1
Temp. °C	27	24	25	14	25	22	22	27	24	26	28
OD	6.4	5.6	0	6.4	4.1	0	3.6	3.2	3.8	4.8	2.6
DBO-5	17	9	127	28	18	34	41	81	27	30	15
DBD	20	50	330	40	40	65	100	116	45	51	208
G y A	12	73	8	9	242	28	19	178	99	6	2
PC4-T	0.87	0.60	4.16	2.44	1.58	3.42	4.84	6.53	1.31	0.84	1.05
PC4-Orto	0.13	<0.01	0.08	1.61	1.56	2.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	6.29	6.08	--	--	--	7.50	15.65	21.65	5.20	3.63	5.89
N-Org	2.47	2.75	--	--	--	2.25	4.80	3.58	1.79	2.42	2.75
N-NH3	3.82	3.73	18.48	4.08	2.59	5.25	11.15	17.67	3.41	1.21	3.50
N-NO3	0.022	0.054	0.206	1.053	1.145	0.113	0.235	1.050	0.796	1.233	0.250
N-NO2	0.020	0.030	0.005	0.060	0.041	0.060	<0.001	<0.001	0.054	0.108	0.015
ST	294	200	634	230	172	264	374	430	134	358	274
STF	144	10	402	156	112	106	74	166	52	212	160
STV	150	190	232	74	60	158	300	254	82	146	114
SST	7	6	20	22	28	4	46	8	8	130	40
SSF	4	3	10	18	16	2	18	6	6	20	24
SSV	3	3	10	4	12	2	28	2	2	110	16
SDT	287	194	614	208	144	260	328	422	126	228	234
SDF	140	7	392	138	96	104	56	160	48	192	136
SDV	147	187	222	70	48	156	272	262	80	36	98
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3	<0.1
CE unhos/cm	309	296	742	225	206	317	539	634	352	288	308
Dureza total											
CaCO3	104	95	203	72	34	53	115	1008	91	109	104
Turbiedad											
SiO2	494	7.1	1120	9.7	10.2	12.1	10.9	13.7	14.5	1130	9.6
GASTO l/s	441	642	135	--	360	--	57	4	562	1964	673

\* Turbiedades como UTJ.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.2. RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.2. DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO											
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/1/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83	
pH	7.3	6.5	7.1	8.3	7.1	7.4	7.5	7.5	7.1	7.7	7.7	
Temp. °C	27	25	29	23	17	23	27	27	26	27	29	
OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DBO-5	192	945	523	345	5876	210	1013	1385	932	1094	425	
DQD	750	2100	2255	1980	7590	1780	1000	2600	2600	3478	2179	
G y A	14	38	46	9	536	51	171	379	115	31	10	
PO4-T	1.00	1.47	9.40	2.71	9.44	7.99	20.91	2.33	7.34	9.47	11.03	
PO4-Orto	0.20	0.02	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
N-T	73.40	98.74	--	--	--	136.69	219.18	193.76	173.08	226.10	76.02	
N-Org	36.65	229.89	--	--	--	72.76	156.08	52.36	90.16	146.30	59.22	
N-NH3	36.75	69.85	79.07	52.86	111.09	64.32	63.10	141.40	87.79	79.80	16.80	
N-NO3	0.015	<0.001	0.152	0.401	0.274	<0.001	0.152	<0.001	<0.001	0.280	<0.001	
N-NO2	0.002	0.001	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
ST	1550	1570	2256	1930	3868	2920	3642	3084	2724	3316	2024	
STF	1092	1006	908	1346	1626	1310	1352	2044	1150	1022	1002	
STV	458	564	1348	584	2242	1210	2290	1040	1064	2294	1022	
SST	92	66	1023	128	2260	600	2340	1050	840	2280	1120	
SSF	72	29	408	80	1000	300	1100	40	360	600	460	
SSV	20	37	615	48	1260	300	1240	110	480	1680	660	
SOT	1459	1504	1233	1802	1608	1920	1302	2934	1884	1036	904	
SOF	1020	977	500	1266	626	1010	252	2004	1300	422	542	
SOV	438	527	733	536	982	910	1050	930	584	614	362	
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	35	0.1	80	40	90	<0.1	30	--	40	
CE ushos/cm	1901	1827	2215	2481	3075	2678	2840	4346	3105	2726	1514	
Dureza total												
CaCO3	349	398	593	624	700	734	608	863	666	624	318	
Turbiedad												
UTJ	275	255	600	200	1500	400	1200	330	650	1500	800	

El gasto promedio diario de la descarga es de 180 l/s.  
Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.3. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.J. AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.3	7.4	7.1	8.1	7.5	7.5	7.2	7.8	7.3	7.3	7.7
Temp. °C	25	23	22	18	19	23	25	25	25	27	27
DO	1.4	0	0	1.4	0	0	0	0	0	0	0
DBO-5	95	172	729	187	--	948	1081	1074	436	203	200
DBO	300	430	3330	390	635	1400	3000	3330	1250	512	1030
G y A	16	47	39	187	273	52	138	142	47	25	7
PO4-T	12.3	2.5	3.8	2.6	3.6	2.9	20.2	2.67	7.58	3.46	5.03
PO4-Orto	0.40	0.04	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	38.8	57.9	--	--	--	108	202.5	191	85.8	43	53
N-Org	19.2	17.6	--	--	--	50.6	145.3	57.4	40	26	39
N-NH3	17.6	40.3	77.1	25	28.8	57.4	133.6	46.9	17	14	
N-NO2	0.02	<0.001	0.01	0.27	0.27	<0.001	0.263	0.462	<0.001	0.026	0.007
N-NO3	<0.001	0.002	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.012	<0.001	<0.001	0.711
ST	942	778	3742	998	1100	2184	3368	3010	1356	874	1140
STF	546	524	1946	206	329	1170	1538	1944	429	249	352
STV	396	254	1796	792	772	1014	1830	1066	928	626	758
SST	72	100	1557	97	560	520	1800	272	300	305	430
SSF	56	10	500	40	260	160	960	112	110	125	140
SSV	16	90	1157	57	300	460	840	160	190	180	290
SDT	870	678	2075	901	540	1564	1568	2738	1056	569	710
SDF	490	514	1446	166	68	1010	578	1832	318	123	212
SDV	380	164	629	735	472	554	990	906	738	446	498
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	79	<0.1	10	40	90	0.3	7.5	8.0	11.0
CE uahos/ca	1134	1288	2258	1403	1025	2295	2635	4368	1800	736	1072
Dureza total											
CaCO3	225	208	585	408	--	533	580	166	132	213	218
Turbiedad											
UTJ	200	150	800	140	600	340	1200	330	370	500	490
Gasto l/s	--	--	--	--	--	--	257	150	719	2017	790

Las unidades son ag/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.4. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN  
ESTACION E.4. CANAL TRIBUTARIO.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.7	7.6	7.7	8.1	7.3	7.8	8.0	7.6	7.3	7.5	8.1
Temp. °C	21	19	17	16	20	22	18	19	23	22	25
OD	6.8	6.4	5.8	5.4	4.1	3.7	0	7.4	3.0	4.0	1.2
DBO-5	4	4	2	14	19	10	3	7	2	20	10
BOD	30	30	20	40	50	15	5	10	15	34	94
S y A	11	26	5	255	228	30	21	168	73	9	2
PC4-T	2.4	2.7	2.9	2.12	1.87	0.89	0.91	0.60	0.75	0.54	0.41
PC4-Orto	0.19	0.12	0.09	0.82	1.75	0.76	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	0.47	2.45	--	--	--	1.00	0.61	0.73	0.67	1.40	1.26
N-Org	0.47	1.40	--	--	--	1.00	0.61	0.73	0.67	1.40	1.66
N-NH3	<0.05	1.05	6.38	0.17	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.29
N-NO3	0.018	1.003	1.886	0.097	0.852	0.694	0.730	0.141	0.974	0.804	1.130
N-NO2	0.002	0.020	0.057	0.262	0.333	0.124	0.038	0.060	0.014	0.005	<0.001
ST	168	150	164	168	160	178	154	172	182	274	160
STF	98	86	134	84	68	20	92	100	130	145	45
STV	70	64	30	84	92	158	62	72	52	128	114
SST	16	12	10	10	4	4	6	32	8	88	8
SSF	4	10	6	8	2	2	4	16	6	26	6
SEV	2	2	4	2	2	2	2	16	2	62	2
SDT	152	138	154	158	156	174	148	140	174	186	152
SDF	84	76	128	76	65	18	88	94	124	120	40
SDV	48	62	24	82	90	156	60	56	50	66	112
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	0.7	<0.1
CE umhos/cm	184	152	153	184	178	171	153	154	191	219	174
Dureza total											
CaCO3	60	69	--	59	--	55	51	51	57	94	66
Turbiedad											
SI02	9.3	10.2	7.5	5.4	3.3	6.7	4.6	2.55	10.1	32.5	8.0
Basto l/s	4.5	38	110	--	34.5	--	101	134	117	88	94

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.5. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN  
ESTACION E.5. DESPUES DE LA DESCARGA DE LODOS DE ECCACIV.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO											
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83	
pH	7.5	7.5	7.3	8.4	7.3	7.4	7.5	6.9	7.3	7.4	7.8	
Temp. oC	25	23	20	21	20	23	22	20	26	25	27	
OD	1.2	0	0	1.2	0	0	--	1.0	0	0	0	
DBO-5	47	172	270	274	203	101	364	81	527	527	243	
DBO	800	480	1866	445	530	730	930	160	1180	734	1109	
C y A	10	34	20	269	283	24	52	155	88	36	11	
PO4-T	4.50	1.42	2.00	3.37	2.39	1.64	6.26	0.96	6.89	4.66	5.40	
PO4-Grto	0.06	<0.01	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
N-T	31.74	63.69	--	--	--	54.38	67.39	18.00	78.92	62.16	53.45	
N-Crg	16.36	17.13	--	--	--	25.15	49.21	7.18	37.94	25.00	40.88	
N-NH3	15.38	46.56	25.28	18.00	49.93	29.23	18.18	10.82	40.88	27.16	12.69	
N-NO3	0.019	<0.001	0.026	0.480	0.274	0.046	0.130	0.568	0.041	0.040	0.141	
N-NO2	<0.001	0.002	0.008	0.061	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
ST	772	968	1928	848	1520	1136	1114	444	1248	968	1116	
STF	740	692	860	264	604	644	522	260	484	520	536	
STV	32	276	1068	584	916	492	592	184	784	448	580	
SST	63	88	990	97	880	160	580	46	420	427	600	
SSF	56	8	190	54	500	67	350	4	100	80	300	
SSV	7	80	800	43	380	93	230	42	320	347	300	
SST	709	880	938	751	640	976	534	398	848	541	516	
SDF	684	684	670	210	104	577	172	256	384	440	236	
SDV	25	196	268	541	536	399	362	142	464	101	280	
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	50	<0.1	37	1.0	10.0	<0.1	7.5	12	14	
CE umhos/cm	1004	1405	1183	1175	1398	1383	1058	551	1691	978	1032	
Dureza total												
CaCO3	198	234	347	272	350	303	235	115	324	252	218	
Turbiedad												
UTJ	175	170	750	190	800	180	300	--	420	600	530	
Gasto l/s	637	553	180	--	528	--	242	284	659	1136	633	

† Turbiedad como SiO2.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.6. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.6. PUENTE EN EMILIANO ZAPATA.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.3	--	7.4	8.1	7.5	7.4	7.2	7.1	7.7	7.6	7.8
Temp. °C	25	23	19	16	19	23	26	27	27	25	--
OD	1	0.6	0	1.2	0	0	0	0	0	0	0
DBO-5	81	--	106	243	233	268	243	203	770	109	97
D20	200	--	350	440	490	385	570	390	1250	444	277
G y A	12	45	33	300	295	34	32	354	104	20	4
FD4-T	3.50	--	1.40	2.69	3.06	4.07	6.45	3.30	5.09	3.88	1.17
FD4-Orto	0.04	--	0.06	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	33.47	--	--	--	--	40.50	49.35	40.50	110.46	41.30	20.38
N-Brq	15.37	--	--	--	--	13.32	17.15	12.41	59.36	19.00	10.05
N-NH3	16.10	--	31.43	21.09	26.56	27.18	32.20	22.09	51.10	13.30	20.30
N-NO3	0.013	--	0.071	0.468	0.463	<0.001	0.102	0.385	0.968	0.756	0.218
N-NO2	0.001	--	0.008	0.022	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.071	<0.001
ST	732	--	910	740	878	918	918	818	1706	888	716
STF	494	--	696	360	578	338	178	574	1060	334	478
STV	238	--	214	390	300	580	740	244	646	554	238
SST	68	--	93	135	240	52	93	84	760	400	58
SSF	48	--	46	95	113	4	33	30	260	150	28
SSV	20	--	47	40	127	48	60	54	500	250	30
SDT	664	--	817	605	638	866	825	734	946	488	658
SDF	446	--	650	265	465	334	145	544	800	184	450
SDV	218	--	167	340	173	532	680	190	146	304	208
SSed. ml/l	<0.1	--	0.2	0.3	1.4	<0.1	0.1	0.1	19.0	10.0	<0.1
CE umhos/cm	950	--	1236	1018	1093	1261	1318	1219	1800	510	978
Dureza total											
CaCO3	214	--	237	208	269	260	248	235	359	208	218
Turbiedad											
UTJ	170	--	110	165	380	200	290	120	600	230	432
Gasto l/s	637	449	2268	--	312	--	189	76	522	1230	645

† Turbiedad como SiO2.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.7. RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.7. LAS COMPUERTAS.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO									
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/1/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.5	7.0	7.5	8.2	7.4	7.3	7.7	7.4	7.7	7.9
Temp. °C	22.5	25	20	17	20	25	25	27	26	--
OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DBO-5	34	30	111	137	218	365	162	162	162	142
DBO	240	150	296	480	436	476	360	480	280	307
G y A	8	31	41	240	202	37	16	116	16	7
PC4-T	3.0	7.7	1.5	3.7	1.7	8.1	3.9	0.64	2.85	1.73
PC4-Orto	0.15	0.06	0.08	<0.01	<0.01	0.21	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	23.8	45.4	--	--	--	35.6	43.3	50.8	31.22	20.86
N-Drg	12.6	9.4	--	--	--	13.2	12.2	21.5	17.5	6.37
N-NH3	11.2	36	24.6	20.1	29.6	22.3	31.1	29.3	13.72	14.49
N-ND3	0.02	0.02	0.22	0.11	0.38	<0.001	0.119	0.096	0.059	0.265
N-ND2	<0.001	0.001	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ST	719	646	910	736	826	802	836	1044	720	768
STF	486	454	504	222	558	496	59	276	210	118
STV	232	192	406	514	268	306	246	768	510	650
SGT	107	40	60	124	185	76	64	225	175	89
SGF	24	36	20	12	110	24	16	130	130	36
SSV	83	4	40	112	75	52	48	95	45	52
SDT	611	606	850	612	641	726	772	819	545	680
SDF	462	418	484	210	448	472	574	146	80	82
SDV	149	188	366	402	193	254	198	673	455	598
SSed. ml/l	0.3	<0.1	<0.1	0.1	0.7	0.3	<0.1	1.8	3.0	0.3
CE umhos/cm	898	945	1161	950	1071	1040	1352	1518	763	979
Dureza total										
CaCO3	209	212	297	209	235	239	248	286	218	218
Turbiedad										
UTJ	275	132	122	140	360	220	49	180	150	138.5
Gasto l/s	39	10	68	--	66	--	34	63	24	114

† Turbiedades como SiO2.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.8. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.8. CANAL FRENTE A LA QUEBRADORA.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO									
	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83	
pH	6.9	7.4	8.4	7.4	7.9	7.8	7.8	7.2	7.8	
Temp. °C	25	20	18	20	25	25	25	--	--	
DD	0	0	0	0	0	4.4	0	0	0	
DBO-5	193	33	122	167	101	207	162	67	81	
DDO	620	180	220	386	385	400	200	125	168	
G y A	73	16	125	195	29	23	116	4	8	
PC4-T	9.4	2.7	2.6	2.0	2.0	0.11	4.5	0.84	1.10	
PC4-Orto	0.10	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
N-T	99.4	--	--	--	43.2	47.3	84.6	16.85	23.1	
N-Org	23.0	--	--	--	14.1	13.2	36.3	7.09	4.9	
N-NH3	76.4	23.0	15.0	36.4	29.1	34.1	48.3	9.8	18.2	
N-NO3	1.53	0.08	0.72	0.54	<0.001	0.130	0.074	0.603	0.213	
N-NO2	0.001	0.003	0.029	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.098	<0.001	
ST	1950	844	730	886	996	882	1360	562	622	
STF	1278	668	324	620	658	628	938	206	144	
STV	572	176	406	266	338	254	422	356	478	
SST	470	90	104	220	96	68	240	113	54	
SSF	244	47	44	145	40	12	100	36	22	
SSV	216	43	40	75	56	56	140	77	32	
SDT	362	754	626	666	900	814	1120	449	569	
SDF	1018	621	260	475	618	616	838	170	122	
SDV	362	133	366	191	282	198	282	279	446	
SSed. ml/l	5.0	0.45	<0.1	1.4	0.7	0.1	6.0	0.1	<0.1	
CE uenos/cc	2131	1010	1007	1198	1310	1469	1721	667	718	
Dureza total										
CaCO3	429	297	200	--	282	269	312	193	218	
Turbiedad										
UTJ	400	--	--	300	110	110	220	124	127	
Gasto l/s	35	75.4	--	88	--	47	71	1008	76	

† Turbiedades como SI02.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.9. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.9. GRANJAS MERIDA

PARAMETROS :	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.6	7.6	7.7	8.7	7.5	7.5	8.1	7.8	7.3	7.5	7.8
Temp. °C	23	22	20	16	20	23	22	21	25	25	--
OD	3.2	3.4	4.2	2.4	2.1	1.8	0	3.6	3.0	1.0	0
DBO-5	21	5	2	57	47	35	5	6	40	40	42
DQO	60	40	15	80	103	55	20	25	70	55	125
S y A	22	75	14	243	308	33	16	146	45	4	3
PC4-T	0.80	0.32	0.65	1.19	0.71	0.56	0.34	1.13	0.67	0.58	0.55
PC4-Orto	0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	0.20	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	8.66	10.63	--	--	--	11.31	1.00	2.75	9.40	9.05	15.67
N-Drg	2.76	2.73	--	--	--	4.21	1.00	2.02	3.92	4.29	4.27
N-NH3	5.90	7.90	2.24	11.11	15.33	7.10	<0.05	0.73	5.48	4.74	15.40
N-NO3	0.025	0.060	2.310	1.551	0.907	0.757	2.550	2.311	0.535	0.170	0.450
K-MO2	0.011	0.009	0.055	0.045	0.045	0.130	0.057	0.070	0.022	0.055	<0.001
ST	410	420	116	504	554	492	288	434	476	608	570
STF	260	344	30	156	250	64	170	110	26	274	58
STV	150	76	86	348	304	428	118	324	450	334	512
SST	18	4	10	68	78	4	10	134	22	144	50
SSF	14	2	4	54	38	2	8	106	12	96	18
SSV	4	2	6	14	40	2	2	26	10	48	32
SST	392	416	104	436	476	488	278	300	454	444	520
SDF	246	342	26	102	212	62	162	4	14	178	40
SDV	146	74	80	334	264	426	116	294	440	284	480
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	0.5	0.7	0.1	1.8	0.5	1.2	0.3
CE ushos/ce	594	609	400	679	834	673	378	339	782	575	809
Dureza total											
CaCO3	242	173	161	174	247	222	145	162	179	218	229
Turbiedad											
SiO2	12.5	6.1	9.0	11.7	11.0	12.1	8.6	10.1	12.1	11.0	32
Gasto l/s	766	472	716	--	802	--	550	258	751	2500	1018

\* Turbiedades como UTJ.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.10. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.10. CONFLUENCIA CON EL RIO APATLACO

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.4	7.5	7.6	8.7	7.5	7.4	7.6	7.8	7.5	7.4	7.9
Temp. °C	23	22	20	18	24	22	22	20	25	27	--
OD	5.4	4.8	4.6	4.4	4.3	2.2	--	4.2	2.4	3.0	2.6
DBO-5	1.0	1.0	1.0	20	4	3	2	6	2	82	12
DBD	20	5	5	100	15	5	10	10	10	101	35
G y A	73	75	4	205	227	30	10	9	64	6	2
PO4-T	2.3	0.01	0.80	0.66	<0.01	0.22	0.09	0.29	0.16	1.08	0.22
PO4-Orto	0.40	<0.01	0.06	0.27	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	0.23	0.23	--	--	--	0.20	0.11	0.56	0.28	4.66	1.17
N-Org	0.23	0.23	--	--	--	0.20	0.11	0.56	0.28	4.66	1.17
N-NH3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
N-NO3	0.027	1.050	1.013	1.302	1.296	0.541	0.985	1.552	0.952	1.151	1.450
N-NO2	0.003	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.014	<0.001	0.132	0.048
ST	889	859	862	892	854	894	892	1260	804	1146	842
STF	612	654	608	302	290	732	352	1060	296	624	622
STV	276	204	254	590	564	162	540	209	508	520	220
SST	20	4	74	6	12	22	10	20	16	436	112
SSF	18	2	50	4	10	20	8	18	14	334	74
SEV	2	2	24	2	2	2	2	2	2	92	38
SDT	868	854	788	886	942	872	882	1240	788	710	730
SDF	594	652	558	298	280	712	344	1042	282	282	548
SDV	274	202	230	588	562	160	538	198	506	428	182
SSed. s/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.0	0.1
CE uehos/ca	1026	1031	951	1084	1107	1095	1188	1537	1125	742	953
Dureza total											
CaCO3	731	632	593	620	34	628	628	732	62	153	549
Turbiedad											
SiO2	8.2	3.5	3.7	3.4	6.4	3.6	2.7	3.7	3.9	1170	1120
Gasto l/s	1350	849	949	--	657	--	507	736	768	--	1062

† Turbiedades como UTJ.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 5.11. RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.11. RIO APATLACO.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO										
	4/8/82	6/10/82	9/11/82	27/2/83	17/2/83	18/3/83	20/4/83	10/5/83	15/6/83	12/7/83	6/8/83
pH	7.5	7.4	7.5	8.5	7.6	8.0	7.5	7.7	7.4	7.5	7.8
Temp. °C	23	23	20	18	24	22	22	21	26	27	--
OD	6.0	4.8	5.2	5.6	--	3.0	4.6	4.0	3.8	2.8	1.2
D90-5	3	6	1	18	1	41	2	2	6	101	2
D90	30	15	15	40	14	100	5	5	35	125	40
S y A	8	74	13	228	334	31	10	171	86	3	3
FD4-T	1.20	0.26	0.65	0.63	0.67	0.28	2.21	0.35	3.62	0.84	0.08
FD4-Orto	0.10	0.01	0.06	0.22	0.50	0.24	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-T	0.52	1.17	--	--	--	0.22	0.17	0.56	1.17	4.38	0.56
N-Org	0.52	1.17	--	--	--	0.22	0.17	0.56	0.95	2.61	0.56
N-NH3	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.22	1.77	<0.05
N-NO2	0.027	1.170	1.270	1.218	1.524	0.896	0.643	1.546	1.180	1.337	1.735
N-NO3	0.016	<0.001	0.008	<0.001	0.060	<0.001	<0.001	0.015	0.097	0.130	0.643
ST	766	836	652	856	750	888	814	1324	666	950	859
STF	564	688	226	382	208	746	692	744	218	298	154
STV	222	148	426	474	542	142	122	580	458	652	704
SST	20	12	42	20	16	12	14	12	22	267	52
SSF	12	8	32	18	12	10	12	10	16	200	10
SSV	8	4	10	2	4	2	2	2	6	67	42
SDT	766	824	610	836	734	876	800	1312	664	683	806
SDF	552	680	194	364	196	736	680	734	202	98	144
SDV	214	144	416	472	538	140	120	578	462	585	662
SSed. ml/l	<0.1	<0.1	0.15	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.4	1.4	0.1
CE umhos/cm	929	966	811	1084	998	1089	1188	1510	1012	759	1044
Dureza total											
CaCO3	643	606	432	649	--	636	679	760	250	341	178
Turbiedad											
SiO2	13.1	2.4	10.1	3.3	5.3	5.7	3.3	3.9	6.4	4.3	10.1
Gasto l/s	--	3465	3708	--	1645	--	1320	1148	2216	--	3217

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

### 5.1.2. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD AGRONOMICA.

Los cuatro muestreos adicionales para determinar la calidad agronómica del agua se realizaron entre el 6 de agosto de 1983 y el 12 de diciembre del mismo año. En el primer muestreo se tomaron muestras de todas las estaciones, pero en los muestreos subsecuentes se eliminaron las estaciones E.4, E.5, E.7 y E.8, por los siguientes motivos:

La estación E.4 del canal tributario que aporta aguas de retorno agrícola a la barranca, representa, de acuerdo a los resultados de los muestreos anteriores, agua prácticamente libre de contaminación orgánica, lo cual confirma su procedencia de un manantial. Por este motivo no se consideró necesario continuar los muestreos en este sitio.

La estación E.5 localizada aguas abajo de la descarga de lodos de la planta de tratamiento, se eliminó por su cercanía con la estación E.3 y porque la planta de tratamiento no tenía programado descargar lodos a la barranca en este último período de muestreos.

Las estaciones E.7 y E.8 localizadas en canales de riego, se suprimieron porque en esta época del año es frecuente que el agua se desvíe a otros canales, como se observó en los últimos muestreos de la primera etapa, de tal manera que no era posible tomar las muestras al momento de hacer las visitas. Para no alterar la información ya

obtenida en la primera etapa de muestreos, se evitó tomar muestras en otros canales. Además, se consideró que para evaluar la calidad del agua de la barranca Tlahuapan para uso agrícola, es suficiente contar con el resto de las estaciones.

Los resultados de esta parte del estudio se presentan en las Tablas 5.12 a la 5.19, para cada una de las estaciones, con excepción de la última tabla que contiene los resultados del único muestreo de las estaciones E.4, E.5, E.7 y E.8, y se incluyen para ser considerados en la evaluación de resultados.

En cuanto a los parámetros analizados se tienen las siguientes observaciones: Los análisis de pH, bicarbonatos, sulfatos y cloruros se determinaron con los métodos fisicoquímicos convencionales. Los metales se analizaron por absorción atómica a la flama, y en algunas ocasiones, el plomo se analizó con horno de grafito, como lo indican los diferentes límites de detección que se reportan para ese elemento. Los resultados de éstos parámetros se expresan en mg/l. Después del primer muestreo se incluyeron los análisis bacteriológicos, por considerarse de importancia en el aspecto sanitario de la calidad del agua. Se determinaron los coliformes totales y fecales y los estreptococos fecales por el método de tubos múltiples, obteniendo los resultados como el número más probable en 100 ml (NMP/100 ml).

La relación de adsorción de sodio (RAS), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2]^{0.5}$$

las concentraciones de los iones se expresan en meq/l.

El análisis de los elementos: arsénico, mercurio, níquel, cobre y cromo hexavalente, reportó concentraciones menores a los límites de detección; estos límites se indican a continuación.

Elemento	Límite de detección
	mg/l
As	0.001
Hg	0.0005
Ni	0.10
Cu	0.05
Cr <sup>+6</sup>	0.01

---

TABLA 5.12 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.1 AGUAS ARRIBA DE LA DESCARGA DE ECCACIV

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	8.1	7.8	7.9	7.6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	47	110	89	103
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	681	14	16	12
Cl <sup>-</sup>	22	120	14	23
B	0.10	0.24	<0.10	<0.10
Ca	50	--	17	5.7
Mg	6.2	--	13.4	5.1
Na	28.7	--	15.2	20
K	7.6	--	4.5	3.8
Fe	0.60	--	0.27	0.20
Mn	0.08	--	<0.05	<0.05
Zn	0.02	--	0.05	<0.02
Pb	<0.0005	--	0.0011	<0.5
RAS	1.02	--	0.67	1.46
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	9x10 <sup>7</sup>	2x10 <sup>7</sup>	>=2.4x10 <sup>8</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	4x10 <sup>7</sup>	7x10 <sup>6</sup>	>=2.4x10 <sup>8</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	4x10 <sup>6</sup>	1.1x10 <sup>5</sup>	9.3x10 <sup>4</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.13 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.2 DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.7	7.6	7.4	7.3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	134	324	218	313
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1011	262	218	313
Cl <sup>-</sup>	157	332	150	198
B	<0.10	0.14	<0.10	<0.10
Ca	218	--	65	80
Mg	9.2	--	14	13.4
Na	171.3	--	96.2	78
K	18.9	--	7.6	17.4
Fe	2.50	--	1.90	2.70
Mn	0.22	--	0.12	0.23
Zn	0.58	--	0.20	0.15
Pb	0.0029	--	0.0028	<0.50
RAS	3.09	--	2.82	2.12
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	2.8x10 <sup>16</sup>	4.3x10 <sup>16</sup>	1.5x10 <sup>17</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	2.1x10 <sup>16</sup>	2.1x10 <sup>16</sup>	9.3x10 <sup>16</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	7.0x10 <sup>14</sup>	<3.0x10 <sup>12</sup>	9.3x10 <sup>12</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.14 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.3 AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE ECCACIV

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.7	7.5	7.6	7.4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	103	272	137	218
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	37	151	102	187
Cl	96	252	86	115
B	0.42	<0.10	0.21	<0.10
Ca	91	90	37	45
Mg	5.9	15.0	12.0	8.9
Na	106.5	133.0	47.3	47.0
K	13.7	13.5	6.3	10.8
Fe	2.50	0.40	0.93	1.80
Mn	0.23	0.79	0.13	0.19
Zn	0.25	0.23	0.12	0.18
Pb	0.0222	0.0134	0.0060	<0.5
RAS	2.92	3.41	1.73	1.67
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	$\geq 2.4 \times 10^{14}$	$3 \times 10^{13}$	$1.1 \times 10^{14}$
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	$2.4 \times 10^{14}$	$< 3 \times 10^{13}$	$2.1 \times 10^{13}$
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	$< 3 \times 10^{10}$	$< 3 \times 10^9$	$4 \times 10^8$

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.15 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.6 PUENTE EN EMILIANO ZAPATA

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.8	7.7	7.6	7.7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	78	48	47	207
SD <sub>4</sub> <sup>-</sup>	403	8	10	74
Cl <sup>-</sup>	85	20	4	38
B	0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Ca	7.5	--	11	33
Mg	7.0	--	9.7	6.7
Na	53.7	--	34	41
K	10.4	--	1.54	9.8
Fe	1.60	--	0.20	1.87
Mn	0.35	--	<0.05	0.19
Zn	0.02	--	<0.02	<0.02
Pb	<0.0005	--	<0.0005	<0.5
RAS	3.38	--	1.80	1.70
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	1.4x10 <sup>6</sup>	4.6x10 <sup>7</sup>	1.1x10 <sup>9</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	9x10 <sup>5</sup>	9.3x10 <sup>6</sup>	1.1x10 <sup>9</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	<3x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>4</sup>	2.4x10 <sup>5</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.16 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.9 GRANJAS MERIDA

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.8	7.8	7.6	7.8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	82	156	161	192
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	479	80	74	12
Cl <sup>-</sup>	60	146	51	82
B	0.14	<0.10	0.20	0.10
Ca	82	--	29	34
Mg	12.1	--	11.2	12.0
Na	59.3	--	24	34
K	8.5	--	5.33	7.4
Fe	0.60	--	1.67	0.03
Mn	0.05	--	0.07	0.06
Zn	0.02	--	0.54	0.18
Pb	<0.0005	--	0.0039	<0.5
RAS	1.62	--	0.96	1.28
coliformes totales				
NMP/100ml	--	4.3x10 <sup>5</sup>	>=2.4x10 <sup>7</sup>	>=2.4x10 <sup>8</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	4.3x10 <sup>5</sup>	>=2.4x10 <sup>7</sup>	>=2.4x10 <sup>7</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	7x10 <sup>3</sup>	7x10 <sup>4</sup>	2.4x10 <sup>5</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.17 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.10 CONFLUENCIA CON EL RIO APATLACO.

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.9	7.9	7.7	7.9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	103	308	159	194
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1084	216	10	65
Cl <sup>-</sup>	29	25	51	83
B	0.12	0.16	<0.10	0.14
Ca	181	--	26	--
Mg	72.5	--	12	--
Na	22.2	--	28.0	--
K	3.9	--	5.9	--
Fe	0.90	--	1.23	--
Mn	<0.05	--	0.018	--
Zn	<0.02	--	<0.02	--
Pb	0.010	--	0.0014	--
RAS	0.35	--	1.14	--
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	--	7.5x10 <sup>6</sup>	>=2.4x10 <sup>8</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	--	4.3x10 <sup>6</sup>	>=2.4x10 <sup>8</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	--	7x10 <sup>4</sup>	4.6x10 <sup>5</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.18 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN

ESTACION E.11 RIO APATLACO

PARAMETROS	FECHAS DE MUESTREO			
	6/8/83	15/11/83	28/11/83	6/12/83
pH	7.8	7.9	8.1	8.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	115	304	99	101
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1127	229	109	19
Cl <sup>-</sup>	28	21	10	16
B	0.14	0.20	0.10	0.10
Ca	190	--	13	--
Mg	43.7	--	8.2	--
Na	24.1	--	15.4	--
K	3.5	--	4.35	--
Fe	0.12	--	0.23	--
Mn	<0.05	--	0.16	--
Zn	<0.02	--	<0.02	--
Pb	0.0010	--	0.0028	--
RAS	0.41	--	0.82	--
coliformes totales				
NMP/100 ml	--	--	1.1x10 <sup>7</sup>	9.3x10 <sup>5</sup>
coliformes fecales				
NMP/100 ml	--	--	2.4x10 <sup>6</sup>	4.3x10 <sup>5</sup>
estreptococos fecales				
NMP/100 ml	--	--	2.4x10 <sup>5</sup>	4.5x10 <sup>5</sup>

Las unidades son mg/l.

TABLA 5.19 RESULTADOS DE LA CALIDAD AGRONOMICA DEL AGUA  
EN LA BARRANCA TLAHUAPAN.

MUESTRAS TOMADAS EL 6 DE AGOSTO DE 1983 EN 4 ESTACIONES.

PARAMETROS	ESTACIONES			
	E.4	E.5	E.7	E.8
pH	8.1	7.8	7.8	7.9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31	101	78	93
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	34	656	403	611
Cl <sup>-</sup>	14	97	85	57
B	0.10	0.27	0.10	<0.10
Ca	40	93	75	88
Mg	5.4	7.5	7.0	6.9
Na	14.0	109	53.7	82.4
K	2.1	13.3	10.4	12.2
Fe	<0.10	1.50	1.60	1.35
Mn	<0.05	0.22	0.35	0.29
Zn	<0.02	0.18	0.02	0.02
Pb	0.0039	0.0010	<0.0005	<0.0005
RAS	0.55	2.92	1.59	2.27

Las unidades son mg/l.

Estación E.4 Canal tributario.

Estación E.5 Después de la descarga de lodos de ECCACIV.

Estación E.7 Canal Las Compuertas.

Estación E.8 Canal frente a la quebradora.

## 5.2. RESULTADOS RELACIONADOS CON EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

Los resultados de esta parte del estudio se refieren a los rendimientos agrícolas de los campos que usan agua de la barranca Tlahuapan, con el fin de buscar una posible relación entre los rendimientos y la calidad del agua. Además de los resultados de la encuesta que se hizo para conocer la opinión de los campesinos sobre el uso del agua para riego.

Como se explica en el capítulo anterior, son diez los campos que la SARH tiene registrados para proporcionarles agua de la barranca, esos terrenos son de propiedad ejidal, suman un total de 437.2 ha y de ellos resultan beneficiarios 339 ejidatarios. En la Tabla 4.2 se muestra la relación de los canales de riego que abastecen de agua a cada uno de los campos, así como la superficie y número de usuarios respectivos. La localización de los campos se presenta en el Plano 4.1.

### 5.2.1. INFORMES DE LOS RENDIMIENTOS AGRICOLAS

Al confirmar el uso del agua de la barranca en la agricultura, se investigaron los rendimientos agrícolas para tratar de establecer alguna diferencia entre los rendimientos obtenidos antes del tratamiento de las aguas

residuales industriales, con los obtenidos después de la construcción de la planta de tratamiento. Para esto se solicitó la información al Distrito de Riego 16 en el poblado de Emiliano Zapata, de esta forma se reunieron datos de rendimientos agrícolas correspondientes a los periodos 1977-78, 1979-80 y 1982-83.

La información disponible de los rendimientos y superficie cultivada abarca los tres periodos para cinco de los campos únicamente; dos periodos, de 1977-78 y 1982-83 para los campos Amatitlán y Campo Verde; y para los campos Azezentla y Las Compuertas solamente se tienen datos del periodo de 1982-83. Para el Campo Nuevo no se encontró información de rendimientos anteriores a ECCACIV y en la etapa de muestreos de este estudio ese sitio estaba destinado a la construcción de fraccionamientos.

De los registros de la SARH fueron proporcionados los datos de la superficie cultivada y el rendimiento medio obtenido para cada siembra; de tal manera que para un campo dado se encuentran diversos registros de un mismo tipo de cultivo, con sus correspondientes rendimientos. Con el fin de analizar alguna variación en los rendimientos que se registraron para cada periodo, se integraron las tablas numeradas del 5.20 al 5.27 con la información correspondiente a cada uno de los campos. En dichas tablas se separa la información por periodo anual y se indican los rendimientos registrados para cada cultivo y la superficie total sembrada.

Los rendimientos para cada cultivo pueden ser un sólo dato, en caso de que los rendimientos sean constantes, o varios datos si se llegan a tener rendimientos diferentes. La superficie cultivada en las tablas representa la suma de las superficies que fueron sembradas para cada tipo de cultivo en el período anual a que corresponden. En las tablas también se indica la superficie del campo y el % de la superficie sembrada en cada período. Cabe aclarar que la siembra se puede realizar tanto en época de riego como de temporal, en la misma superficie, por lo anterior, es posible que la superficie total sembrada en un período anual sea mayor que la superficie del campo.

En general, los rendimientos se expresan en ton/ha, excepto en los siguientes casos: el nardo, cuyo rendimiento se mide en miles de varas/ha; el elote, en miles de piezas/ha; el pápalo en manojos/ha, y la gladiola en gruesas/ha.

Los cultivos registrados el mayor número de veces en todos los campos son : maíz, frijol, arroz, tomate, jitomate, elotes, caña, pepino y calabaza. Y en segundo lugar las flores: nardo, cempasuchil, ocre, pápalo y gladiola, al igual que las hortalizas: cebolla, melón, sandía, berenjena y ejote.

La información de las tablas muestra una variabilidad en los cultivos que se siembran en cada período, lo cual indica que no existe un programa de cultivos definido y que los campesinos tienen la libertad de elegir sus cultivos;

esa elección puede estar influenciada por diversos factores, de los cuales el más importante es el precio de garantía de los productos. Además, se observa que para todos los campos la información correspondiente al período de 1979-80 es muy escasa; sin embargo, se revisaron los archivos correspondientes y no se encontraron más registros. Por tanto, es posible suponer que no se sembró lo acostumbrado, o bien, que se omitieron los registros.

Los rendimientos promedio esperados para los principales cultivos son los siguientes: maíz 3 ton/ha, frijol 2 ton/ha, tomate 5 ton/ha, arroz 7 ton/ha, jitomate 15 ton/ha, y caña con 150 ton/ha.

TABLA 5.20. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO GUANTE T.

CULTIVOS	RENDIMIENTOS			SUPERFICIE CULTIVADA		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
maiz	3	3	2	18.6	3	2.5
arroz	5			8.6		
frijol	1.5 y 2		2	4.9		0.5
tomate	4			1.0		
nardo (varas/ha)	100,000			0.8		
jitomate	8			0.5		
elotes (miles/ha)			6, 8 y 13			5.5
Superficie del campo: 29.5 ha						
% sembrado:				116.6	10.2	28.8

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.21. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO GUANTE R.

PERIODOS:	RENDIMIENTOS			SUPERFICIE CULTIVADA		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
CULTIVOS	ton/ha			ha		
maíz	2, 3 y 3.5	3	2 y 3	11.5	6.0	11.3
arroz	5 y 6		3.5	4.2		2.5
nardo (varas/ha)	100,000			7.0		
tomate	3 y 4			2.0		
frijol	2	2		4.0	1.0	
caña	100			4.0		
elote (miles/ha)			3, 6 y 13			5.0
cempasuchil			10			1.0
pepino		9 y 10			2.0	
calabaza			3			1.0
Superficie del campo:	36 ha					
% sembrado:				90.8	2.5	57.8

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.22. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO EL LLANO.

PERIODOS:	RENDIMIENTOS			SUPERFICIE CULTIVADA		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
CULTIVOS	ton/ha			ha		
maiz	3	3	2 y 3	18.0	6.5	11.0
arroz	5 y 6	5 y 6	4 y 5	22.3	3.3	4.5
calabaza	5 y 7	10		17.2	0.7	
jitomate	6 y 11		5	10.9		5.0
tomate	6		4	0.8		4.0
cebolla	10			7.5		
frijol	2	2	2	13.8	9.5	1.6
melón	8			1.3		
caña	100			1.9		
ocre			8			8.0
elote (miles/ha)			1			13.0
pepino		13			2.5	
Superficie del campo: 66 ha						
% sembrado:				142	34	60.4

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.23. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO SAN GABRIELES.

PERIODOS:	RENDIMIENTOS			SUPERFICIE CULTIVADA		
	ton/ha			ha		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
CULTIVOS						
frijol	2		2.5	3.5		2.5
maíz	2.5 y 3	2.5 y 3	2.5	9.0	3.0	8.0
pepino	6 y 8	12	6	5.2	2.5	1.0
caña	150		160	3.5		14.5
pápalo (manojos/ha)	1000			2.0		
calabaza	5 y 7		8	2.8		2.8
jitomate	6	6		4.0	1.2	
arroz			6			2.0
Superficie del campo:	36.8 ha					
% sembrado:				81.5	18.2	83.7

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.24. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA

EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO TEMALACA.

CULTIVOS	RENDIMIENTOS			SUPERFICIE CULTIVADA		
	ton/ha			ha		
PERIODOS:	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
cempasuchil	10		20	3.1		1.0
frijol	2	3	2	29.5	1.5	4.0
maiz	2.5	3	2 y 3	8.5	3.0	15.1
calabaza	5 y 7		11	21.0		3.2
jitomate	6			8.0		
pepino	5			1.2		
gladiola (gruesas/ha)			600			1.0
arroz			4			1.0
caña			200			37.0
sandía		4			1.0	
berenjena		6			0.5	

Superficie del campo: 75.8 ha

% sembrado: 94 7.9 82.2

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.25. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
 EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO AMATITLAN.

CULTIVOS	RENDIMIENTOS		SUPERFICIE CULTIVADA	
	ton/ha		ha	
	1977-78	1982-83	1977-78	1982-83
caña	150	160	18.0	11.0
calabaza	7		1.0	
maiz		2.5		1.0
arroz		4		7.0
frijol		2.5		1.0
Superficie del campo: 75.8 ha				
% sembrado:			25	26.4

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.26. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
EN DIFERENTES PERIODOS.

CAMPO VERDE.

CULTIVOS	RENDIMIENTOS		SUPERFICIE CULTIVADA	
	ton/ha		ha	
	1977-78	1982-83	1977-78	1982-83
pepino	8		0.5	
caña	150		13.5	
maiz	3	2.5 y 3	3.5	14.6
jitomate	6	12	1.0	6.8
frijol	2		0.5	
arroz		3 y 5		16.0
Superficie del campo: 47.4 ha				
% sembrado			40	78.9

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

TABLA 5.27. RENDIMIENTOS AGRICOLAS Y SUPERFICIE CULTIVADA  
 EN EL PERIODO 1982-83.

CAMPOS AZEZENTLA Y COMPUERTAS

CULTIVOS	AZEZENTLA		COMPUERTAS	
	RENDIMIENTOS	SUPERFICIE	RENDIMIENTOS	SUPERFICIE
		CULTIVADA		CULTIVADA
	ton/ha	ha	ton/ha	ha
arroz			2	8.0
maíz	2 y 3	46.0	2 y 3	7.0
tomate	7 y 8	6.1	8	2.0
ejote			7	3.0
calabaza	10	2.2	6	1.0
frijol	2	0.5	1 y 1.5	3.0
caña			180	13.7
pepino	4	1.0	10	1.0
jitomate	6, 10 y 15	9.7		
elote	13	10.4		
(miles/ha)				

Superficie de Azezentla: 44 ha, % sembrado 172.5.

Superficie de Compuertas: 65.5 ha, % sembrado 57.7.

Fuente: Distrito de Riego 16, SARH en el Edo. de Morelos.

## 5.2.2. RESULTADOS DE LA ENCUESTA.

Uno de los aspectos relacionados con el aprovechamiento del agua de la barranca Tlahuapan para el uso agrícola, se refiere a la aceptación del agua por parte de los campesinos. Para evaluar esta aceptación, se realizó una encuesta entre los campesinos que se encontraron laborando en el campo al momento de hacer los muestreos de agua, en los meses de julio a noviembre de 1982.

Como ya se indicó en el capítulo anterior, dicha encuesta se planeó para obtener información sobre la localización de los terrenos agrícolas que se riegan con el agua de la barranca, el tipo de propiedad, las áreas dedicadas a cada cultivo, las especies cultivadas en cada época del año, el uso de fertilizantes y plaguicidas, y en especial, los efectos que los campesinos han notado en los cultivos por el uso del agua de la barranca.

Se entrevistaron 12 personas con los resultados que ha continuación se indican:

1) Localización de los terrenos de cultivo. Los campos que tradicionalmente se riegan con agua de la barranca Tlahuapan, corresponden a los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata.

2) Tipo de propiedad. Las áreas de cultivo de la zona, relacionadas con el agua de la barranca, son terrenos ejidales, cultivados por los propios ejidatarios. A cada

ejidatario le corresponden 2 ha, pero es común que entre ellos mismos se renten los terrenos.

3) Personas que proporcionaron los datos. Las personas entrevistadas se encontraron laborando en el campo, de manera que las opiniones son de los propios campesinos.

4) Areas de cultivo. En general, cada ejidatario se dedica a sembrar sus 2 ha, pero es posible que algunos lleguen a trabajar hasta 20 ó más hectáreas, cuando consiguen rentar terrenos; esta práctica es común en el cultivo de la caña, para que resulte costeable.

5) Época de siembra. En la zona se siembra tanto en época de lluvias como en época de estiaje, ésta última abarca los meses de diciembre a mayo, y es cuando más se aprovecha el agua de la barranca para el riego, haciéndose necesaria su dosificación.

6) Cultivos que se siembran. Los principales cultivos que se siembran son: caña de azúcar, maíz, pepino, frijol, jitomate, sorgo forrajero, arroz y calabaza, sin seguir un programa definido. Es práctica común la rotación de cultivos.

7) Tipo de agua empleada para riego. En época de lluvias aumenta el caudal de la barranca y mejora la calidad del agua, pero resulta innecesario el riego de los cultivos. Por el contrario, en la época de estiaje se hace indispensable el agua de la barranca, la cual se distribuye mediante una red de canales de riego.

B) Fertilizantes y plaguicidas. Los fertilizantes y plaguicidas que se aplican a los cultivos, cuando son necesarios, son proporcionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. En la encuesta únicamente se obtuvieron nombres comunes como herbicida 210, matahierba, sulfato de amonio, o simplemente "fertilizante".

9) Efectos en los cultivos. Las opiniones de los campesinos sobre los efectos que ellos han notado en los cultivos coinciden en que el agua de la barranca Tlahuapan afecta principalmente al cultivo del arroz, al parecer por ocasionar hiperfertilización, lo cual provoca pérdidas del producto hasta en un 85 %, por este motivo se procura regarlo con agua de manantial. Otros cultivos afectados son: el frijol que llega a reducir su producción un 30 %, el jitomate del cual se dice que el agua de la barranca favorece la presencia de plagas, y la calabaza que se prefiere regar con agua de manantial. No se han notado efectos negativos en los cultivos del maíz y del sorgo forrajero, y no existen datos, ni a favor ni en contra, para el cultivo de pepino. En cuanto a la caña de azúcar se tienen opiniones en el sentido de que el agua de la barranca favorece su crecimiento. Esta información se presenta en la Tabla 5.28.

En forma general, los resultados de la encuesta muestran que los campesinos tienen conocimiento de que el agua de la barranca puede afectar algunos cultivos y a otros no. Las

precauciones que se tienen para los cultivos que pueden resultar afectados, son usar agua de manantial para riego, o bien, sembrarlos en época de lluvias. Por otra parte, como ya se ha comentado, en la época de estiaje los campesinos reclaman el suministro de agua, llegando en algunas ocasiones a instalar bombas particulares en la barranca para abastecerse ellos mismos del agua para sus cultivos, esta práctica se observó en el Campo Azezentla en el Municipio de Jiutepec, localizado a un lado de la planta de tratamiento. Por lo anterior, queda de manifiesto que el agua de la barranca tiene aceptación para el uso agrícola y que su aprovechamiento se realiza con ciertas precauciones.

TABLA 5.28 EFECTOS EN LOS CULTIVOS POR EL RIEGO  
CON AGUA DE LA BARRANCA TLAHUAPAN

CULTIVO	EFFECTOS	OBSERVACIONES
Caña de azúcar	No se han visto efectos negativos	Aparentemente el agua de la barranca beneficia el cultivo.
Maíz	No se sabe de efectos negativos.	Se prefiere sembrarlo de temporal.
Frijol	Su rendimiento disminuye en un 30 %.	Se prefiere sembrarlo de temporal.
Pepino	No se tienen datos	
Jitomate	Al parecer se afecta su producción.	Aparentemente el agua de la barranca favorece la presencia de plagas.
Sorgo forrajero	No se han notado efectos.	
Calabaza	Se sabe de efectos negativos.	Se prefiere regar con agua de manantial.
Arroz	Su rendimiento se ve afectado hasta en un 85 %.	Se prefiere regar con agua de manantial.

## 6. ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS

Los resultados de calidad del agua que se generaron para este estudio y la información que se reunió sobre el uso del agua en la agricultura, se analizan y evalúan siguiendo el orden en que se presentan en el capítulo anterior. El análisis de los resultados se separa en dos secciones, una para los datos de calidad del agua y otra para los datos relacionados con el uso del agua en la agricultura.

El análisis y la evaluación de los resultados de calidad del agua dan a conocer el nivel de contaminación en base a la concentración promedio anual en cada sitio de muestreo. También se determina la variación de la calidad del agua en su recorrido por la barranca Tlahuapan.

Los resultados de calidad agronómica del agua se usan para determinar las limitaciones que debe haber para su uso agrícola. Además, se compara la calidad del agua reportada en los estudios previos a ECCACIV y los resultados de este estudio.

En la segunda parte de este capítulo se analiza la información de los rendimientos agrícolas para los principales cultivos sembrados en los periodos de 1977-78, 1979-80 y 1982-83. Se busca una relación entre la calidad del agua asociada con el inicio de operaciones de la planta de tratamiento en 1979 y los rendimientos.

Los resultados de la encuesta se analizan y se determina la aceptación que tiene el agua de la barranca por parte de

los campesinos, también se comentan los efectos observados en los cultivos relacionados con el uso del agua de la barranca.

#### 6.1. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA.

El análisis de los resultados de calidad del agua permite evaluar el nivel de contaminación desde diferentes puntos de vista. Así tenemos que la evaluación de la calidad del agua se hace para cada una de las estaciones de muestreo, determinando la calidad promedio en cada sitio. Los resultados se comparan con las normas de calidad del agua de acuerdo al uso agrícola, y se relacionan con parámetros de contaminación de aguas residuales domésticas para establecer un punto de referencia.

Se determina la variación de los parámetros más importantes de calidad del agua siguiendo el curso de la barranca, desde la planta de tratamiento hasta la confluencia con el río Apatlaco.

El análisis de los resultados de calidad agronómica permite establecer las limitaciones del agua para uso agrícola, atendiendo a su contenido de sales, sodio, metales pesados y bacterias del grupo coliforme.

Las concentraciones de algunos parámetros característicos del nivel de contaminación del agua se

comparan para establecer la diferencia en la calidad del agua de la barranca Tlahuapan y canales de riego que se tenía en 1973 con la que se determinó en el período de 1982-1983.

A continuación se presenta el análisis y evaluación de los resultados de calidad del agua para los cuatro temas mencionados.

#### 6.1.1. CALIDAD DEL AGUA EN LAS ESTACIONES DE MUESTREO.

En esta parte del estudio se analizan los resultados de los parámetros de contaminación y se determina la calidad promedio del agua para cada una de las estaciones de muestreo.

Los resultados de calidad del agua que se presentan en el capítulo anterior en las Tablas 5.1 a la 5.11, se revisan parámetro por parámetro para determinar su variación. De este análisis resultan las tablas de valores estadísticos para los datos de cada estación, numeradas de la 6.1 a la 6.11; en ellas se muestran los valores mínimo, máximo, promedio, la desviación estandar y el coeficiente de variación en % para cada uno de los parámetros.

Con el fin de evaluar la calidad promedio del agua en cada estación, los valores estadísticos se comparan con las características de calidad que establece el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas [7], y

se relacionan también, con la clasificación de las aguas residuales domésticas de acuerdo a la concentración de sus constituyentes, según Metcalf y Eddy [17].

Algunas observaciones comunes a todas las estaciones se refieren a los siguientes parámetros: la temperatura no representa problemas de contaminación ya que los valores de este parámetro se mantienen de acuerdo a las condiciones ambientales; los valores de pH se presentan cercanos al valor neutro con ligera tendencia a la alcalinidad, quedando dentro del ámbito de 6 a 9 que permite el reglamento para el agua de uso agrícola e industrial. Los valores de grasas y aceites (G y A), se mantienen ligeramente altos con relación al límite de 70 mg/l que establece el reglamento para las concentraciones máximas permitidas en descargas de aguas residuales, como se puede ver en la tabla A del apéndice.

ESTACION E.1. Esta estación se localiza en el cauce de la barranca Tlahuapan, aguas arriba de la descarga de ECCACIV. A esta estación le corresponden los valores estadísticos de la Tabla 6.1. Para los parámetros más importantes, de acuerdo a sus valores promedio y su desviación estandar (ds), se tienen las siguientes observaciones: El valor promedio de pH de 7.68 (ds 0.36) confirma lo dicho anteriormente, este parámetro cumple con lo establecido para el agua de uso agrícola e industrial, como puede verse en la tabla B del apéndice. El valor

promedio del OD es de 3.7 (ds 2.2) mg/l, con un valor mínimo de cero y un máximo de 6.4, los promedios de  $DBO_5$  con 39 (ds 35) mg/l, DQO con 97 (ds 93) mg/l, G y A con 61 (ds 81) mg/l confirman que la barranca recibe descargas domésticas además de las aportaciones del manantial San Gaspar, como se indicó en el capítulo 4.

Al comparar estos resultados con la clasificación que hacen Metcalf y Eddy [17] para la composición típica de los desechos domésticos, que se presenta en la tabla C del apéndice, encontramos que la calidad del agua está por abajo de la clasificación de un agua de desecho doméstico de baja o débil concentración. Los demás parámetros también están por abajo de esta clasificación.

ESTACION E.2. Esta estación representa el efluente de la planta de tratamiento y se denomina Descarga de ECCACIV. Los valores estadísticos de los resultados se muestran en la Tabla 6.2, y se hacen las siguientes observaciones: los valores de pH con un promedio de 7.4 (ds 0.46) cumplen con lo permitido en las descargas de aguas residuales; sin embargo, los parámetros de grasas y aceites y sólidos sedimentables rebasan los límites permitidos por el reglamento. Los valores máximos tolerables se muestran en la tabla A del apéndice.

Los valores promedio de la  $DBO_5$  con 1231 (ds 1582) mg/l, de DQO con 2519 (ds 1848) mg/l, de G y A con 127 (ds 174) mg/l, rebasan la clasificación de desecho doméstico de

fuerte concentración, según lo establecen Metcalf y Eddy, como puede verse en la tabla C del apéndice. Además, el alto valor promedio del nitrógeno total con 150 (ds 62.6) mg/l, confirman la naturaleza de la descarga como efluente de un tratamiento de lodos activados. El OD se mantiene en cero mg/l en todas las ocasiones. El resto de los parámetros también sobrepasan la clasificación que corresponde a los desechos domésticos de fuerte concentración.

ESTACION E.3 Esta estación se localiza en el cauce de la barranca, aguas abajo de la descarga de ECCACIV, y proporciona el primer indicio de los efectos de la mezcla de la descarga con el agua de la barranca. Los valores estadísticos de los resultados de esta estación se muestran en la Tabla 6.3, en ellos se observa que en general se presenta una disminución de las concentraciones de la descarga por efectos de dilución. Sin embargo, los valores promedio de la  $DBO_5$  con 517 (ds 403) mg/l, de DQD con 1425 (ds 1217) mg/l, G y A con 88 (ds 85) mg/l, junto con el resto de los parámetros hacen que la clasificación del agua sea de fuerte concentración como desecho doméstico, (tabla C del apéndice).

ESTACION E.4. Esta estación se localiza en el Canal Tributario y representa una aportación de agua a la barranca a escasos 15 m de la descarga de la planta. Los

valores estadísticos de los resultados en esta estación se muestran en la Tabla 6.4 donde se observa un valor promedio de pH igual a 7.7 (ds 0.28), para el OD 4.34 (ds 2.32) mg/l, y valores relativamente bajos en comparación a las anteriores estaciones, con un promedio de  $DBO_5$  de 8.6 (ds 6.49) mg/l, DQO con 31 (ds 24.8) mg/l; el resto de los parámetros también presentan valores relativamente bajos, por abajo de lo que sería un desecho doméstico de débil concentración, con excepción de las grasas y aceites que con un promedio de 75.2 (ds 95.2) mg/l rebasa ligeramente lo permitido por el reglamento, (tabla A del apéndice). De acuerdo a estos resultados el agua se encuentra prácticamente libre de contaminación orgánica, lo que confirma su origen de manantial. Cabe recordar que esta aportación llega a la barranca como excedente de riego.

ESTACION E.5. Esta estación se localiza en el cauce de la barranca, después de la salida de los lechos de secado de los lodos de ECCACIV, aproximadamente a 20 m de la estación anterior. A esta estación le corresponden los valores que se muestran en la Tabla 6.5 donde se observan los promedios de pH con 7.48 (ds 0.37), OD con 0.31 (ds 0.53) mg/l,  $DBO_5$  con 255 (ds 164) mg/l, DQO con 815 (ds 459) mg/l y G y A con 89 (ds 101) mg/l. Estos valores igual que el resto de los parámetros le dan al agua una clasificación de desecho doméstico de mediana concentración, (tabla C del apéndice).

ESTACION E.6. Esta estación se localiza en el puente que cruza la barranca en el poblado de Emiliano Zapata, aproximadamente a 1 km de la planta de tratamiento. A esta estación le corresponden los valores estadísticos que se presentan en la Tabla 6.6 y para los cuales se tienen las siguientes observaciones. Los valores promedio de algunos parámetros como el pH de 7.51 (ds 0.30), OD con 0.25 (ds 0.40) mg/l,  $DBO_5$  con 235 (ds 20) mg/l, DQO con 480 (ds 390) mg/l y G y A con 112 (ds 134) mg/l, permiten clasificar al agua como una descarga doméstica de concentración media, el resto de los parámetros también están dentro de esta clasificación, (tabla C del apéndice).

ESTACION E.7. Esta estación se localiza en el canal Las Compuertas y representa una extracción del agua de la barranca para riego. Los valores estadísticos de los resultados de esta estación se muestran en la Tabla 6.7, en ella se observan los siguientes valores promedio. pH de 7.56 (ds 0.33), OD de cero en todas las ocasiones,  $DBO_5$  de 152 (ds 95) mg/l, DQO de 349 (ds 114) mg/l y G y A de 72 (ds 85) mg/l. Estos valores, junto con el nitrógeno total de 35.85 (ds 11.27) mg/l y los sólidos totales de 800 (ds 113) mg/l permiten clasificar al agua como desecho doméstico de mediana concentración, (tabla C del apéndice). La ausencia de oxígeno disuelto permite suponer que la barranca recibe descargas domésticas provenientes del poblado de Emiliano Zapata, o bien, que hay demanda de

oxígeno por lodos sedimentados, y en dado caso, por ambos factores.

ESTACION E.8. Esta estación se localiza en el canal denominado Canal Frente a la Quebradora, y representa otra extracción del agua de la barranca para riego. Los valores estadísticos de los resultados de esta estación se encuentran en la Tabla 6.8, en la que se tienen los siguientes valores promedio, pH de 7.62 (ds 0.44), OD de 0.49 (ds 1.47) mg/l,  $DBO_5$  de 126 (ds 60) mg/l, DQO de 289 (ds 160) mg/l, G y A de 65 (ds 66.7) mg/l, N-T de 52.42 (ds 33.09) mg/l y ST de 970 (ds 31) mg/l. Por el contenido de N-T y ST se puede clasificar como desecho doméstico de concentración media, pero para el resto de los parámetros la clasificación corresponde a un desecho doméstico de concentración débil, (tabla C del apéndice).

ESTACION E.9. Esta estación se localiza en el cauce de la barranca frente a las Granjas Mérida, aproximadamente a 3.5 Km de la planta de tratamiento. Los valores estadísticos de los resultados de esta estación se muestran en la Tabla 6.9 en la que se tienen los siguientes valores promedio. Para el pH de 7.74 (ds 0.38), el OD con 2.2 (ds 1.4) mg/l,  $DBO_5$  con 27 (ds 20) mg/l, la DQO con 59 (ds 35) mg/l, G y A con 83 (ds 105) mg/l, N-T con 9.06 (ds 5.76) mg/l y ST con 443 (ds 140) mg/l. Estos valores indican que el agua contiene poca contaminación orgánica. En relación a

la clasificación de los desechos domésticos los valores están por abajo de un desecho de concentración débil, (tabla C del apéndice). Estos valores confirman que las aportaciones que recibe la barranca antes de esta estación, provenientes del manantial Palo Escrito, mejoran la calidad del agua.

ESTACION E.10. Esta estación se localiza en el cauce de la barranca antes de juntarse con el Río Apatlaco y se denomina Confluencia con el Río Apatlaco, representa la calidad de agua que alcanza a recuperar la barranca en todo su recorrido, calculado en aproximadamente 5 Km. El análisis estadístico de los resultados para esta estación se muestra en la Tabla 6.10, en ella se observan los valores promedio para los parámetros de mayor interés. El pH con 7.66 (ds 0.38), el OD con 3.8 (ds 1.13) mg/l, la  $DBO_5$  con 13 (ds 25) mg/l, la DOD con 29 (ds 36) mg/l, G y A con 64 (ds 80) mg/l, N-T con 0.93 (ds 1.55) mg/l y ST con 857 (ds 292) mg/l.

Los resultados anteriores indican que la concentración de estas sustancias es característica de las aguas superficiales en condiciones naturales. En este sitio se observa que el agua logra recuperar su calidad; lo más notable con respecto a la estación anterior es la reducción de la concentración del nitrógeno total que alcanza en este último sitio un valor promedio menor a 1 mg/l, así como la

recuperación del oxígeno disuelto con un valor promedio de 3.8 mg/l.

ESTACION E.11. Esta estación se localiza en el Río Apatlaco aguas abajo de la unión de la barranca Tlahuapan. Para esta estación los valores estadísticos de los resultados se muestran en la Tabla 6.11, con los siguientes valores promedio. El pH con 7.67 (ds 0.33), OD con 4.1 (ds 1.46) mg/l, DBO<sub>5</sub> con 17 (ds 30) mg/l, DQO con 38 (ds 39) mg/l, G y A con 87 (ds 111) mg/l, N-T con 1.08 (ds 1.38) mg/l y ST con 854 (ds 178) mg/l.

Para establecer el nivel de calidad del agua en este sitio, se hace uso de la clasificación de las aguas de los cuerpos receptores superficiales, en función de sus usos y características de calidad como lo indica el reglamento. Para esto se elige la clasificación D III que corresponde al agua para uso agrícola e industrial, con los parámetros de calidad que se presentan en la tabla B del apéndice. De acuerdo a esta clasificación la calidad del agua cumple con los límites permitidos a los parámetros que se analizaron. Posteriormente se revisarán los resultados analíticos de calidad agronómica, en donde se incluyen parámetros bacteriológicos y algunos metales considerados como sustancias tóxicas.

Al revisar los valores estadísticos contenidos en las Tablas 6.1 a 6.11 se observa que los valores de los

promedios y de las desviaciones estándares, así como los coeficientes de variación, en algunos casos indican variaciones extremas; esto es cuando la desviación estandar es mayor que el promedio correspondiente, y en consecuencia el coeficiente de variación es mayor al 100 % del promedio. Esta situación, relacionada con la variación de los gastos en los periodos de lluvias y de estiaje, permite suponer que en la época de estiaje se llegan a tener las mayores concentraciones de contaminantes en el agua, sin embargo a simple vista no se observan cambios importantes.

TABLA 6.1. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.1. AGUAS ARRIBA DE LA DESCARGA DE ECCACIV

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.2	8.5	7.68	0.36	4.7
Temp. cC	14	28	24	3.8	16
OD	0	6.4	3.7	2.2	60
DBO-5	9	127	39	35	90
DGO	20	330	97	93	97
G y A	2	242	61	81	131
PO4-T	0.6	6.53	2.53	1.95	77
PO4-Orto	0	2.01	0.49	0.80	164
N-T	3.63	21.65	8.99	6.27	70
N-Org	1.79	4.50	2.82	0.93	33
N-NH3	1.21	18.48	6.77	6.13	90
N-NO3	0.022	1.223	0.563	0.489	87
N-NO2	0	0.108	0.036	0.033	92
ST	134	634	306	141	46
STF	10	402	145	103	71
STV	60	300	161	79	49
SST	4	130	29	36	125
SSF	2	24	11	8	68
SSV	2	110	17	32	182
SDT	126	614	277	139	50
SDF	7	392	133	101	76
SDV	36	272	143	84	59
SSed. ml/l	0	0.3	0.036	0.092	254
CE umhos/cm	206	742	383	175	46
Dureza total					
CaCO3	34	1008	181	278	181
Turbiedad					
SiO2	7.5	*130	11.5	2.29	19.9
Gasto l/s	4	1964	538	590	110

\* Turbiedad como UTJ, estas unidades no se usan para calcular los valores estadísticos.  
Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.2. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.2. DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	6.5	8.3	7.4	0.46	6.2
Temp. °C	17	29	25.45	3.4	13.5
OD	0	0	0		
DBO-5	192	5676	1231	1582	128
DOO	750	7580	2519	1848	73
G y A	9	536	127	174	137
PO4-T	1.00	20.91	7.55	5.76	76
PO4-Orto	0	0.20	0.027	0.062	228
N-T	73.40	226.10	150	62.6	41.7
N-Org	29.89	146.30	80.38	47.7	59
N-NH3	16.80	141.40	72.9	33.9	46.5
N-NO3	0	0.280	0.116	0.146	126
N-NO2	0	0.061	0.007	0.018	27.5
ST	1550	3868	2408	1072	44.5
STF	908	2044	1261	334	26.5
STV	458	2294	1283	695	54
SST	66	2340	991	916	92.5
SSF	29	1100	404	372	92
SSV	20	1680	586	576	98
SDT	904	2934	1597	553	35
SDF	252	2004	902	506	56
SDV	362	1050	697	237	34
SSed. ml/l	0	90	33	34	101
DE umhos/cm	1514	4346	2610	777	30
Dureza total CaCO3	318	863	589	169	29
Turbiedad UTJ	200	1500	719	492	68
Gasto l/s			180		

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.3. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.3. AGUAS ABAJO DE LA DESCARGA DE ECCACIV.

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.1	8.1	7.47	0.29	3.92
Temp. °C	18	27	23.5	2.9	12.5
OD	0	1.4	0.25	0.57	222
DBO-5	96	1081	517	403	78
DOO	300	3350	1425	1217	85
G y A	7	273	88	85	96
PO4-T	2.5	20.2	6.06	5.54	91
PO4-Orto	0	0.40	0.04	0.12	262
N-T	43	202.5	97.6	65.4	67
N-Org	17.6	145.3	49.4	41.3	84
N-NH3	13	133.6	47	35	74
N-NO3	0	0.602	0.133	0.196	147
N-NO2	0	0.711	0.067	0.214	320
ST	778	3742	1772	1106	62
STF	206	1946	839	682	81
STV	254	1830	933	498	53
SST	72	1800	566	605	107
SSF	10	960	225	278	124
SSV	16	1167	341	358	105
SDT	540	2738	1206	705	58
SDF	68	1446	614	579	94
SDV	164	990	592	240	40
SSed. ml/l	0	90	22.3	32.8	147
CE umhos/cm	736	4368	1819	1043	57
Dureza total					
CaCO3	132	585	327	180	55
Turbiedad					
UTJ	140	1200	465	315	68
Gasto l/s	150	2017	787	742	94

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.4. VALORES ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.4. CANAL TRIBUTARIO

PARAMETROS	VALORES ESTADISTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.3	8.1	7.7	0.28	3.6
Temp. C	16	25	20.2	43.9	54.8
OD	0	7.4	4.34	2.32	52.5
DBO-5	2	20	8.6	6.59	76.6
DGO	5	94	31	24.8	80
G y A	2	255	75.2	95.2	126.6
PO4-T	0.54	3.8	1.56	1.09	70
PO4-Orto	0	1.75	0.34	0.56	164
N-T	0.47	2.45	1.16	0.72	62
N-Org	0.47	1.68	1.00	0.45	45
N-NH3	0	6.38	0.72	1.9	264
N-NO3	0.018	1.886	0.76	0.54	71
N-NO2	0	0.333	0.082	0.111	135
ST	150	274	175	34	19
STF	20	146	91	37.7	41.4
STV	30	158	84	36.8	43.8
SST	4	88	18	24.5	136
SSF	2	26	9.1	7.18	79
SSV	2	62	8.9	18.1	203
SDT	138	186	157	14.9	9.5
SDF	18	128	82.2	34	41
SDV	26	156	75.3	34.8	46.2
SSed. ml/l	0	0.7	0.09	0.21	233
CE umhos/cm	152	219	174	20.7	11.9
Dureza total					
CaCO3	51	94	62	13.3	8.5
Turbiedad					
SiO2	3.3	32.5	9.1	8.18	90
Gasto l/s	4.5	134	80	43.9	54.8

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.5. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.5. DESPUES DE LA DESCARGA DE LODOS DE ECCACIV

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	6.9	8.4	7.48	0.37	5.0
Temp. °C	20	27	23	2.55	11.1
OD	0	1.2	0.31	0.53	172
DBO-5	47	527	255	164	64
DQO	160	1866	815	459	56
G y A	10	283	89	101	114
PO4-T	0.96	6.89	3.59	2.07	57.6
PO4-Orto	0	0.06	0.01	0.02	222
N-T	18.00	78.82	53.71	19.8	36.9
N-Org	7.18	49.21	28.6	14.4	50.4
N-NH3	10.82	49.93	26.73	13.68	51.1
N-NO3	0	0.568	0.175	0.20	115
N-NO2	0	0.061	0.006	0.018	283
ST	444	1928	1098	391	35.6
STF	260	860	557	183	32.9
STV	32	1068	541	308	57
SST	46	990	395	337	85.3
SSF	4	500	155	161	104
SSV	7	800	240	231	96
SDT	398	976	703	193	27.4
SDF	104	684	401	221	55
SDV	25	541	301	175	58
SSed. ml/l	0	50	12	16.7	140
CE umbos/cm	551	1691	1169	300	25.7
Dureza total CaCO3	115	350	259	70.5	27
Turbiedad UTJ	170	800	411	245	60
Gasto l/s	180	1136	539	288	53.7

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.6. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.6. PUENTE EN EMILIANO ZAPATA

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.1	8.1	7.51	0.30	4.0
Temp. °C	16	27	23	3.8	16.5
OD	0	1.2	0.25	0.46	179
DBO-5	81	770	235	201	85
DCO	200	1250	480	390	60
G y A	4	354	112	134	120
PO4-T	1.12	6.45	3.48	1.58	45
PO4-Orto	0	0.06	0.012	0.021	179
N-T	30.38	110.46	49.42	27.59	56
N-Org	10.08	59.36	22.24	17.36	78
N-NH3	18.10	51.10	27.13	10.42	38
N-NO3	0	0.468	0.214	0.188	87
N-NO2	0	0.071	0.0097	0.021	220
ST	716	1706	922	287	31
STF	178	1060	509	245	48
STV	214	740	413	198	48
SST	52	760	198	225	113
SSF	4	260	81	77	96
SSV	20	500	118	151	128
SDF	488	946	724	139	19
SDF	145	800	428	205	48
SDV	146	680	296	178	60
SSed. ml/l	0	19	3.11	6.38	205
CE umhos/cm	950	1800	1168	274	23
Dureza total					
CaCO3	208	359	246	45	18
Turbiedad					
UTJ	*32	600	252	256	62
Gasto	76	2268	703	675	96

\* Turbiedad como SiO2, estas unidades no se usan para calcular los valores estadísticos.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.7. VALORES ESTADÍSTICOS DEL OS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.7. LAS COMPUERTAS

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.0	8.2	7.56	0.33	4.4
Temp. cC	17	27	23	3.4	14.6
OD	0	0	0		
DBO-5	30	365	152	95	62
DOO	150	480	349	114	33
G y A	7	230	72	85	119
PO4-T	0.64	8.10	3.46	2.55	74
PO4-Orto	0	0.21	0.05	0.08	151
N-T	20.86	50.80	35.85	11.27	31.4
N-Org	6.37	21.60	13.27	5.02	37.9
N-NH3	11.20	36.00	23.24	8.34	35.9
N-NO3	0	0.380	0.129	0.123	95.6
N-NO2	0	0.003	0.0004	0.001	242
ST	646	1044	800	113	14
STF	59	558	338	181	53.6
STV	192	768	409	195	48
SST	40	225	114	62	54
SSF	12	130	54	49	91
SSV	4	112	61	31	51
SDT	545	850	686	102	14.8
SDF	80	574	338	187	55
SDV	149	673	349	184	553
SSed. ml/l	0	3.0	0.65	0.99	152
CE umhos/cm	763	1518	1068	224	21
Dureza total CaCO3	209	297	237	31.7	13.4
Turbiedad UTJ	49	360	196	101	51
Gasto l/s	10	114	52	32.6	62.5

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.8. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.8. CANAL FRENTE A LA QUEBRADORA.

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	6.9	8.4	7.62	0.44	5.8
Temp. °C	18	25	22.6	3.1	13.7
OD	0	4.4	0.49	1.47	300
DBO-5	33	207	126	60	47.7
DOO	125	620	289	160	53.8
G y A	4	195	65	66.7	102
PO4-T	0.11	9.4	2.81	2.78	99
PO4-Orto	0	0.1	0.02	0.04	200
N-T	16.89	99.4	52.42	33.09	63
N-Org	4.9	36.3	16.43	11.6	70.7
N-NH3	9.8	76.4	32.2	20.4	63.2
N-NO3	0	1.53	0.432	0.488	113
N-NO2	0	0.098	0.014	0.033	225
ST	562	1850	970	31	3.2
STF	144	1278	607	357	58.9
STV	176	572	363	122	33.6
SST	54	470	162	132	81.5
SSF	12	260	81	79	98
SSV	32	210	81	58	71.6
SOT	362	1120	695	233	33.5
SOF	122	1018	526	302	57
SOV	133	446	282	99	282
SSed. ml/l	<0.1	6.0	1.53	2.3	151
DE umhos/cm	667	2131	1248	473	38
Dureza total					
CaCO3	193	429	275	76.8	27.9
Turbiedad					
UTJ	*24	400	228	125	55
Gasto l/s	35	1008	200	357	178

\* Turbiedad como SiO2, estas unidades no se usan para calcular los valores estadísticos.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.9. VALORES ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.9 GRANJAS MERIDA.

PARAMETROS	VALORES ESTADISTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.3	8.7	7.74	0.38	4.9
Temp. °C	16	25	21.7	2.67	12
OD	0	4.2	2.2	1.4	64
DBO-5	2	57	27	20	73
DGO	15	129	59	35	59
G y A	3	308	83	105	127
PO4-T	0.32	1.19	0.68	0.28	40
PO4-Orto	0	0.20	0.03	0.06	200
N-T	1.0	19.67	9.06	5.76	63
N-Org	1.0	4.29	3.15	1.22	39
N-NH3	0	15.40	6.90	5.26	76
N-NO3	0.025	2.990	1.099	1.038	94
N-NO2	0	0.130	0.042	0.036	86
ST	116	608	443	140	31
STF	26	344	158	110	70
STV	76	512	285	154	54
SST	4	144	49	51	104
SSF	2	106	32	38	117
SSV	2	48	17	17	99
SDT	106	520	394	121	31
SDF	4	342	126	110	88
SDV	74	480	267	147	55
SSed. ml/l	0	1.8	0.52	0.56	109
CE umhos/cm	339	834	606	173	29
Dureza total					
CaCO3	145	247	196	36	19
Turbiedad					
SiO2	6.1	*110	12.6	7.54	59
Gasto l/s	258	2500	892	637	71

\* Turbiedad como UTJ, estas unidades no se usan para calcular los valores estadisticos.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.10 VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.10. CONFLUENCIA CON EL RIO APATLACO

PARAMETROS	VALORES ESTADÍSTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.4	8.7	7.66	0.38	5.0
Temp. °C	18	27	22	2.6	11.8
OD	2.2	5.4	3.8	1.13	30
DBO-5	1.0	82	13	25	190
DCO	5	101	29	36	127
G y A	2	227	64	80	126
PO4-T	0	2.3	0.53	0.68	129
PO4-Orto	0	0.40	0.07	0.14	191
N-T	0.11	4.66	0.93	1.55	166
N-Org	0.11	4.66	0.93	1.55	166
N-NH3	0	0	0		
N-NO3	0.027	1.552	1.021	0.433	42
N-NO2	0	0.132	0.018	0.040	225
ST	804	1260	857	292	34
STF	290	1060	559	235	42
STV	162	590	367	173	47
SST	4	436	66	127	191
SSF	2	344	51	100	195
SSV	2	92	15	28	182
SdT	710	1240	860	140	16
SdF	280	1042	508	242	48
SdV	160	588	352	172	49
SSed. ml/l	0	2.0	0.02	0.6	299
CE umhos/cm	742	1537	1076	194	18
Dureza total CaCO3	34	732	487	267	55
Turbiedad SiO2	2.7	*170	4.35	1.76	40.5
Gasto l/s	507	1350	860	261	30.4

\* Turbiedad como UTJ, estas unidades no se usan para calcular los valores estadísticos.

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

TABLA 6.11. VALORES ESTADISTICOS DE LOS RESULTADOS DE CALIDAD DEL AGUA

ESTACION E.11 RIO APATLACO

PARAMETROS	VALORES ESTADISTICOS				
	MINIMO	MAXIMO	PROMEDIO	DESV.STD.	C.DE V.(%)
pH	7.4	8.5	7.67	0.33	4.3
Temp. °C	18	27	22.6	2.7	11.8
OD	1.2	6.0	4.1	1.46	35.6
DBO-5	1	101	17	30	183
DOC	5	125	38	39	101
G y A	3	334	87	111	127
PO4-T	0.020	3.62	0.97	1.06	108
PO4-Orto	0	0.50	0.10	0.16	155
N-T	0.17	4.28	1.09	1.38	126
N-Org	0.17	2.61	0.84	0.79	93
N-NH3	0	1.77	0.18	0.53	292
N-NO3	0.027	1.735	1.177	0.458	40
N-NO2	0	0.130	0.033	0.045	136
ST	652	1324	854	178	21
STF	154	746	447	241	54
STV	122	704	407	214	53
SST	12	267	44	75	170
SSF	8	200	31	57	184
SSV	2	63	14	21	156
SDT	610	1312	810	185	23
SDF	98	736	416	261	63
SDV	120	662	394	202	51
SSed. ml/l	0	1.4	0.20	0.41	202
CE umhos/cm	759	1510	1038	199	19
Dureza total					
CaCO3	178	760	517	201	39
Turbiedad					
SI02	2.4	43	9.69	11.56	119
Gasto l/s	1148	3708	2388	1068	45

Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

#### 6.1.2. VARIACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN SU RECORRIDO POR LA BARRANCA TLAHUAPAN

En esta sección se estudian los cambios de la calidad del agua en su recorrido por la barranca, tomando en cuenta únicamente las estaciones ubicadas sobre el cauce con sus respectivos valores promedio de calidad. Las estaciones de interés en esta ocasión son: la estación E.1 aguas arriba de la descarga de la planta de tratamiento, la estación E.3 aguas abajo de la descarga de la planta de tratamiento, la estación E.5 aguas abajo de la salida para lodos de la planta de tratamiento. De la estación E.1 a la estación E.5 se tiene una distancia aproximada de 40 m. Se continúa con la estación E.6 en el puente de Emiliano Zapata, aproximadamente a 1 Km de la planta de tratamiento; la estación E.9 en las Granjas Mérida, aproximadamente a 3.5 Km de la planta y por último, la estación E.10 en la confluencia de la barranca con el Río Apatlaco, aproximadamente a 5 Km de distancia de la planta. La separación entre una estación y otra se debe tomar en cuenta más adelante, al interpretar las gráficas 6.1 a 6.4 donde se muestran los valores promedio de los parámetros más importantes.

Los valores promedio de los resultados de calidad del agua para cada estación se presentan en la Tabla 6.12, en ella se incluyen los parámetros en el orden acostumbrado

con excepción del gasto que se calcula para la época de lluvias y de estiaje además del promedio anual. Para esto se tomaron en cuenta los gastos que corresponden a cada época durante el período de muestreos, la época de lluvias abarcó de agosto a noviembre de 1982 y de junio a agosto de 1983, y la época de estiaje abarcó de diciembre de 1982 a mayo de 1983. El análisis de los resultados se hace agrupando los parámetros relacionados entre sí, como son: OD,  $DBO_5$  y DQO; los nutrientes de nitrógeno y fósforo; los sólidos disueltos con la conductividad eléctrica y los gastos. A continuación se hacen las observaciones más relevantes para estos parámetros.

OD,  $DBO_5$  y DQO. Estos parámetros presentan una relación lógica en sus cambios, correspondiendo las mínimas concentraciones de OD a las altas concentraciones de  $DBO_5$  y DQO, estos cambios pueden verse en la Gráfica 6.1, el OD presenta las mayores concentraciones en la primera y última estación, la E.1 con 3.7 mg/l y la E.10 con 3.8 mg/l, al mismo tiempo les corresponden los valores más bajos de  $DBO_5$  y DQO, para la E.1 39 y 97 mg/l, y para la E.10 13 y 29 mg/l. Esto indica que el agua de la barranca recupera su calidad al final de su recorrido. El efecto de la descarga de la planta de tratamiento se presenta de inmediato en las estaciones intermedias, las cuales comparadas con desechos domésticos, se clasifican de fuerte concentración en la estación E.3 y de mediana concentración en las estaciones

E.5 y E.6. A partir de la estación E.9 el agua está prácticamente libre de contaminación orgánica, por abajo de lo esperado en un desecho doméstico de débil concentración.

NUTRIENTES. Los nutrientes como nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y fósforo total presentan cambios similares al contenido de  $DBO_5$  y DQO, como se muestra en la Gráfica 6.2, como en el caso anterior la fuente de estos compuestos es la descarga de la planta de tratamiento, a la cual se debe que la estación E.3 alcance los valores máximos de  $PO_4-T$  con 6.06 mg/l, N-Org con 49.3 mg/l y  $N-NH_3$  con 47 mg/l. A partir de este sitio las concentraciones disminuyen hasta la estación E.10 en donde se detectan estos nutrientes a concentraciones menores a 1 mg/l. Los ortofosfatos se encuentran a muy bajas concentraciones, con un valor máximo de 0.49 mg/l en la estación E.1.

SDT y CE. Los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica varían en la misma forma, siendo notable la aportación de la descarga de la planta de tratamiento que da lugar a las máximas concentraciones en la estación E.3 con 1206 mg/l de SDT y 1819  $\mu$ hos/cm de conductividad eléctrica. También se observa un aumento de estos parámetros en la estación E.10 para la cual se tienen valores de 860 mg/l de SDT y 1076  $\mu$ hos/cm. En la Gráfica 6.3 se muestran las variaciones de estos parámetros. Para el caso de la estación E.10 con agua prácticamente libre de

contaminación orgánica, estos parámetros resultan de interés para evaluar su calidad agronómica e investigar la presencia de otros iones.

GASTOS. Los gastos promedio que corresponden a la época de lluvias, al estiaje y al período anual para cada una de las estaciones se presentan en la Gráfica 6.4, en ella se observa el mismo patrón de cambios para los tres períodos, las aportaciones más importantes que recibe la barranca son tanto de la descarga de la planta como de los excedentes de riego. Los gastos presentan un aumento en la estación E.3 por efecto de la descarga de la planta, particularmente en los promedios anual y de lluvias, con valores de 203 l/s en estiaje, 787 l/s anual y 1175 l/s en lluvias. Otro aumento notable en el gasto se presenta en la estación E.9 con valores de 537 l/s en estiaje, 892 l/s anual y 1071 l/s en lluvias. En la estación E.10 los gastos son 633 l/s en estiaje, 860 l/s anual y 996 l/s en lluvias, en esta estación el aumento más importante del gasto se presenta en la época de estiaje. Es oportuno señalar que el agua de la barranca se usa para riego en época de estiaje y es en ésta época cuando la descarga de la planta de tratamiento resulta ser la principal aportación a la barranca hasta antes de recibir los excedentes del manantial Palo Escrito que se registran en el gasto de la estación E.9 de Granjas Mérida.

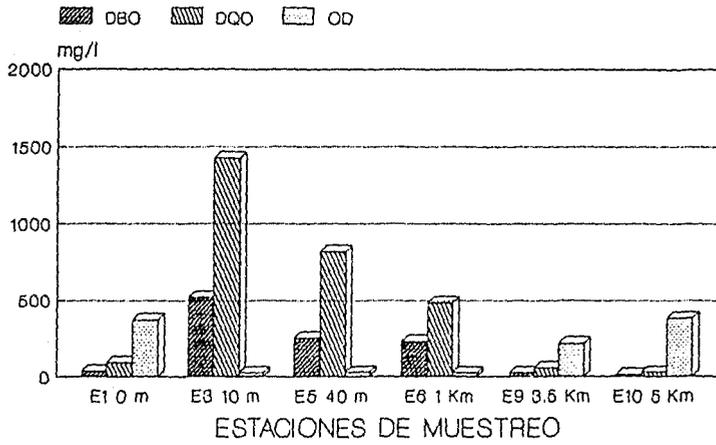
La Tabla 6.12 contiene además de los parámetros ya mencionados otros de menor importancia por sus bajas concentraciones, como son el nitrógeno de nitritos con el mayor valor promedio en la estación E.3 con 0.067 mg/l, y el nitrógeno de nitratos con el mayor valor promedio en la estación E.9 con 1.099 mg/l. Así mismo, la dureza del agua medida como  $\text{CaCO}_3$ , presenta un aumento en su concentración en la estación E.3 con respecto a la estación E.1, por efecto de la descarga de la planta de tratamiento, alcanzando un valor promedio de 327 mg/l, esta concentración disminuye en las siguientes estaciones hasta llegar a la estación E.10 en donde presenta un aumento con un valor promedio de 487 mg/l. Este cambio coincide con los de la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, lo cual confirma que la barranca recibe aportaciones antes de la estación E.10 que elevan el contenido de sustancias inorgánicas disueltas.

TABLA 6.12. VALORES PROMEDIO DE CALIDAD DEL AGUA  
EN LAS ESTACIONES UBICADAS SOBRE EL CAUCE DE LA BARRANCA TLAHUAPAN

PARAMETROS	ESTACIONES					
	E.1	E.3	E.5	E.6	E.9	E.10
pH	7.68	7.47	7.48	7.51	7.74	7.66
Temp. °C	24	23.5	23	23	21.7	22
OD	3.7	0.25	0.31	0.25	2.2	3.8
DBO-5	39	517	255	235	27	13
DGO	97	1425	825	480	59	29
G y A	61	88	89	112	83	64
PO4-T	2.53	6.06	3.59	3.48	0.68	0.53
PO4-Orto	0.49	0.04	0.01	0.012	0.03	0.07
N-T	8.99	97.6	53.71	49.42	9.06	0.93
N-Org	2.82	49.4	28.6	22.24	3.15	0.93
N-NH3	6.77	47.0	26.73	27.13	6.90	0
N-NO3	0.563	0.133	0.175	0.214	1.099	1.021
N-NO2	0.036	0.067	0.006	0.009	0.042	0.018
ST	306	1772	1098	922	443	857
STF	145	839	557	509	158	559
STV	161	933	541	413	285	367
SST	29	566	395	198	49	66
SSF	11	225	155	91	32	51
SSV	17	341	240	118	17	15
SDT	277	1206	703	724	394	860
SDF	133	614	401	428	126	508
SDV	143	592	301	296	267	352
SSed. ml/l	0.036	22.3	12	3.11	0.52	0.02
CE umhos/cm	383	1819	1169	1168	606	1076
Dureza total						
CaCO3	181	327	259	246	196	487
Turbiedad						
SiO2	11.05	*465	*411	*252	12.6	4.35
Gasto l/s						
estiaje	140	203	251	192	537	633
anual	538	787	539	703	892	860
lluvias	736	1175	633	960	1071	996

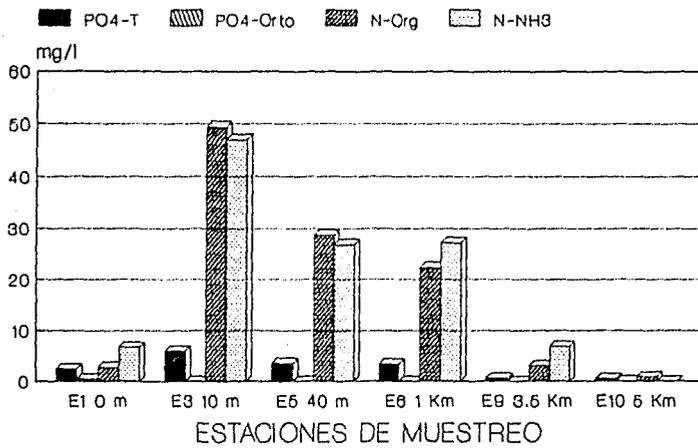
\* Turbiedades en UTJ. Las unidades son mg/l, excepto las indicadas.

**GRAFICA 6.1 CALIDAD DEL AGUA EN LA  
BARRANCA TLAHUAPAN  
DBO, DQO Y OD**



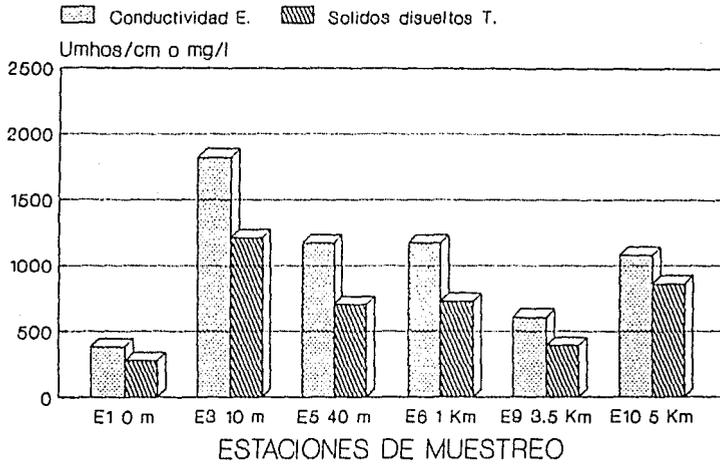
Los valores de OD x (0.01)  
Periodo Ago.1982 - Ago.1983

**GRAFICA 6.2 CALIDAD DEL AGUA EN LA  
BARRANCA TLAHUAPAN  
NUTRIENTES**



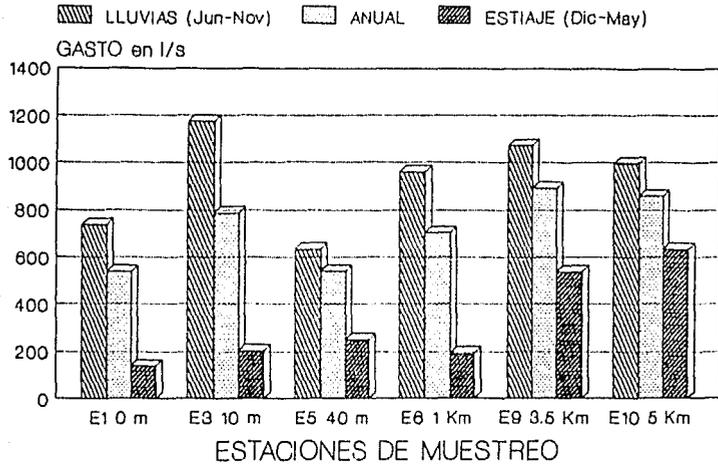
PO4-Orto < 0.50 mg/l  
Período Ago. 1982 - Ago. 1983

**GRAFICA 6.3 CALIDAD DEL AGUA EN LA  
BARRANCA TLAHUAPAN  
CONDUCTIVIDAD Y SDT**



Periodo Ago. 1982 - Ago. 1983

### GRAFICA 6.4 CALIDAD DEL AGUA EN LA BARRANCA TLAHUAPAN GASTOS



Periodo Ago. 1982 - Ago. 1983

### 6.1.3. CALIDAD AGRONÓMICA DEL AGUA.

Los resultados de esta parte del estudio permiten evaluar la calidad del agua para uso agrícola. En este caso los parámetros de importancia son: salinidad, medida como sólidos disueltos totales, (SDT), y conductividad eléctrica, (CE); sodio intercambiable, calculado como la relación de adsorción de sodio, (RAS); el contenido de metales y la presencia de bacterias del grupo coliforme.

No se encontró alguna referencia que hiciera posible evaluar las concentraciones de los aniones: sulfatos, bicarbonatos y cloruros, por lo que únicamente se toma en cuenta que forman parte de los sólidos disueltos totales y la conductividad eléctrica. A continuación se hace la evaluación de los parámetros ya indicados.

SDI y CE. La calidad del agua para uso agrícola se relaciona principalmente con el contenido de sales solubles, que se miden directamente como sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica. En la tabla D del apéndice se presenta una clasificación del agua de acuerdo a la tolerancia de algunos cultivos a la salinidad, aplicable a regiones áridas y semiáridas. Esta tabla sirve como referencia para evaluar los resultados de cada una de las estaciones.

Los valores promedio de los SDT y la CE contenidos en las Tablas 6.1 a la 6.11 de la sección anterior, muestran

que los valores más altos para estos dos parámetros corresponden a la estación E.2 del efluente de la planta de tratamiento, con 1597 mg/l y 2610  $\mu\text{mhos/cm}$ . Estos valores, comparados con la tabla D del apéndice, indican que el agua que puede ocasionar efectos adversos en varios cultivos y requerir cuidadosas prácticas de manejo. En esta misma clasificación está la estación E.3, con 1206 mg/l de SDT y 1819  $\mu\text{mhos/cm}$  de CE.

Por otra parte, el valor promedio mínimo para estos parámetros corresponde a la estación E.4 del Canal Tributario, que aporta a la barranca agua de retorno agrícola proveniente del manantial Las Fuentes. En este caso los SDT son 157 mg/l y la CE es de 174  $\mu\text{mhos/cm}$ . Al relacionar estos valores con la tabla D se encuentra que esta agua no ocasiona efectos perjudiciales que puedan notarse. En esta misma clasificación se encuentran las estaciones E.1 aguas arriba de la planta de tratamiento y la estación E.9 en Granjas Mérida.

Las seis estaciones restantes, incluyendo los canales de riego E.7 y E.8, se clasifican como agua que puede ocasionar efectos perjudiciales en cultivos sensibles, con valores de SDT entre 500 y 1000 mg/l y de CE entre 750 y 1500  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Tomando en cuenta que la clasificación del agua que se presenta en la tabla D del apéndice corresponde a regiones áridas y semiáridas, cabe suponer que, en el caso del área que nos ocupa en el Valle de Cuernavaca, los efectos que se

predicen para el uso agrícola del agua pueden ser menos adversos, por tratarse de una zona con una marcada época de lluvias y elevada precipitación pluvial, así como abundantes recursos hidráulicos de fuentes subterráneas y superficiales.

SODIO. Este es un elemento importante en la calidad del agua para uso agrícola, su presencia en altas concentraciones provoca efectos adversos en los suelos y cultivos. Una forma de evaluar la concentración de sodio en la calidad del agua es mediante la relación de adsorción de sodio, RAS, que expresa la actividad relativa del ion sodio en las reacciones de intercambio con los iones de calcio y magnesio. La calidad del agua en función de los valores de RAS, [9], se define como:

Buena - con valores de RAS menores a 10.

Condicionada - con valores de RAS entre 10 y 15.

Inadecuada - con valores de RAS mayores de 15.

Los resultados de RAS que se presentan en las Tablas 5.12 a la 5.19 para las 11 estaciones, varían entre 0.35 y 3.41, de lo cual se deduce, con base en la clasificación anterior, que el contenido de sodio en el agua no es una limitante para su uso agrícola.

RAS y CE. El agua de riego también se puede clasificar de acuerdo a los valores de RAS y conductividad eléctrica, empleando el diagrama E.a del apéndice, con los resultados

que ha continuación se señalan.

La clasificación para los valores más bajos de CE y RAS es la clave  $C_1S_1$  y corresponde a la estación E.4 del Canal Tributario. La interpretación de las claves se da en la tabla E.b del apéndice. En este caso se tiene que de acuerdo a la conductividad, ( $C_1$ ), el agua puede usarse en el riego de la mayor parte de los cultivos, prácticamente en cualquier tipo de suelo, con muy poca probabilidad de que se desarrollen problemas de salinidad. Si el suelo necesita algún lavado, éste se logra en condiciones normales de riego, excepto cuando se trata de suelos de muy baja permeabilidad.

Por otra parte, de acuerdo al contenido de sodio, ( $S_1$ ), el agua se puede utilizar en la mayoría de los suelos con pocas probabilidades de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Sin embargo, algunos cultivos sensibles, como ciertos frutales y aguacate, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio. A todas las estaciones les corresponde la clave  $S_1$  por contenido de sodio, de modo que se aplica la misma interpretación a cada una.

Las estaciones E.1 y E.9 se clasifican como  $C_2S_1$ , lo cual indica que de acuerdo a la conductividad el agua puede usarse siempre y cuando se utilice de manera moderada. En casi todos los casos se pueden desarrollar plantas moderadamente tolerantes a las sales.

A la estación E.2, del efluente de la planta de

tratamiento, le corresponde la clave  $C_4S_1$  con la máxima clasificación de conductividad. Esto significa que el agua no es propia para riego bajo condiciones normales, pero puede ser utilizada en condiciones especiales. Para este caso, los suelos deben ser permeables y seleccionar cultivos muy tolerantes a las sales.

Las siete estaciones restantes se clasifican con la clave  $C_3S_1$ , en este caso el agua no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado puede ser necesario aplicar prácticas especiales de control de salinidad. Se deben seleccionar únicamente cultivos muy resistentes a las sales para este tipo de agua.

Es importante señalar que no se cuenta con información de las características físicas y químicas del suelo, ni de la tolerancia de los cultivos. Estos datos son necesarios para predecir con mayor certeza los efectos del agua en los cultivos. Por lo tanto, las conclusiones que se refieren a los efectos de la salinidad del agua en los cultivos quedan condicionadas a factores tales como: pH del suelo, textura, permeabilidad, contenido orgánico, etc., además, de la tolerancia de los cultivos que se siembren.

METALES. Los metales pesados que se encuentran en solución a muy bajas concentraciones, en algunos casos son indispensables para el crecimiento de los cultivos y se conocen como micronutrientes; sin embargo, su presencia en

concentraciones que rebasan ciertos límites llega a ocasionar efectos tóxicos.

Para evaluar la calidad del agua en relación a su contenido de metales se emplean como referencias normas mexicanas y límites recomendados por la Environmental Protection Agency, EPA. Se hace uso de la tabla B del apéndice que contiene la clasificación D III del agua para uso agrícola e industrial del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua. También se emplea la tabla F del apéndice que contiene los límites recomendados por la EPA para dos casos: el primero, (I), para agua de uso continuo en todo tipo de suelo, y el segundo, (II), menos estricto, para agua de uso hasta por 20 años en suelo de textura fina y pH de 6.0 a 8.5.

Las concentraciones de los metales : fierro, manganeso, zinc, plomo y boro, que aparecen en las Tablas 5.12 a la 5.19 se comparan con los límites que establecen las referencias arriba citadas, y se obtiene la siguiente evaluación.

a) El fierro con una concentración máxima de 2.70 mg/l en la estación E.2, está por abajo de los límites establecidos por la EPA de 5.0 y 20 mg/l, para los casos I y II respectivamente.

b) El manganeso con la máxima concentración en la estación E.3 de 0.79 mg/l, sobrepasa el límite de 0.2 mg/l que marca la EPA para el caso I, agua de uso continuo en

todo tipo de suelo; y está por abajo del límite de 10.0 mg/l para el caso II.

c) El zinc tiene su máxima concentración en la estación E.3 con 0.58 mg/l quedando por abajo de los límites que marca la EPA de 2.0 y 10.0 mg/l, para los casos I y II respectivamente.

d) El plomo tiene la mayor concentración de 0.0039 mg/l en las estaciones E.4 y E.9 y puede considerarse de origen natural; el límite que establece el reglamento es de 5.0 mg/l, y los límites que establece la EPA son de 5.0 y 10.0 mg/l, para los casos I y II respectivamente.

e) El boro con una concentración máxima de 0.42 mg/l en la estación E.3, queda por abajo del límite de 2.0 mg/l que establece el reglamento, y por abajo de los límites de la EPA de 0.75 y 2.00 mg/l, para los casos I y II respectivamente.

El resultado general de la evaluación del bajo contenido de los metales Fe, Mn, Zn, Pb y B, es en el sentido de que no representan una limitante para el uso de esta agua en la agricultura. Las concentraciones ligeramente mayores de Fe, Mn y Zn en las estaciones E.2 y E.3 pueden indicar que proceden de las aguas residuales industriales que procesa la planta de tratamiento. Así mismo, las bajas concentraciones de B y Pb en todas las estaciones indican que son de origen natural.

f) Otros metales analizados son: arsénico, mercurio, níquel, cobre y cromo hexavalente, para los cuales se

reportan concentraciones menores a los límites de detección. La ausencia de estos elementos indica que tampoco limitan el uso del agua para riego agrícola.

BACTERIAS. Uno de los efectos más adversos por el uso de las aguas residuales en el riego agrícola es la posibilidad de que los cultivos se contaminen con microorganismos patógenos. En las aguas residuales es muy frecuente encontrar una gran variedad de microorganismos tales como virus, bacterias, hongos, algas, protozoarios, rotíferos, crustáceos, gusanos y larvas.

En cuanto a las bacterias, los gérmenes patógenos que con más frecuencia se propagan por el agua, son generalmente causantes de infecciones intestinales como tifoidea, paratifoidea, disentería y cólera. La detección de los microorganismos patógenos en el laboratorio es lenta y laboriosa, por lo que se ha establecido como un indicador de su presencia el contenido de bacterias del grupo coliforme.

Los resultados de la calidad bacteriológica del agua de las Tablas 5.12 a la 5.18, muestran que para la estación E.1 la concentración de estreptococos fecales es del orden de  $10^4$  NMP/100 ml, y los coliformes totales y fecales son del orden de  $10^8$  NMP/100 ml, esto confirma que la barranca recibe aportaciones de aguas residuales domésticas.

Las concentraciones más elevadas de bacterias coliformes se detectaron en la estación E.2 del efluente de la planta

de tratamiento, con valores del orden de  $10^{16}$  NMP/100 ml. Estos valores extraordinariamente altos hacen sospechar que la dificultad de preparar grandes diluciones para el análisis dió lugar a errores positivos en la determinación.

El resto de las estaciones presentan valores de coliformes totales entre los dos niveles de concentración de las estaciones anteriores, con excepción de la estación E.11 del Río Apatlaco donde se tienen concentraciones de bacterias coliformes del orden de  $10^5$  NMP/100 ml.

Al comparar los resultados bacteriológicos con los límites que establece el reglamento para el agua de uso agrícola e industrial (tabla B del apéndice), se observa que el agua puede usarse para riego de cultivos excepto cuando se trate de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.

Además, desde el punto de vista sanitario, los usuarios deberán adoptar medidas de higiene y métodos de cultivo que les permitan evitar enfermedades asociadas con el uso de esta agua en las actividades agrícolas.

#### 6.1.4. COMPARACION DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES Y DESPUES DE LA CREACION DE ECCACIV.

En esta parte del estudio se continúa con el análisis y la evaluación de los resultados de calidad del agua, estableciendo algunas diferencias con la calidad que se

tenía en la barranca Tlahuapan y los canales de riego, antes de la creación de ECCACIV. Para ésto, se emplean los datos presentados en los estudios previos del capítulo 3, y se comparan con los resultados de algunas estaciones del presente estudio, relacionadas entre sí por su ubicación.

En el capítulo 3 se tiene como principal referencia de los estudios anteriores a ECCACIV, el Estudio de la Cuenca del Alto Amacuzac. En la primera etapa de dicho estudio se describe cómo la barranca Tlahuapan recibía las aportaciones de los colectores I y II de las aguas residuales de CIVAC, y que aguas abajo de dichas aportaciones se encontraba la estación Puente Blanco.

Esta estación es la única que se ubicó en la barranca Tlahuapan y que da a conocer la calidad de la mezcla del agua de la barranca con los colectores industriales I y II de CIVAC. La ubicación de esta estación coincide con la de la estación E.6 del presente estudio, en el Puente de Emiliano Zapata, por lo cual se comparan los resultados obtenidos en ambos casos para evaluar los cambios en la calidad del agua en ese punto de la barranca.

Por otra parte, en la segunda etapa del Estudio de la Cuenca del Alto Amacuzac se reportan datos de calidad del agua, nuevamente para los colectores I y II de CIVAC, y para un canal de riego denominado Tlahuapan. Dicho canal localizado aguas abajo de los colectores de CIVAC, servía para suministrar agua de la barranca a los campos agrícolas.

La calidad del agua en el canal Tlahuapan se compara con los resultados de las estaciones E.7 y E.8 del presente estudio, tomando en cuenta que también se ubican en canales de riego. De esta manera se determinan las diferencias en la calidad del agua de la barranca que llega a los campos de cultivos.

Se eligen como parámetros representativos de la calidad del agua el pH, la DBO, la DQO y los STD, y se comparan las concentraciones promedio reportadas en el capítulo 3 para 1973 y en los capítulos 5 y 6 para el período de 1982-1983.

BARRANCA TLAHUAPAN. Para comparar la calidad del agua en la barranca Tlahuapan se toman como referencias la estación Puente Blanco de 1973, y la estación E.6 del Puente en Emiliano Zapata para el período de 1982-1983.

A la estación Puente Blanco le corresponden los datos de la Tabla 3.4 donde se muestran los valores mínimo, máximo y promedio, que se obtuvieron de 7 muestreos simples e instantáneos realizados entre los días 2 y 31 de marzo de 1973. Los parámetros indicados tienen los siguientes valores promedio.

ESTACION PUENTE BLANCO (1973)

pH	6.76
DBO <sub>5</sub>	1399 mg/l
DQO	2965 mg/l
SDT	2866 mg/l

A la estación E.6 del Puente en Emiliano Zapata le corresponden los resultados de la Tabla 5.6, de 11 muestreos, simples e instantáneos, realizados cada mes. De esta tabla se presentan los resultados del muestreo del mes de marzo de 1983, por ser el mes en que se colectaron las muestras de la estación Puente Blanco en 1973. También se presentan los valores promedio de los 11 muestreos, reportados en la Tabla 6.6. Los resultados de los parámetros de interés son los siguientes.

ESTACION E.6 PUENTE EN EMILIANO ZAPATA (1982-1983).

DATOS DE MARZO DE 1983		PROMEDIO ANUAL	
pH	7.4	pH	7.51
DBO <sub>5</sub>	268 mg/l	DBO <sub>5</sub>	235 mg/l
DQO	385 mg/l	DQO	480 mg/l
SDT	866 mg/l	SDT	724 mg/l

Los valores tanto del promedio anual como del muestreo de marzo no tienen diferencias apreciables entre sí, de tal manera que se pueden comparar ambos con los datos de la estación Puente Blanco. La evaluación se hace tomando como referencia el valor más alto de los parámetros de la estación E.6 y se llega a las siguientes observaciones.

El pH cambia de un valor ligeramente ácido de 6.76 en 1973, a un valor ligeramente alcalino de 7.51 en 1982-83, ésto prácticamente no indica ninguna diferencia por lo que es necesario buscar nuevamente en las tablas para conocer

los valores mínimos y máximos reportados en cada ocasión. Así se tiene que en 1973 el pH varió entre 2.7 y 12.3; y para 1982-1983, el pH varió entre 7.1 y 8.1. De esta manera se distingue que para este parámetro se logró un mayor control, evitando problemas de acidez y alcalinidad extremas.

La  $DBO_5$  para 1982-1983 es aproximadamente un 20 % del valor promedio reportado en 1973.

La DQO para 1982-1983 es aproximadamente un 16 % del valor promedio reportado en 1973.

Los SDT para 1982-1983 son aproximadamente un 30 % del valor promedio reportado en 1973.

Es evidente que la calidad del agua reportada en los análisis del período de 1982-1983 para la estación E.6 del Puente en Emiliano Zapata, resulta mejor en comparación a la que se tenía en 1973, por lo cual se puede afirmar que la presencia de ECCACIV dió resultados positivos en este sitio.

CANALES DE RIEGO. Para comparar la calidad del agua en los canales de riego se toman como referencias la estación Canal Tlahuapan de 1973, y las estaciones E.7 y E.8 del Canal Las Compuertas y el Canal Frente a la Quebradora, respectivamente, para el período de 1982-1983.

Los resultados de calidad del agua para el canal Tlahuapan en 1973 se presentan en la Tabla 3.8, de esta

tabla se toman las concentraciones de los parámetros que ha continuación se presentan.

CANAL TLAHUAPAN (1973)

pH	5.7
DBO <sub>5</sub>	1238 mg/l
DQO	2220 mg/l
SDT	2660 mg/l

En el presente estudio los resultados de los canales de riego, en las estaciones E.7 del Canal Las Compuertas y E.8 del Canal Frente a la Quebradora, dieron los siguientes resultados promedio, tomados de las Tablas 6.7 y 6.8.

CANALES DE RIEGO (1982-1983).

ESTACION E.7		ESTACION E.8	
pH	7.56	pH	7.62
DBO <sub>5</sub>	152 mg/l	DBO <sub>5</sub>	126 mg/l
DQO	349 mg/l	DQO	289 mg/l
SDT	686 mg/l	SDT	695 mg/l

Estos resultados no presentan diferencias muy marcadas entre las estaciones E.7 y E.8, por lo que se toma como referencia el valor más alto en cada parámetro para compararlo con los valores del canal Tlahuapan, y se obtienen las siguientes observaciones.

El pH para el canal Tlahuapan en 1973 reportó un valor promedio de 5.7, que comparado con los valores promedios de

las estaciones E.7 y E.8 de 7.56 y 7.62 para cada una respectivamente, se tiene que el pH en el período de 1982-83 mejoró con un valor ligeramente alcalino.

La  $DBO_5$  para 1982-1983 es aproximadamente un 12 % de la concentración de 1973.

La DQO para 1982-1983 es aproximadamente a un 16 % de la concentración de 1973.

Los SDT para 1982-1983 son aproximadamente un 26 % de la concentración de 1973.

El análisis de los resultados para los cuatro parámetros elegidos, muestra que también en los canales de riego disminuyó la contaminación del agua que se tenía antes de la creación de ECCACIV, por lo que se puede concluir que la influencia de ECCACIV ha sido positiva para el uso agrícola del agua.

Al comparar la calidad del agua que se tenía antes de la creación de ECCACIV, con los resultados del período de 1982-1983 se encuentra que el grado de contaminación disminuyó notablemente entre un 70 y 80 %, de acuerdo al contenido de  $DBO_5$ , DQO y SDT. El pH resultó con valores menos extremos y una mayor tendencia a la neutralidad. De manera que es evidente que la presencia de ECCACIV mejoró la calidad del agua en los sitios indicados.

## 6.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS RELACIONADOS CON EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.

En esta parte del estudio, se analiza la información de rendimientos agrícolas y superficies cultivadas en los campos que se riegan con agua de la barranca Tlahuapan. Se analizan también los resultados de la encuesta.

En primer término se comparan las superficies sembradas para seis de los principales cultivos de la zona, y se determina la diferencia entre el período de 1982-83 con relación a 1977-78 para conocer la tendencia a aumentar o disminuir la siembra de cada cultivo.

Los diversos rendimientos de los principales cultivos en cada uno de los períodos, 1977-78, 1979-80 y 1982-83, se comparan con los rendimientos promedio esperados. De esta manera se evalúan los rendimientos de cada período para los cultivos de maíz, frijol, tomate, arroz, jitomate y caña.

El análisis de los resultados de la encuesta señala los aspectos más importantes de las opiniones de los campesinos, relacionados con los efectos que se tienen en algunos cultivos al regarse con agua de la barranca Tlahuapan. Se incluyen algunos comentarios que deberán tomarse en cuenta al interpretar los resultados para los cultivos de arroz, jitomate y caña.

A continuación se presenta el análisis y evaluación de los dos temas mencionados.

### 6.2.1. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RENDIMIENTOS AGRICOLAS

Los datos de rendimientos agrícolas están asociados con la superficie cultivada. Aún cuando la idea central es analizar los diversos rendimientos reportados en su mayoría como unidad de peso por hectárea, se incluye el análisis de las superficies dedicadas en cada período para los seis principales cultivos de la zona.

SUPERFICIE CULTIVADA. Con el fin de buscar alguna variación en las superficies dedicadas a cada cultivo, de un período a otro, se revisaron los datos de las Tablas 5.20 a la 5.26, considerando que representan los campos para los cuales se tiene mayor información; de esta manera se eligieron dichos campos como un área representativa de la zona agrícola que nos ocupa. Se exceptuaron los datos de la Tabla 5.27 que corresponde a los campos Azezentla y Las Compuertas para los que únicamente se tiene información del período 1982-83. Bajo esta consideración, se sumaron las superficies dedicadas a seis de los principales cultivos, en cada período, dando como resultado la Tabla 6.13.

En la Tabla 6.13 se observa una notable reducción en la superficie cultivada durante el período de 1979-80, para todos los cultivos. Por otra parte, al comparar los datos del período 1982-83 con respecto a los datos de 1977-78, se obtiene la última columna de la Tabla 6.13, en la que se

indica la diferencia en % de los rendimientos para cada cultivo, con los siguientes resultados.

TABLA 6.13 SUPERFICIE TOTAL CULTIVADA  
EN CADA PERIODO, (ha).

	1977-78	1979-80	1982-83	1982-83 con relación a 1977-78 en %
maíz	68.1	21.5	63.5	- 6.75
frijol	56.2	12.0	9.6	-82.9
tomate	3.8	--	4.0	+ 5.26
arroz	35.1	3.3	33.0	- 5.98
jitomate	24.4	1.2	11.8	-51.64
caña	40.9	--	48.0	+17.36

El maíz muestra una disminución del 6.75 % de la superficie. El frijol presenta una disminución drástica del 82.9 %. El tomate muestra un aumento ligero del 5.26 %. El arroz presenta una ligera disminución del 5.98 %.. El jitomate disminuye en forma importante en un 51.64 %, y la caña aumenta moderadamente un 17.36 %.

Si consideramos que un cambio es notable cuando es superior al 10 %, podemos decir que tuvieron una tendencia real a disminuir las superficies dedicadas a los cultivos de frijol y jitomate, y una tendencia real a aumentar la superficie dedicada al cultivo de la caña, en los porcentajes ya indicados.

RENDIMIENTOS AGRICOLAS. El análisis de los rendimientos que se tienen registrados para los seis cultivos más importantes, se inicia con un resumen de la información de las Tablas 5.20 a la 5.26. Ese resumen se presenta en la Tabla 6.14 la cual contiene los diversos rendimientos logrados en cada período para los cultivos de maíz, frijol, tomate, arroz, jitomate y caña.

El análisis de los datos de la Tabla 6.14 se hace para cada tipo de cultivo, anotando los rendimientos mínimos y máximos reportados en cada período, dichos rendimientos se comparan con el rendimiento medio esperado y se señalan las diferencias entre ellos en %. Aplicando este análisis para cada cultivo se tienen las siguientes observaciones.

MAIZ. Al cultivo del maíz le corresponden en cada período, 1977-78, 1979-80 y 1982-83, los rendimientos mínimos de 2, 2.5 y 2 ton/ha, así como los rendimientos máximos de 3.5, 3 y 3 ton/ha, los cuales, comparados con el rendimiento esperado de 3 ton/ha, dan para el período de 1977-78 un registro mínimo en rendimientos del -33.3 % y un registro máximo con un aumento del 16.6 %.

TABLA 6.14 RENDIMIENTOS DE CULTIVOS EN CAMPOS REGADOS CON AGUA DE LA BARRANCA TLAHUAPAN, (ton/ha).

PERIODO:	M A I Z			F R I J O L		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
Guante T	3	3	2	1.5 y 2		2
Guante R	2, 3 y 3.5	3	2 y 3	2	2	
El Llano	3	3	2 y 3	2	2	2
Sn Gab.	2.5 y 3	2.5 y 3	3	2		2.5
Temalaca	2.5	3	2 y 3	2	3	2
C. Verde	3		2.5 y 3	2		

PERIODO:	T O M A T E			A R R O Z		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
Guante T	4			5		
Guante R	3 y 4			5 y 6		3 y 5
El Llano	6		4	5 y 6	5 y 6	4 y 5
Sn Gab.						6
Temalaca						4
C. Verde						3 y 5

PERIODO:	J I T O M A T E			C A Ñ A		
	1977-78	1979-80	1982-83	1977-78	1979-80	1982-83
Guante T	8					
Guante R				100		
El Llano	6 y 11		5	100		
Sn Gab.	6	6		150		160
Temalaca	6					200
C. Verde	6		12	150		

Para el siguiente período el registro mínimo es de -16.6 % y el máximo es igual al rendimiento esperado. El tercer período de 1982-83 contiene un registro mínimo de -33.3% y un máximo igual al esperado. En este caso del maíz, se tiene un rendimiento por arriba del esperado en el período de 1977-78, pero en general, no existe una diferencia notable entre los rendimientos de un período y otro.

FRIJOL. El cultivo del frijol tiene para cada período respectivamente, los siguientes rendimientos mínimos, 1.5, 2.0 y 2.0 ton/ha y los rendimientos máximos son 2.0, 3.0 y 2.5 ton/ha, por otra parte el rendimiento esperado para este cultivo es de 2.0 ton/ha.. Con los datos anteriores se calcula para el primer período, un rendimiento mínimo menor en un -25%, y un máximo igual al esperado. En el segundo período se tiene un rendimiento máximo superior en un 50 % al esperado y en el tercer período se tiene un rendimiento máximo superior en un 25 % al esperado. Estas observaciones indican que los mejores rendimientos para el cultivo del frijol se tuvieron en el período de 1979-80.

TOMATE. La información que corresponde al cultivo del tomate indica que es un cultivo poco común en todos los campos, debido a que no se tienen datos para el segundo período de 1979-80, y los datos del primero y tercer períodos son escasos. Aún así, los rendimientos mínimos y máximos registrados para el primer período son de 3 y 6 ton/ha, y para el tercer período el rendimiento registrado es de 4 ton/ha, estos valores comparados con el rendimiento

esperado de 5 ton/ha, indican que para el primer período se tienen diferencias de -50 % y 16.6 %, y para el tercer período la diferencia es de -33.3 %. Es difícil comparar los rendimientos de cada período, por no ser un cultivo común en todos los campos.

ARROZ. Al cultivo del arroz le corresponden, para cada período respectivamente, los rendimientos mínimos de 5, 5 y 3 ton/ha, y los rendimientos máximos iguales a 6 ton/ha en los tres períodos; al comparar estos datos con el rendimiento esperado de 7 ton/ha se observa que todos los rendimientos son menores al esperado, con reducciones de un -28.6 % en el primero y segundo períodos y de un -57 % en el tercer período. Con respecto a este cultivo, los campesinos informaron que se tienen efectos de hiperfertilización ocasionados por el uso del agua de la barranca Tlahuapan. Este efecto se nota por un acelerado crecimiento de la espiga con una mínima producción de semillas. La opinión de los técnicos agrónomos de la zona es en el sentido de que se debe controlar en forma estricta la dosificación de fertilizantes. Sin embargo, no se obtuvieron datos sobre el nivel de nutrientes que puede llegar a tener el agua sin causar este efecto en el cultivo.

JITOMATE. A este cultivo le corresponden los siguientes rendimientos mínimos, para cada período respectivamente, de 6, 6 y 5 ton/ha y los máximos de 11, 6 y 12 ton/ha, los cuales resultan inferiores al rendimiento esperado de 15

ton/ha, siendo las máximas diferencias para cada periodo, de -60, -60 y -67 %.

En este cultivo se observó la afectación por hongos, en el campo Azezentia, lo cual, según los campesinos es debido al uso del agua de la barranca Tlahuapan. También en este caso se obtuvieron otras opiniones por parte de los técnicos agrónomos de la SARH, en relación a que las plagas se presentan debido a que los plaguicidas no se aplican en el momento adecuado. Cabe aclarar que al observar la cosecha de este producto, se estaba fumigando al mismo tiempo que se empacaba para su venta.

CAÑA. El cultivo de la caña reporta para el primero y tercer periodos los siguientes rendimientos mínimos, 100 y 160 ton/ha, y los rendimientos máximos de 150 y 200 ton/ha. Siendo el rendimiento esperado de 150 ton/ha, únicamente se observan reducciones en el primer periodo del -33 % y para el periodo de 1982-83 se tienen aumentos del 7 al 33 %. Para el segundo periodo de 1979-80 no se tienen datos.

EVALUACION DE RENDIMIENTOS. El análisis de los rendimientos proporciona las siguientes conclusiones:

- a) En el cultivo del maíz no se tienen diferencias apreciables en los rendimientos de uno a otro periodo.
- b) El frijol, aún cuando en el último periodo se reporta un aumento en el rendimiento, el hecho de que la superficie cultivada se haya reducido hasta en un 82.9 %, hace que los

datos de rendimientos no sean definitivos para sacar alguna conclusión.

c) El tomate tampoco presenta diferencias apreciables en sus rendimientos de un período a otro. En general, podemos decir que no se logra el rendimiento esperado, y además es un cultivo escaso en el área.

d) El arroz presenta una tendencia a disminuir su rendimiento, teniendo la máxima reducción en el período de 1982-83 con un 57 % menos de lo esperado. En general, en ninguna ocasión se logra el rendimiento esperado para este cultivo.

e) El jitomate presenta rendimientos que van de menos 60 % a menos 67 % de lo esperado, con una tendencia a disminuir la superficie cultivada en el período de 1982-83 con respecto al de 1977-78, en un 51.6 %. Sin embargo, no existe una diferencia notable en la reducción de los rendimientos de un período a otro.

f) La caña presenta un aumento en su rendimiento de 1982-83 con relación a 1977-78, al mismo tiempo que una mayor área de cultivo.

Por lo anterior, sólo se tienen marcadas diferencias en el rendimiento del arroz, con mayor tendencia a disminuir del período de 1977-78 al período de 1982-83. La caña presenta una tendencia a aumentar su rendimiento. El jitomate mantiene un bajo rendimiento en todos los períodos.

El análisis de los rendimientos agrícolas revela la necesidad de aplicar un mayor control en el registro de los datos. Esto se puede lograr si se reconsidera la importancia de las parcelas que se riegan con el agua de la barranca Tlahuapan, porque ellas representan un caso bien definido de reúso de aguas residuales industriales.

#### 6.2.2. ANALISIS Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA.

El análisis de los resultados de la encuesta que se hizo para conocer el grado de aceptación del agua de la barranca Tlahuapan para el riego agrícola, da lugar a tres aspectos importantes como son:

1) En opinión de los campesinos se han notado efectos negativos en algunos cultivos por el uso del agua de la barranca, principalmente en el arroz, con pérdidas hasta del 85 %, y en forma menos drástica en los cultivos de frijol, jitomate y calabaza.

2) Los campesinos evitan regar los cultivos anteriormente señalados, con agua de la barranca, y emplean agua de manantial o los siembran en época de lluvias.

3) Algunos campesinos opinaron que el agua de la barranca beneficia el cultivo de la caña aumentando su rendimiento, no hubo opiniones en contra de esta aseveración.

Los resultados anteriores deben tomarse como ciertos, debido a que son los propios campesinos los primeros en darse cuenta de las altas y bajas en los rendimientos. Sin embargo, para confirmar que los efectos en los rendimientos de los cultivos están exclusivamente asociados con el uso del agua de la barranca, se deberán controlar otros factores de importancia, como son:

a) En el caso del cultivo del arroz, es necesario determinar los niveles de concentración de nutrientes que provocan la hiperfertilización, y tener un control de la aplicación del fertilizante.

b) En el caso del cultivo del jitomate, es necesario controlar las dosis y tiempos de aplicación de los plaguicidas que se usan para el control de plagas.

c) En el caso del cultivo de la caña, es necesario confirmar el aumento en su rendimiento con un mayor registro de datos. Además, se recomienda incluir el análisis del azúcar de la caña, para saber si el aumento en el rendimiento se asocia con una mejor calidad del contenido de azúcares.

De manera general, los resultados de la encuesta indican que el agua de la barranca tiene gran aceptación para el uso agrícola, particularmente en época de estiaje. Y que su aprovechamiento se hace evitando sembrar cultivos que puedan resultar afectados.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES GENERALES

1. Los resultados de este estudio demuestran que la creación de ECCACIV ha reducido el nivel de contaminación del agua en la barranca Tlahuapan entre un 70 y 80 %, además de favorecer una tendencia a la neutralidad en los valores de pH. Esto se comprobó para las estaciones localizadas en el puente de Emiliano Zapata y en los canales de riego, al comparar la calidad del agua reportada en los estudios previos a ECCACIV de 1973 y los resultados de este estudio.
2. La variación de la calidad del agua en su recorrido por la barranca Tlahuapan, indica que el efluente de la planta de tratamiento influye en las estaciones antes mencionadas, en las que se detectan características equivalentes a las de un desecho doméstico de mediana concentración.
3. La calidad agronómica del agua no presenta limitaciones para su uso agrícola en lo que se refiere al contenido de metales pesados y sodio intercambiable. La presencia de bacterias coliformes indica que el agua no se debe usar para riego de legumbres que se consuman sin hervir, ni de frutas que tengan contacto con el suelo, y su uso queda libre para los demás cultivos. El contenido de

sales disueltas limita su uso únicamente a cultivos muy resistentes a la salinidad.

4. El análisis de los rendimientos agrícolas y de las superficies cultivadas, en las parcelas que tradicionalmente se riegan con agua de la barranca Tlahuapan, no aportó conclusiones definitivas que relacionaran los rendimientos con el inicio de operaciones de la planta de tratamiento.
5. La encuesta realizada entre los campesinos dió a conocer que el agua tiene gran aceptación para riego, particularmente en la época de estiaje.

#### CONCLUSIONES ESPECIFICAS RELACIONADAS CON LA CALIDAD DEL AGUA.

El estudio de la calidad del agua en la Barranca Tlahuapan proporcionó información suficiente para determinar la calidad promedio anual en los diferentes sitios de muestreo.

6. La estación localizada aguas arriba de la descarga del efluente de ECCACIV presenta poco grado de contaminación orgánica, con características por abajo de las que corresponden a un desecho doméstico de baja concentración. Mientras que el efluente de la planta de

tratamiento sobrepasa las características de un desecho doméstico de fuerte concentración.

7. El efluente de la planta de tratamiento influye directamente en la calidad del agua de las estaciones localizadas aguas abajo, hasta los canales de riego, provocando en el agua características de un desecho doméstico de mediana concentración.
8. La calidad del agua de la barranca se recupera a partir de la estación E.9, localizada frente a las Granjas Mérida; en este sitio las características del agua están por abajo de las de un desecho doméstico de débil concentración. La Estación E.10 en la confluencia de la barranca con el Río Apatlaco y la estación E.11 en el Río, presentan características de agua libre de contaminación orgánica.

La variación de la calidad del agua en su recorrido por la Barranca Tlahuapan presenta el siguiente comportamiento.

9. La aportación de la descarga de la planta de tratamiento a la barranca aumenta la cantidad de materia orgánica medida como  $DBO_5$  y DQO, disminuye el oxígeno disuelto, proporciona nutrientes como nitrógeno y fósforo, principalmente nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal. Este efecto se detecta en las estaciones localizadas aguas abajo sobre la barranca, hasta la estación E.6 del

Puente en Emiliano Zapata, y en las estaciones E.7 y E.8 localizadas en canales de riego.

Las características promedio del agua en estos tres sitios son: pH entre 7.51 y 7.62, OD menor a 0.5 mg/l,  $\text{DBO}_5$  entre 126 y 235 mg/l, DQD entre 289 y 480 mg/l, N-Org entre 13 y 28 mg/l y  $\text{N-NH}_3$  entre 23 y 32 mg/l. Estos valores son comparables a los de un desecho doméstico de mediana concentración.

10. La Barranca Tlahuapan recupera la calidad del agua por efectos de dilución, en la estación E.9 de Granjas Mérida, por aportaciones del manantial Palo Escrito; y en la estación E.10 de la Confluencia con el Río Apatlaco, por aportaciones no identificadas que se revelan con un aumento en el caudal y en el contenido de sólidos disueltos totales.

11. El caudal del efluente de la planta de tratamiento resulta importante en la época de estiaje, porque representa la principal aportación de agua en la barranca, particularmente en el agua que se desvía a los canales de riego.

Los parámetros de calidad agronómica permiten clasificar el agua para uso agrícola, con los siguientes resultados.

12. De acuerdo a la salinidad medida como SDT y CE, el agua del efluente de la planta de tratamiento y de la

- estación E.3 localizada aguas abajo de la descarga del efluente, presentan las mayores concentraciones de estos parámetros, lo que las clasifica como agua que puede ocasionar efectos adversos en varios cultivos y requerir cuidadosas prácticas de manejo.
13. La estación E.1, aguas arriba de la descarga del efluente, la estación E.4 del Canal Tributario, y la estación E.9 en Granjas Mérida, no presentan problemas de salinidad para uso agrícola.
  14. Las demás estaciones, incluyendo los canales de riego, tienen un nivel intermedio de calidad de acuerdo a su salinidad, que las clasifica como agua que puede ocasionar efectos perjudiciales en cultivos sensibles.
  15. El sodio no representa una limitante para el uso agrícola del agua, según indican los bajos valores de RAS obtenidos en todas las estaciones.
  16. En base a los parámetros de RAS y CE la mayoría de las estaciones se clasifican como  $C_3S_1$ , lo cual indica que de acuerdo al contenido de sales medido como CE, el agua no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado puede ser necesario aplicar prácticas especiales de control de salinidad. Se deben seleccionar cultivos muy resistentes a las sales para este tipo de agua.
  17. Los metales pesados no representan una limitante para el uso del agua en la agricultura, tomando en cuenta que no se detectaron los elementos: arsénico, mercurio, níquel,

cobre y cromo hexavalente, y que para los elementos: fierro, manganeso, zinc, plomo y boro se reportan muy bajas concentraciones.

18. La estación E.11 del Río Apatlaco se encontró libre de contaminación orgánica e inorgánica que pudiera relacionarse con el efluente de la planta de tratamiento. La calidad del agua en este sitio cubre las características de la clase D-III para uso agrícola e industrial

19. Al comparar la calidad del agua que se tenía antes de la creación de ECCACIV, en 1973, con los resultados de este estudio, obtenidos en el período de 1982-1983, se tomaron como puntos de referencia la estación E.6 localizada en el Puente de Emiliano Zapata, y las estaciones E.7 y E.8 localizadas en canales de riego. Los resultados muestran que la contaminación del agua disminuyó notablemente entre un 70 y 80 %, de acuerdo al contenido de  $DBO_5$ , DQO y SDT. El pH resultó con valores menos extremos y una mayor tendencia a la neutralidad. Resulta evidente que la presencia de ECCACIV mejoró la calidad del agua en los sitios de referencia.

CONCLUSIONES ESPECIFICAS RELACIONADAS CON  
EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA.

El análisis de los rendimientos agrícolas y superficies cultivadas de los campos que tradicionalmente se riegan con agua de la barranca Tlahuapan, aporta las siguientes conclusiones para seis de los principales cultivos.

20. La relación de la superficie total cultivada en el período de 1982-83, con relación al período de 1977-78, indica que el frijol se dejó de sembrar en un 82.9 %, el jitomate también se dejó de sembrar en un 51.6 %, la caña aumentó de superficie sembrada en un 17.36 %. Los cultivos de maíz, arroz y tomate presentan diferencias menores al 10 % entre un período y otro.
21. El análisis de los rendimientos agrícolas registrados para los seis principales cultivos de la zona, muestra que únicamente se tienen marcadas diferencias en los rendimientos del período de 1977-78 al período de 1982-83, en los cultivos del arroz, con una mayor tendencia a disminuir su rendimiento; la caña, con una tendencia a aumentar su rendimiento; y el jitomate que mantiene un bajo rendimiento en los tres períodos. El maíz no tiene diferencias apreciables en los rendimientos de uno y otro período. Para el frijol y el tomate no se tienen datos suficientes que permitan sacar conclusiones definitivas.

22. La encuesta realizada entre los campesinos muestra que el agua de la barranca tiene gran demanda para uso agrícola en la época de estiaje. La misma encuesta da a conocer que los campesinos tienen conocimiento de que el agua de la barranca afecta a algunos cultivos y a otros no. Los cultivos que bajan su rendimiento son: el arroz, con pérdidas hasta de un 85 %, y en menor proporción los cultivos de frijol, jitomate y calabaza. La caña resultó ser un cultivo que aumenta su rendimiento con el uso del agua de la barranca.

#### RECOMENDACIONES.

23. En relación con la calidad bacteriológica del agua, se recomienda que los usuarios adopten medidas sanitarias, con hábitos de higiene y métodos de cultivo que les permitan evitar enfermedades asociadas con el uso del agua en las actividades agrícolas.

24. Es importante señalar que para estimar los efectos que tendrá el uso del agua de la barranca Tlahuapan en el suelo y los cultivos, a consecuencia del contenido de sales relativamente alto, es necesario tomar en cuenta otros factores como son: permeabilidad, textura y contenido orgánico de los suelos; tolerancia de los cultivos, y prácticas de control de salinidad, además de

factores ambientales relacionados con el clima, como es el lavado del suelo por acción de la lluvia.

25. El análisis de los rendimientos agrícolas revela la necesidad de aplicar un mayor control en el registro de los datos. Para esto se recomienda dar mayor importancia a las parcelas que se riegan con agua de la barranca Tlahuapan, y tomar en cuenta que representan un caso bien definido de reúso de aguas residuales industriales.

26. Los efectos que los campesinos han notado en algunos cultivos por el uso del agua de la barranca, deben tomarse como ciertos; sin embargo, para confirmar que esos efectos están exclusivamente asociados con el uso del agua de la barranca, se recomienda tomar en cuenta otros factores de importancia. Para el caso del cultivo del arroz, controlar las dosis de fertilizante; para los cultivos de jitomate, frijol y calabaza, controlar las dosis y tiempos de aplicación de los plaguicidas. Para el cultivo de la caña se recomienda confirmar el aumento del rendimiento con un mayor registro de datos.

## BIBLIOGRAFIA

1. Athie Lambarri Mauricio C. University of Strathclyde. "Water Quality Management in CIVAC, Mor. (México)". Inglaterra, 1978.
2. APHA-AWWA-WPCF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 15 th Edition. USA, 1980.
3. Constructores y Asesores Técnicos, S A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SARH. "Proyecto de un Sistema de Tratamiento por Disposición en Tierra de las Aguas Residuales del Area Metropolitana de la Ciudad de México, Mediante su Aprovechamiento en los Distritos de Riego 88, 03 y 27". México, 1984.
4. Cortina Osguera Arturo F. Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente. SSA. "Algunos Aspectos de la Contaminación del Agua por Fuentes Industriales en el Valle de Cuernavaca". México, 1973.
5. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Estudio de la Calidad del Agua en la Cuenca del Alto Amacuzac", Segunda Etapa. México, 1973.

6. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SARH. "Avances del Programa para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas". México, 1975.
7. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, SARH. "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas". México, 1975.
8. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, Subsecretaría de Planeación, SARH. "Clasificación de la Cuenca del Río Amacuzac, Ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla". México, 1980.
9. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Análisis Preliminar de las Obras de Tratamiento de Aguas Residuales y Desechos Industriales Generadas en CIVAC y Zonas Aledañas, Estado de Morelos". México, 1974.
10. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Diseño del Sistema de Tratamiento para el Control de la Contaminación del Agua en la Zona de CIVAC, Mor.". México, 1975.

11. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SARH. "Diseño del Sistema de Colección para el Control de la Contaminación del Agua en la Zona de Civac, Mor.". México, 1975.
12. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Estudio Económico Financiero para el Distrito de Control de la Calidad del Agua de la Zona de CIVAC ". México, 1975.
13. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A., Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Reúso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos". Tercera etapa. México, 1976.
14. Environmental Protection Agency. "Water Quality Criteria". U S A. 1972.
15. Gobierno del Estado de Morelos y Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, SARH. "Distrito de Control de la Contaminación del Agua en la Zona de CIVAC". México, 1980.

16. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, SRH. "Estudio para la Evaluación de la Calidad del Agua en la Cuenca del Alto Amacuzac". Primera etapa. México, 1972.

17. Metcalf y Eddy, Inc. "Wastewater Engineering Collection, Treatment and Disposal". McGraw-Hill U.S.A. 1972.

## APENDICE

### A. MAXIMOS TOLERABLES

Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
Grasas y aceites	70 mg/l
Materia flotante	ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm, de claro libre cuadrado.
Temperatura	35 °C
pH	4.5 - 10.0

---

Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas. SRH, 1973.

**B. CARACTERISTICAS DE CALIDAD DEL AGUA  
PARA USO AGRICOLA E INDUSTRIAL**

PARAMETROS	LIMITES PERMISIBLES
pH	6.0 a 9.0
Temperatura	Condiciones naturales más 2.5 °C.
Bacterias coliformes (NMP/100 ml)	1000 para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo y sin límite para los demás cultivos.
Grasas y aceites (mg/l)	Ausencia de película visible.
Sólidos disueltos (mg/l)	Conductividad no mayor de 2000 $\mu$ mhos/cm si el valor de RAS es mayor de 6 la SARH fijará el valor definitivo.
Turbiedad (UTJ)	Condiciones naturales.
Color (escala Pt-Co)	Condiciones naturales más 10 unidades.
Nutrientes (mg/l) (nitrógeno y fósforo)	No deben existir en cantidades que provoquen hiperfertilización.
Materia flotante	Ausente.
Sustancias Tóxicas.	Límite máximo permisible (mg/l).
arsénico	5.00
bario	--
boro	2.0
cadmio	0.005
cobre	1.0
cromo hexavalente	5.00
mercurio	--
plomo	5.0
selenio	0.05

---

Clasificación DIII de los cuerpos receptores superficiales en función de sus usos. Reglamento para la prevención y Control de la Contaminación del agua. SARH. 1973.

C. COMPOSICION TIPICA DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA.

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	700	350
Disueltos totales	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos totales	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos sedimentables (ml/l)	20	10	5
DBO <sub>5</sub> a 20 °C	300	200	100
Carbono orgánico total (COT)	300	200	100
DDO	1000	500	250
Nitrógeno total (N-T)	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total (P-T)	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros *	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> ) *	200	100	50
Grasa	150	100	50

---

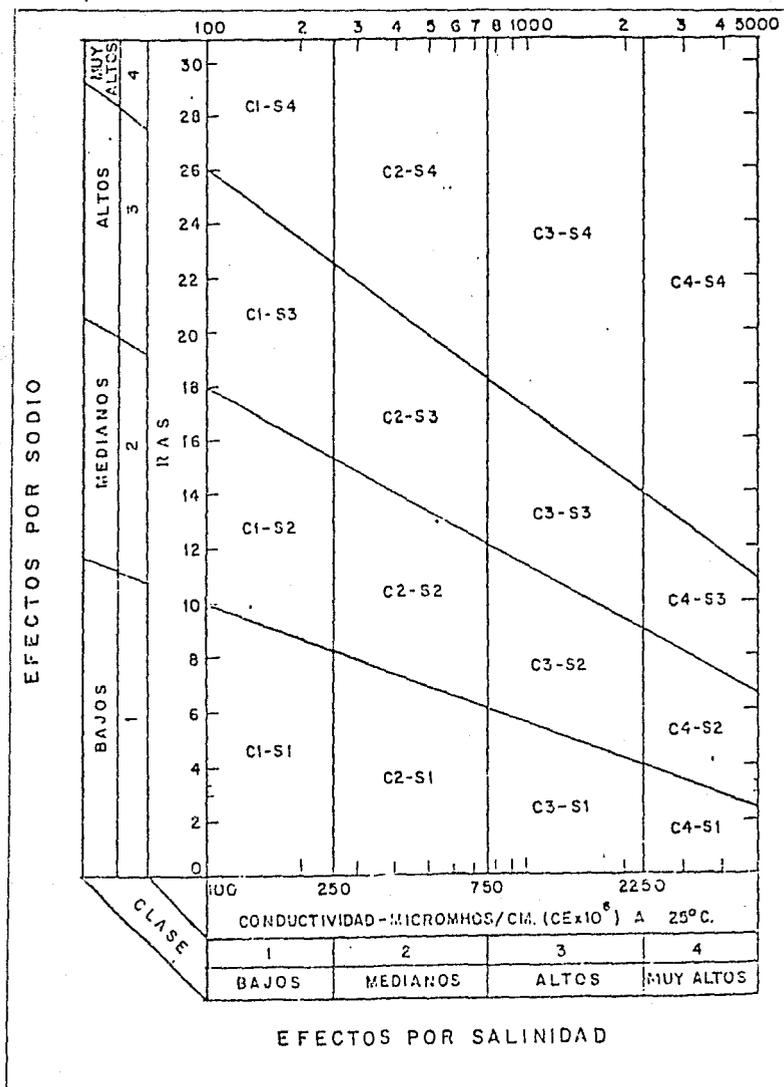
\* Los valores aumentan con la cantidad presente en el agua de suministro. Las unidades son mg/l. Metcalf y Eddy 1977.

D. TOLERANCIA A LA SALINIDAD DEL AGUA  
EN REGIONES ARIDAS Y SEMIARIDAS

CLASIFICACION	SOLIDOS TOTALES	CONDUCTIVIDAD
	DISUELTOS (mg/l)	ELECTRICA ( $\mu$ mhos/cm)
Agua que no ocasiona efectos perjudiciales notables.	500	750
Agua que puede ocasionar efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	500 - 1000	750 - 1500
Agua que puede ocasionar efectos adversos en varios cultivos y requerir cuidadosas prácticas de manejo.	1000 - 2000	1500 - 3000
Aguas que pueden ser usadas en plantas tolerantes localizadas en suelos permeables con cuidadosas prácticas de manejo.	2000 - 5000	3000 - 7000
Aguas con poco valor para riego.	> 5000	

---

Fuente: Tomado de la Referencia [3].



E.a. DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS DE IRRIGACION

E.b. NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA PARA LA  
CLASIFICACION DE AGUAS DE IRRIGACION

- C 1. Puede usarse en el riego de la mayor parte de los cultivos con casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrollen problemas de salinidad. Si el suelo necesita algún lavado, éste se logra en condiciones normales de riego, excepto cuando se trata de suelos de muy baja permeabilidad.
- C 2. Puede usarse siempre y cuando se utilice de manera moderada. En casi todos los casos se pueden desarrollar plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- C 3. No puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado pueden necesitarse prácticas especiales de control de salinidad. Se debe seleccionar su aplicación únicamente en cultivos muy tolerantes a las sales.
- C 4. No es propia para riego bajo condiciones normales, pero puede ser utilizada en condiciones especiales. Para este caso, los suelos deben ser permeables y seleccionar los cultivos muy tolerantes.
- S 1. Se pueden utilizar en la mayoría de los suelos con pocas probabilidades de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. Sin embargo, algunos cultivos sensibles, como ciertos frutales y aguacate, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

E.b. CONTINUACION.

- S 2. Puede usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos con buena permeabilidad.
- S 3. Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos, por lo que se requiere buen drenaje, fácil lavado y adición de materia orgánica.
- S 4. Esta agua es de uso inadecuado para el riego, a menos que tenga salinidad baja o media, Además, la disolución de calcio en el suelo y/u otros mejoradores no hagan antieconómico su empleo.

Fuente: Tomado de la Referencia [3].

F. CONCENTRACIONES MAXIMAS RECOMENDADAS PARA LOS  
OLIGOELEMENTOS EN AGUAS DE RIEGO <sup>a</sup>

AGUA I: De uso continuo en todo tipo de suelo.

AGUA II: De uso hasta por 20 años en un suelo de textura  
fina y pH de 6.0 a 8.5.

ELEMENTO	PARA AGUA I mg/l	PARA AGUA II mg/l
Aluminio	5.00	20.00
Arsénico	0.10	2.00
Berilio	0.10	0.50
Boro	0.75	2.00
Cadmio	0.01	0.05
Cromo	0.10	1.00
Cobalto	0.05	5.00
Cobre	0.20	5.00
Fluor	1.00	15.00
Fierro	5.00	20.00
Plomo	5.00	10.00
Litio	2.50 <sup>b</sup>	2.50 <sup>b</sup>
Manganeso	0.20	10.00
Molibdeno	0.01	0.05 <sup>c</sup>
Níquel	0.20	2.00
Selenio	0.02	0.02
Vanadio	0.10	1.00
Zinc	2.00	10.00

a. Estas concentraciones no afectarán normalmente a plantas o suelos.

b. La concentración máxima recomendada para el riego de cítricos es de 0.075 mg/l.

c. Únicamente para suelos ácidos con texturas finas o suelos ácidos con contenidos de óxido de fierro relativamente altos.

Fuente: "Water Quality Criteria", EPA, U.S.A. 1972.