



00361 33
71.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS
División de Estudios de Posgrado

**CALIDAD DEL AGUA TRATADA PARA RIEGO
Y SUS EFECTOS SOBRE LOS SUELOS**

T E S I S

Que para obtener el Grado Académico de:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA)

P R E S E N T A

ENRIQUE SÁNCHEZ SALINAS

DIRECTORA DE TESIS: M. en C. MARGARITA EUGENIA GUTIÉRREZ RUIZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1997



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

**Este trabajo fue financiado por proyectos apoyados por el
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología,
la Secretaría de Educación Pública y
el Programa Supera de la ANUIES**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de diversas Instituciones y personas, lo que permitió no sólo los resultados que se presentan aquí, sino el estímulo por seguir adelante. Por ello deseo manifestarles mi más profundo agradecimiento y afecto.

Al Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, que me brindó la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.

A la M. en C. Margarita Eugenia Gutiérrez Ruiz, por su valiosa dirección y especialmente por su apoyo y afecto incondicional.

Al Dr. David Flores Roman, por la revisión y atinadas sugerencias a este trabajo.

A la Dra. Susana Saval Bohorquez, por las valiosas observaciones en la revisión de este trabajo y por su gran calidad humana.

Al Dr. José López García, por la profunda revisión del trabajo y por sus objetivas críticas.

A la Dra. Teresa Reyna Trujillo, por la revisión de esta tesis, por su interés y sugerencias a la misma y en especial por su amistad.

A la Dra. Silke Kram Heydrich, por sus atinados comentarios al trabajo.

A la M. en C. Lourdes Flores Delgadillo, por su detallada revisión y comentarios al trabajo.

A la M. en C. Ma. Laura Ortiz Hernández, por haberme involucrado en este proyecto, su apoyo en mi formación académica y su constante estímulo para seguir adelante.

Al personal del Laboratorio de Investigaciones Ambientales: Chimal, Lety, Angeluz y Malena, por su valiosa ayuda. Especialmente a nuestros estudiantes: Licha, Esme, Salas, Gus, Michelle, Atahualpa y Alyn.

Al Biol. Adalberto Aguilar León y al Biol. Alfonso Viveros Miramontes, por su incondicional respaldo y amistad de siempre.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para hacer posible este trabajo

**A la mujer, que me puso en este mundo, mi madre;
a mi abuela y mis hermanos,
en especial a Paty por los momentos difíciles de nuestra vida**

A Blanca, con cariño, por estar siempre a nuestro lado

A mis amigos de siempre, Beto y Poncho

a la memoria de:

**Daniel Baños Noyola
"Muere el hombre al que se deja morir.
No será tu caso queridísimo Chino"**

**A Laura:
por permitirme caminar a su lado,
por su amor.**

**A mis pequeñas Katia y Tania,
producto del mismo y
por su infinita ternura**

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	5
1. ANTECEDENTES	6
1.1. Descripción del área de estudio	6
1.1.1. Localización	6
1.1.2. Clima	6
1.1.3. Vegetación	8
1.1.4. Suelos	8
1.1.5. Geología/Geomorfología	10
1.1.6. Hidrología	12
1.1.7. Hidrogeología	12
1.2. Aspectos socioeconómicos	14
1.2.1. Tenencia de la tierra y uso del suelo	15
1.3. Origen y descripción de la ciudad industrial	17
1.4. Problemática de las aguas residuales	18
2. PARTE EXPERIMENTAL	21
2.1. Generalidades	21
2.2. Evaluación del agua residual	21
2.2.1. Muestreo	21
2.2.2. Metodología analítica	23
2.2.2.1. Análisis físicos y químicos	24
2.2.2.2. Análisis microbiológicos	24
2.2.2.3. Elementos potencialmente tóxicos (metales pesados)	25
2.2.3. Criterios de evaluación	27
2.3. Evaluación de suelos	27
2.3.1. Muestreo	27
2.3.2. Metodología analítica	28
2.3.2.1. Análisis físicos y químicos	28
2.3.2.2. Determinación de elementos potencialmente tóxicos	30
2.3.3. Criterios de evaluación de suelos con base en su concentración de sales	31
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1. Evaluación de aguas	32
3.1.1. Aguas residuales y tratadas	32
3.1.2. Evaluación de las aguas de riego	38
3.2. Evaluación de suelos	46
3.3. Consideraciones finales	52
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54

5. BIBLIOGRAFÍA	56
APÉNDICE A: PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA DE ESTUDIO	62
A.1. Situación inicial	62
A.1.1. Tipo de efluente generado y destino inicial	62
A.1.2. Calidad del agua	64
A.2. Situación actual	66
A.2.1. Fundación de la Eccaciv como solución	66
A.2.2. Sistema colector	66
A.2.3. Características específicas de la planta de tratamiento	67
A.2.4. Calidad del agua posterior a la instalación de la Eccaciv	71
APÉNDICE B. ASPECTOS AMBIENTALES	73
B.1. Generalidades sobre contaminación del agua	73
B.1.1. Características	73
B.1.2. Toxicología	74
B.2. Generalidades sobre contaminación del suelo	75
B.2.1. Elementos potencialmente tóxicos en el suelo	76
B.2.2. Contaminación de suelos por compuestos orgánicos	83
B.2.3. Suelos afectados por sales	83
B.2.4. Salinización en vertisoles	87
B.2.5. Nitrógeno	88
B.2.6. Fósforo	89
B.3. Tratamiento de aguas residuales	89
B.3.1. Tratamiento primario	90
B.3.2. Tratamiento secundario	91
B.3.3. Tratamiento terciario	93
B.4. Uso de aguas residuales en riego agrícola	93
APÉNDICE C. LEGISLACIÓN AMBIENTAL (LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE RIEGO AGRÍCOLA)	98
APÉNDICE D. RESULTADOS ANALÍTICOS	99
D.1. Resultados de los análisis de aguas	99
D.2. Resultados de los análisis de suelos	105
APÉNDICE E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS	108
E.1. Análisis de varianza de los dos sitios de muestreo de la Eccaciv	108
E.2. Análisis de varianza del agua de riego	118
E.3. Pruebas de Tukey	128
E.4. Prueba de X^2 en suelos agrícolas	139

RESUMEN

El estado de Morelos inició su desarrollo industrial con el establecimiento de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac), que propició un crecimiento urbano, la creación de empleos y la generación de bienes y servicios. Las aguas residuales producidas se disponían en arroyos vecinos, principal fuente de riego de la zona agrícola circundante. Los ejidatarios han asociado diversos problemas de sus parcelas, con la contaminación de los arroyos, señalando que se han obligado a reducir el número de cultivos y que la productividad ha disminuido considerablemente. Esta situación, junto con las condiciones socioeconómicas actuales, los orilla a abandonar sus tierras, reflejándose en la disminución de la población dedicada a las actividades económicas primarias.

Como solución a esta problemática, a principios de la década de los setentas, se estableció el Primer Distrito de Control de la Contaminación del Agua de Civac, en el que quedó incluida una planta de tratamiento para mejorar la calidad de agua de riego. No obstante, los ejidatarios continúan manifestando sus quejas ante la mala calidad del agua, ya que siguen observando la disminución en el rendimiento agrícola en diferentes cultivos, así como en la superficie cultivable. Por lo tanto, se consideró necesario realizar una investigación para evaluar la calidad del agua tratada que se utiliza para riego, y su influencia sobre los suelos de dos municipios del estado de Morelos.

Se establecieron seis sitios de muestreo de aguas, dos en la planta de tratamiento (influyente y efluente) y cuatro a lo largo del cauce de la barranca Puente Blanco. Se tomaron muestras simples mensualmente a través de un año. Además, se tomaron muestras de suelos en tres tipos de parcelas: de temporal, regadas con aguas de manantial e irrigadas con una mezcla de aguas residuales y tratadas. A todas ellas, se les aplicaron los análisis físicos, químicos y microbiológicos. Con los resultados analíticos obtenidos, se llevó a cabo un análisis estadístico, utilizando parámetros de la estadística descriptiva como medidas de tendencia central y de dispersión y variabilidad. Se aplicó también un análisis de varianza a los diferentes parámetros del agua, a través del tiempo y de sitios de muestreo, así como una prueba de Tukey para determinar la estación o el mes responsables de las diferencias estadísticamente significativas. También, se utilizaron pruebas de X^2 para determinar las diferencias entre los suelos irrigados con aguas mezcladas y los de temporal.

Los resultados obtenidos muestran que con respecto a la normatividad ambiental vigente, las aguas tratadas vertidas a la barranca Puente Blanco (efluente de la planta de tratamiento), rebasan los niveles máximos permisibles para los siguientes parámetros: cloruros, coliformes fecales, conductividad eléctrica, sulfatos, sólidos suspendidos, DBO_5 , sustancias activas al azul de metileno (SAAM), grasas y aceites y cobre. Esto afecta la calidad del agua en su uso para riego agrícola.

A lo largo de la barranca Puente Blanco, los parámetros analizados también rebasan el límite máximo establecido en la normatividad para riego agrícola; estos fueron los siguientes: sulfatos, sólidos suspendidos, DBO_5 , coliformes fecales, grasas y aceites, SAAM y cobre. Además, se presentó una alta variabilidad en sus resultados a lo largo del año. Los análisis

de varianza mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo para los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos suspendidos, DQO, DBO₅, OD, grasas y aceites, dureza, SAAM, sulfatos, nitratos, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, fósforo total, calcio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc y níquel. De acuerdo a la prueba de Tukey, la estación responsable de las diferencias fue la establecida después de la descarga de la planta de tratamiento. Se presentaron valores significativamente más altos en todos los parámetros, comparativamente con el resto de los sitios de muestreo, con excepción del oxígeno disuelto que resultó ser significativamente menor.

Todos estos análisis, condujeron a detectar que las aguas restringen su utilización por la concentración elevada de sales y de bacterias coliformes.

En cuanto a la evaluación de suelos agrícolas, sus propiedades físicas como la densidad aparente y la real, así como el porcentaje de porosidad, no presentaron diferencias significativas. La conductividad eléctrica, los cloruros y los sulfatos presentan diferencias altamente significativas provocadas por un incremento en los resultados de los suelos regados con aguas residuales.

La materia orgánica presentó una tendencia a su incremento en la mayoría de los suelos regados con las aguas tratadas, comparativamente con los suelos regados con aguas de manantial y de temporal. A pesar de esta situación, la prueba de X^2 reporta que no hay diferencias estadísticamente significativas.

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico también se han visto incrementados. El pH de los suelos analizados, varía de ligeramente ácido a ligeramente alcalino y no existen diferencias entre los valores de este parámetro. Respecto a la concentración total de los metales pesados, se observa una tendencia hacia su acumulación y disponibilidad, principalmente para níquel, cobalto, zinc, cromo y plomo. La prueba estadística informa una diferencia altamente significativa entre los suelos de temporal y los irrigados con aguas residuales, tanto para metales en su concentración total como en sus formas disponibles.

También, se presentaron diferencias en el caso de los cationes calcio, magnesio y potasio. El valor promedio del porcentaje de saturación de bases (PSB) de los suelos regados con aguas residuales, fue menor al de temporal. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) presentó un valor menor en los suelos de temporal, confirmado con los datos de sodio intercambiable.

INTRODUCCIÓN

A principios de la década de los sesentas, en el estado de Morelos se presentó un desarrollo industrial importante, lo que propició un crecimiento urbano y una "prosperidad" económica por la creación de empleos y la generación de bienes y servicios. La zona industrial se estableció en las inmediaciones de Cuernavaca, capital del estado de Morelos, con el nombre de Pro-Ciudades Industriales Completas, S.A. (Procicsa), la cual fue fundada en 1963 por la Sociedad de Profesionales del Estado de Morelos en coordinación con el Gobierno del Estado. Este organismo actualmente es administrado por un fideicomiso (Procivac) y la zona industrial recibe el nombre de Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac).

En el año de 1973 la Civac contaba con una superficie urbanizada de aproximadamente 400 hectáreas, de las cuales el 50% se destinó a la industria y el resto para desarrollo urbano. La ciudad industrial contaba con un proyecto de crecimiento, para una segunda y tercera etapas. Estos planes de desarrollo industrial fueron considerados al diseñar el primer distrito para el control de la contaminación del agua (SARH, 1980 y SRH, 1973).

En ese mismo año predominaba la industria textil y la química-farmacéutica con un 28 y 25% respectivamente; la metalúrgica y de acabado de metales constituían un 11%. El resto con porcentajes menores al 8%, estaban representadas por las industrias de la celulosa, plástico, electrónica y de productos alimentarios, entre otros (Ramírez, 1990). Actualmente, el número y giros de las empresas establecidas en la Civac se ha incrementado considerablemente (para mayor información, remitirse al apéndice A).

Todas las industrias, utilizan abundante agua en sus procesos, principalmente potable, y generan efluentes líquidos que contienen diversos compuestos químicos (INEGI, 1990a y Ramírez, *op. cit.*). En los primeros años de funcionamiento, las aguas residuales sin tratamiento se disponían en arroyos vecinos que conforman la principal fuente de riego de la zona agrícola circundante.

Los ejidatarios han asociado diversos problemas de sus parcelas con la contaminación de los arroyos; por lo que han planteado quejas constantes a las autoridades, señalando que han tenido que reducir el número de cultivos y que la productividad ha disminuido considerablemente.

Los suelos de los terrenos agrícolas de los ejidos en que se utiliza el agua residual para riego, eran aptos para el cultivo de jitomate, cebolla, arroz, flor de corte (gladiola, nardo, rosal y zempoaxochitl), maíz, caña de azúcar, frijol, tomate, pepino, calabaza, melón, okra, pápalo, sandía, berenjena y ejote, entre otros. La SARH registra diez campos de propiedad ejidal pertenecientes a los municipios de Emiliano Zapata y Jiutepec que reciben las aguas residuales de la barranca Tlahuapan, esos campos suman un total de 437.2 hectáreas y de ellos se benefician 339 ejidatarios. Los productos de dichos cultivos eran utilizados en el autoconsumo, el abasto de los principales mercados del estado y del Distrito Federal y, en ocasiones, para exportación (Ramírez, *op. cit.* y Ortiz, 1994).

La disposición directa de las aguas residuales industriales a las barrancas 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, que provocó la contaminación de las aguas del manantial San Gaspar, fuente de abastecimiento de agua potable para cinco poblados (SARH, 1980b).

Fue hasta principios de la década de los setentas, cuando se iniciaron los trabajos de monitoreo de calidad de aguas residuales, con lo que se acordó establecer el Primer Distrito de Control de la Contaminación del Agua de Civac, en el que quedó incluida una planta de tratamiento para mejorar la calidad del agua de riego (para mayor información, remitirse al apéndice A).

A pesar de la implantación del primer distrito de control de la contaminación del agua y su planta de tratamiento, como solución particular a la problemática de la zona, los ejidatarios continúan manifestando sus quejas ante la mala calidad del agua para riego agrícola, ya que siguen observando la disminución en el rendimiento agrícola en diferentes cultivos.

Como puede observarse en la figura 1, el volumen de la producción de los principales cultivos del municipio de Jiutepec, a través de los años, ha disminuido considerablemente, ya que entre 1977 y 1992 disminuyó un 70 % la producción de maíz y arroz. En el caso de la calabacita, en 6 años bajó su producción un 50% (INEGI, 1993b).

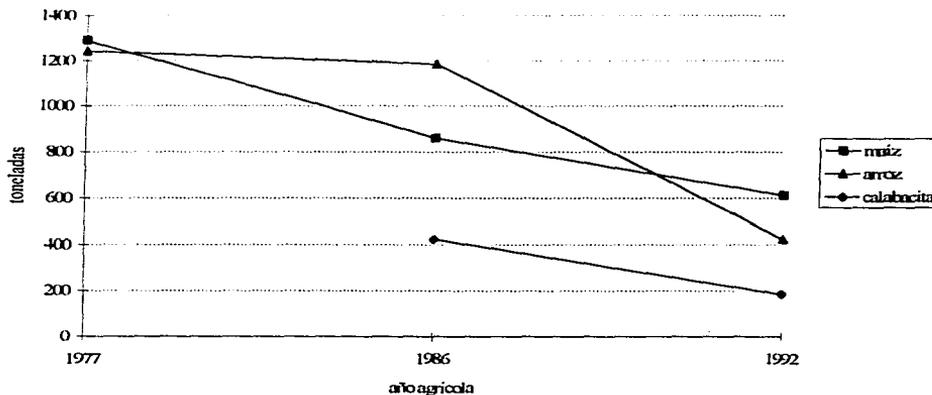


Fig. 1. Volumen de la producción de los principales cultivos del municipio de Jiutepec, ciclos agrícolas 1977, 1986 y 1992 (SPP, 1982 e INEGI, 1993b).

Por otro lado, la figura 2 muestra la relación entre la superficie cultivada y la cosechada en el municipio de Emiliano Zapata, en el periodo comprendido entre 1965 y 1987. Puede observarse que la superficie cultivada ha aumentado a través del tiempo, pero la superficie cosechada ha disminuido. Esto se relaciona con la pérdida del cultivo durante su ciclo de crecimiento (INEGI, 1990 c).

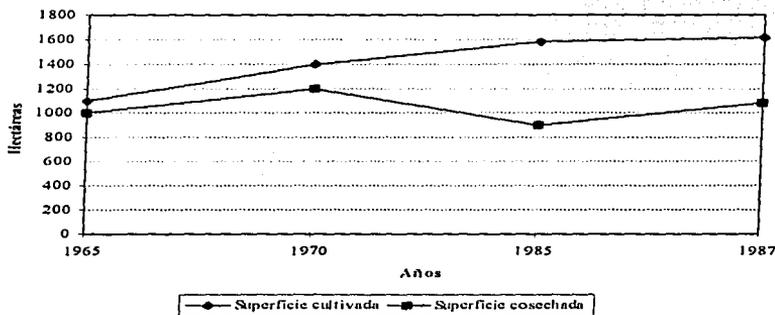


Fig. 2. Relación entre la superficie de riego cultivada y cosechada en el municipio de Emiliano Zapata, a través de diferentes ciclos agrícolas (SPP, 1982, INEGI 1990b y c)

Esta situación, junto con las condiciones socioeconómicas actuales, orilla a los ejidatarios a abandonar sus tierras, situación que se ve reflejada en la disminución de la población dedicada a actividades económicas primarias. Para 1970, estas actividades eran consideradas con una proporción alta-media y media para Emiliano Zapata y Jiutepec, respectivamente; mientras que para el año de 1990 se determinaron como bajas para ambos municipios.

La figura 3 muestra la proporción de la población dedicada a actividades agrícolas en los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata. Puede observarse que en un periodo de 20 años ha disminuido un porcentaje considerable. La población que abandona estas actividades, como consecuencia de la problemática descrita, emigran a las ciudades pretendiendo integrarse a otros modos de producción. La figura 4 muestra datos que apoyan este planteamiento, donde se observa que la población urbana ha aumentado considerablemente a través del tiempo, mientras que la rural ha manifestado un comportamiento inverso (INEGI, 1993a).

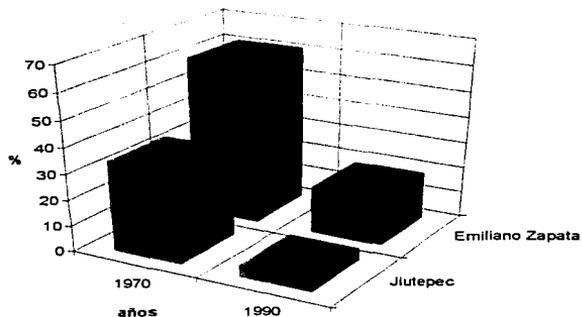


Fig. 3 Proporción de la población de los municipios de Jutepec y Emiliano Zapata dedicadas a las actividades agrícolas (INEGI 1994).

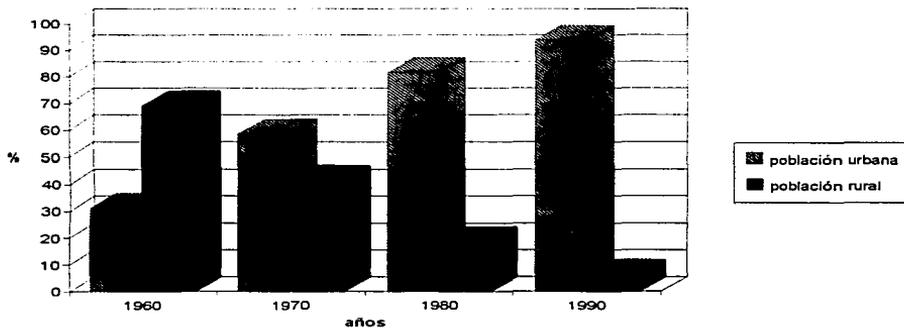


Fig. 4 Proporciones entre la población urbana y rural del municipio de Jutepec periodo 1960-1990 (INEGI 1993a).

Todos los problemas de contaminación industrial y urbanización no planeada que se han descrito están inhabilitando suelos del valle de Cuernavaca aptos para la agricultura, por lo que es muy importante llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual de aguas de riego y suelos, antes de que el proceso resulte irreversible. Por lo tanto, para contribuir a conocer las probables causas del bajo rendimiento agrícola y de la disminución en la diversidad de los cultivos, en el presente trabajo se han fijado los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Evaluar la calidad del agua tratada que se utiliza para riego y su efecto sobre los suelos agrícolas de los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata, estado de Morelos.

Objetivos particulares:

- Evaluar la calidad de las aguas utilizadas para riego agrícola, mediante su caracterización química, física y microbiológica.
- Evaluar las afectaciones de las aguas residuales sobre los suelos agrícolas irrigados mediante la determinación de características físicas y químicas, así como los elementos contaminantes acumulados.

1. ANTECEDENTES

1.1. Descripción del área de estudio

1.1.1. Localización

El estado de Morelos se localiza al sur de la cuenca de México, en el límite meridional del Eje Neovolcánico, en la parte centro-sur del país, (fig. 1.1), (Vidal, 1980). Está situado entre los paralelos 18° 19' 52" y 19° 08' 00" de latitud norte y los meridianos 98° 42' 17" y 99° 29' 38" de longitud oeste (INEGI, 1992). Posee una superficie de 4,968 Km², lo que representa el 0.25% del territorio nacional. Limita al norte con el Distrito Federal y el Estado de México, al sur y suroeste con el estado de Guerrero, al este y sureste con el estado de Puebla y al oeste con el Estado de México (INEGI, 1990c).

El estado de Morelos fue constituido en el año de 1867 y su división municipal quedó definida en 1930 por 32 municipios. Sin embargo, en marzo de 1977 se creó el municipio de Temoac, de localidades segregadas del de Zacualpan. Así, quedan integrados 33 municipios para el Estado, con 352 localidades (INEGI, 1990a).

El área de estudio comprende los municipios de Emiliano Zapata y Jiutepec, los que suman un total de 114.219 Km², que representan aproximadamente el 2.30% del total de la superficie estatal (fig. 1.1). Estos dos municipios se encuentran actualmente conurbados con Cuernavaca y Temixco, constituyendo así la llamada Zona Conurbada del Valle de Cuernavaca.

El municipio de Emiliano Zapata se localiza a 18° 50' 22" de latitud norte y 99° 11' 30" de longitud oeste cuenta con una superficie de 64.983 Km², que representa el 1.310% del total estatal. Tiene una altitud de 1250 msnm. Limita al norte con Jiutepec y Cuernavaca, al sur con Tlaltizapan; al este con Yautepec y al oeste con Temixco y Xochitepec (INEGI 1990a y 1990c).

El municipio de Jiutepec, se localiza a los 18° 52' 56" de latitud norte y 99° 11' 00" de longitud oeste. Posee una superficie de 49.236 Km², correspondientes al 0.990% del total estatal, con 1350 msnm de altitud promedio. Limita al norte con Tepoztlán; al sur con Emiliano Zapata; al oriente con Yautepec y al poniente con Cuernavaca (INEGI, 1990a y 1990c).

1.1.2. Clima

El clima de los dos municipios es $Aw_0(w)$, que corresponde a un cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, con cociente P/T menor de 43.2, con régimen de lluvias de verano (de mayo a octubre) y sequía en invierno. Presenta precipitación media anual de 894 mm y temperatura media anual de 21°C (Secretaría de Gobernación, 1988 y SPP, 1981).

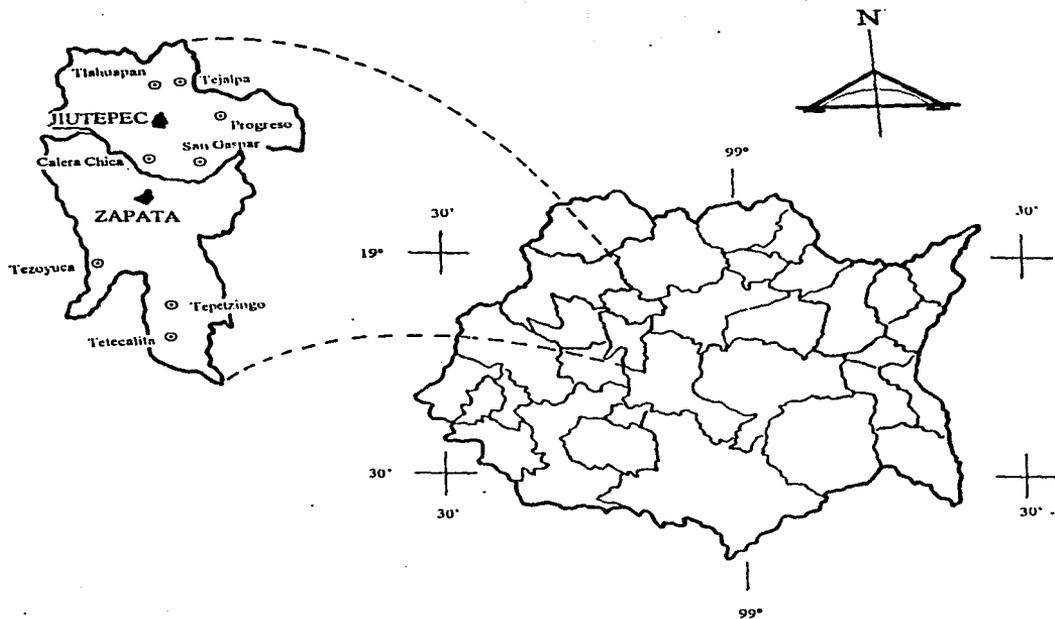


Fig. 1.1. Localización del estado de Morelos y área de estudio

1.1.3. Vegetación

Actualmente dentro de la superficie que ocupan los dos municipios en estudio, se encuentran pequeños relictos de selva baja caducifolia asociados a vegetación secundaria. Destacan las grandes extensiones de tierras dedicadas a la agricultura, principalmente de riego, aunque también las hay de temporal (Boyas, 1994 y 1992).

1.1.4 Suelos

En el estado de Morelos se presenta un mosaico de unidades de suelos, debido a su gradiente altitudinal y a su conformación geológica, lo que permite una representación importante de las mismas. Los suelos que existen en Morelos son: Fluvisoles, Andosoles, Litosoles, Feozems, Regosoles, Vertisoles, Rendzinas, Luvisoles, Castañozems, Cambisoles, Acrisoles y Chernozems (Boyas, 1994; INEGI, 1990a y SPP, 1975).

En los municipios bajo estudio se encuentran diferentes unidades de suelos, que incluyen Feozems, Vertisoles, Rendzinas y Litosoles (Fig. 1.2). En el municipio de Jiutepec los suelos utilizados para la agricultura, en 1988 ocuparon 1,430 hectáreas, esto es, el 29% de la superficie.

En estos suelos agrícolas se identifican dos combinaciones edáficas, mismas que se describen a continuación (Guerrero, 1993 y SPP, 1983) (Fig. 1.2):

- a) Vertisol pélico + Feozem háplico con textura fina, que ocupa el 87.4 % de los suelos de uso agrícola-pastizal. Son suelos gris oscuro, muy arcillosos; presentan una capa superficial de tono oscuro rica en materia orgánica y nutrimentos; la textura fina de esta combinación edáfica presenta acumulación de arcilla, propicia un drenaje lento, una baja aireación y una lenta circulación de fertilizantes; sin embargo, retiene la humedad mejor que otros suelos. La carencia de una fase física (pedregoso, lítico, etc.), permite el empleo de maquinaria agrícola.
- b) Rendzina + Litosol en el 12.6% de los suelos de uso agrícola-pastizal. Con textura media y fase pedregosa, es poco profundo, con humus en su horizonte superior, muy fértil, arcilloso, sobre material calcárico; como suelo secundario el Litosol, es más delgado y sólo es utilizado en ganadería. La textura fina ya descrita, con una fase petrocálcica, que se aprecia por la presencia de un horizonte cementado y endurecido de caliche a menos de 50 cm de profundidad, implica alta inversión para su óptimo uso agrícola.

El 10.74% de la superficie del municipio, presenta problemas de erosión fuerte. En pastizales y terrenos de temporal con pendientes de más de 15% existe erosión acelerada, el 48.35% presenta erosión moderada. Está constituido por terrenos de riego degradados por pérdida de nutrimentos y por salinización provocada por la utilización de aguas de riego de baja calidad. Existe contaminación del agua tanto superficial como subterránea por desechos industriales, por la invasión de áreas de recarga de acuíferos por asentamientos humanos y las descargas de los desechos de las áreas urbanas. Más del 30% de la superficie agrícola presenta problemas de contaminación de suelo por irrigación de aguas residuales industriales y por basureros a cielo abierto (INEGI, 1990a).

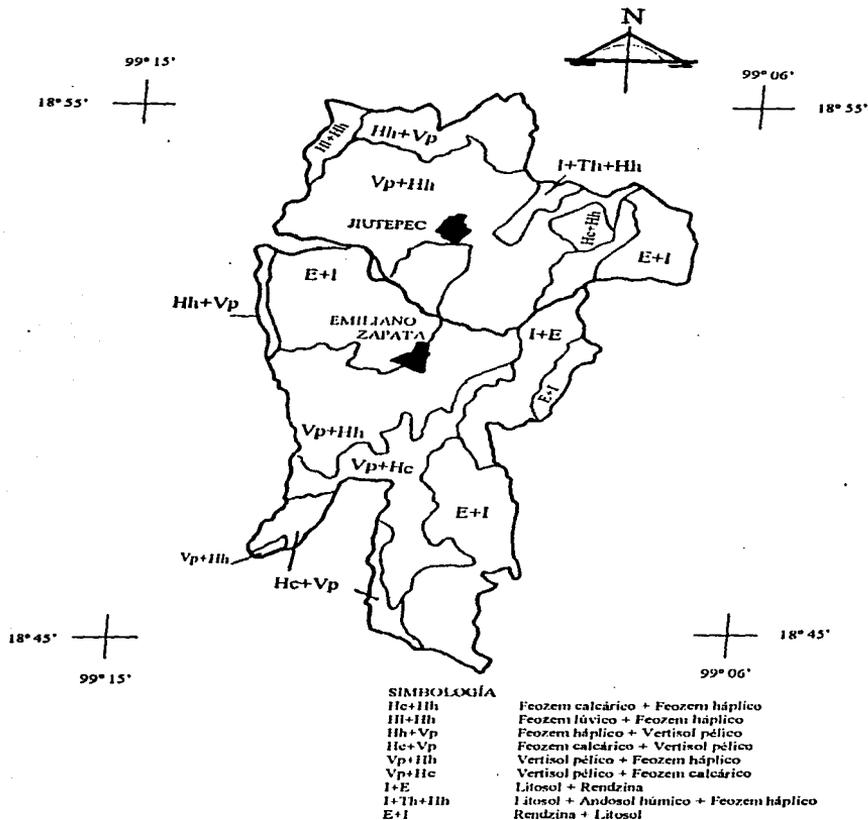


Fig. 1.2. Edafología de la zona de estudio

En el municipio de Emiliano Zapata se han cuantificado 3,300 Ha de suelo con uso agrícola-pastizal, que cubren el 58.8% de la superficie municipal, en que se identifican cuatro combinaciones edáficas, las cuales se describen a continuación (Guerrero, 1993 y SPP, 1983) (Fig. 1.2):

- a) la combinación Vertisol pélico + Feozem háplico con textura fina, cubre el 79.0% de los suelos de uso agrícola-pastizal y ya ha sido descrito anteriormente para el municipio de Jiutepec.
- b) la combinación Feozem calcárico + Vertisol pélico con textura media y fase petrocálica abarca el 10.9% de los suelos con este uso; los feozem calcárico son suelos de tonalidad oscura a causa de la materia orgánica y nutrimentos en los horizontes superiores y la presencia de cal en todos sus horizontes. Como suelo secundario el vertisol pélico se detalla en la combinación a). A la textura de esta combinación, se le suma la presencia de una fase petrocálica, esto es, un horizonte cementado y endurecido de carbonatos, a menos de 50 cm de profundidad, que requiere de rompimiento para optimizar su utilización.
- c) la combinación Rendzina + Litosol, con textura fina y fase lítica ya ha sido descrita para Jiutepec y ocupa una superficie de 9.09% del total de suelos para este uso.
- d) en la última combinación Vertisol pélico con textura fina y fase pedregosa, que se aprecia por la presencia de piedra superficial y en los horizontes superiores del suelo. La superficie de este tipo de suelo no es superior al 1%.

1.1.5 Geología /Geomorfología (Aguilar 1990 e INEGI, 1990a).

Desde el punto de vista de la estructura geológica, el valle corresponde a un sinclinal (depresión tectónica) y las estructuras montañosas vecinas a dos anticlinales (bloque elevado tectónico), originados en los inicios del terciario

Las rocas sedimentarias son calizas y lutita-areniscas, todas del cretácico. Ambas estructuras montañosas se presentan muy fracturadas y erosionadas. La erosión ha afectado especialmente a la unidad de lutitas, relativamente menos resistentes que las calizas. El valle y el anticlinal del occidente fueron parcialmente cubiertos por coladas lávicas y presenta una morfología de plana a ligeramente ondulada, con una pendiente de norte a sur muy suave (aproximadamente 2% o bien 1 grado). Esta morfología está asociada básicamente a las coladas basálticas que, pese a su juventud, están bastante alteradas.

En la actualidad, el valle está siendo retrabajado por algunas corrientes fluviales que están cortando la lava cuaternaria y han depositado algunas terrazas de material fino (arenas, limos, arcillas), de no más de un metro de espesor. Del anticlinal del occidente, los elementos distintivos del relieve, que no fueron sepultados por las lavas, son dos cerros calizados, actualmente explotados como canteras. El anticlinal del oriente presente una típica fisonomía de sierra y las dos unidades de roca (caliza y lutita-arenisca) que la componen, están en contacto mediante una falla regional que se evidencia en el terreno por un escape de gran magnitud (Fig. 1.3).

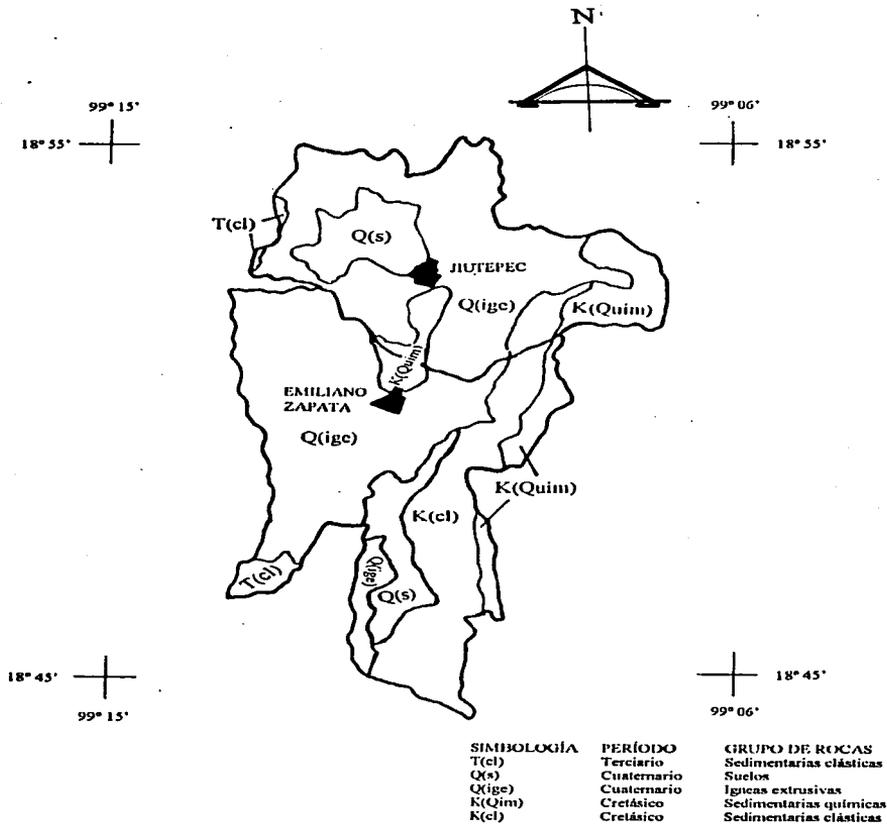


Fig. 1.3. Geología de la zona de estudio

1.1.6. Hidrología

El estado de Morelos queda comprendido en parte de la región hidrológica "Río Balsas" (No. 18 de la SARH), con una superficie de 4,958.22 km². Las cuencas del estado son la Cuenca del río Grande Amacuzac, con 4,303.39 km²; Cuenca del río Atoyac, con 653.17 km² y la Cuenca del río Mezcala, con 1.66 km² (INEGI, 1990a).

El área bajo estudio se encuentra incluida en la cuenca del río Grande Amacuzac y queda comprendida dentro de dos subcuencas; la parte occidental, está dentro de la del río Apatlaco y la oriental, al interior de la del río Yautepec, la línea que las divide atraviesa ambos municipios con dirección norte-sur (Jaimes-Palomera y Cortés, 1991).

El municipio de Jiutepec y Emiliano Zapata son atravesados por una corriente que nace en el poblado de Ahuatepec y corre por el oriente de la ciudad de Cuernavaca, recoge aguas del manantial "Las Fuentes" y se une con arroyos de caudal permanente (arroyo de "Las Fuentes" y arroyo "Puente Blanco"); manantiales de "San Gaspar" y "Guauchiles"; laguna de "Ahueyapan" y laguna de "Tejalpa" y más al sur toma el nombre de barranca "Analco", el cual posteriormente forma el arroyo "Agua salada" que une sus aguas al canal "agua dulce", en su recorrido, hasta unirse al río Yautepec, recibe aguas de tipo doméstico e industrial, además de la descarga de la planta de tratamiento Eccaciv. (Barrera, 1991)(Fig. 1.4)

Uso del agua

De acuerdo con Talavera (1994), el agua que los habitantes del estado de Morelos demandan, se extrae de los mantos acuíferos y de los cuerpos de agua superficiales. Para la industria se extraen 32 millones de m³/año, para uso urbano, 143 millones de m³/año y para el sector agropecuario 1119 millones m³/año, de los cuales el 79% corresponden a fuentes superficiales.

1.1.7. Hidrogeología

El marco geológico de la zona de estudio presenta características litológicas, estratigráficas, estructurales y geomorfológicas bien definidas; que controlan el comportamiento del agua subterránea y superficial. Estas características son el reflejo de una evolución geológica regional desde el Paleozoico tardío al reciente en la parte centro-meridional del país.

En el Valle de Cuernavaca, el acuífero importante lo forman conglomerados semiconsolidados de edad Plioceno que contienen intercalaciones locales de ceniza y lapilli y cuyo espesor máximo de 500 m se muestra en la zona del Paleo-cauce fluvial Pliocénico. Estos sedimentos aluviales hacia la Sierra de Zempoala se interdigitan con brechas volcánicas-vesiculares -cavernosas de edad Cuaternario que contienen intercalaciones locales de ceniza, lapilli y aluvión, también, también forman parte de este acuífero. El espesor de los derrames basálticos ampliamente emplazado en el paleocauce fluvial pliocénico, es de aproximadamente 75 m. La presencia de manantiales que drenan a los derrames basálticos, indican disminución local en la permeabilidad de los depósitos aluviales y piroclásticos del Plioceno y posiblemente los valores más altos de permeabilidad en los derrames basálticos.

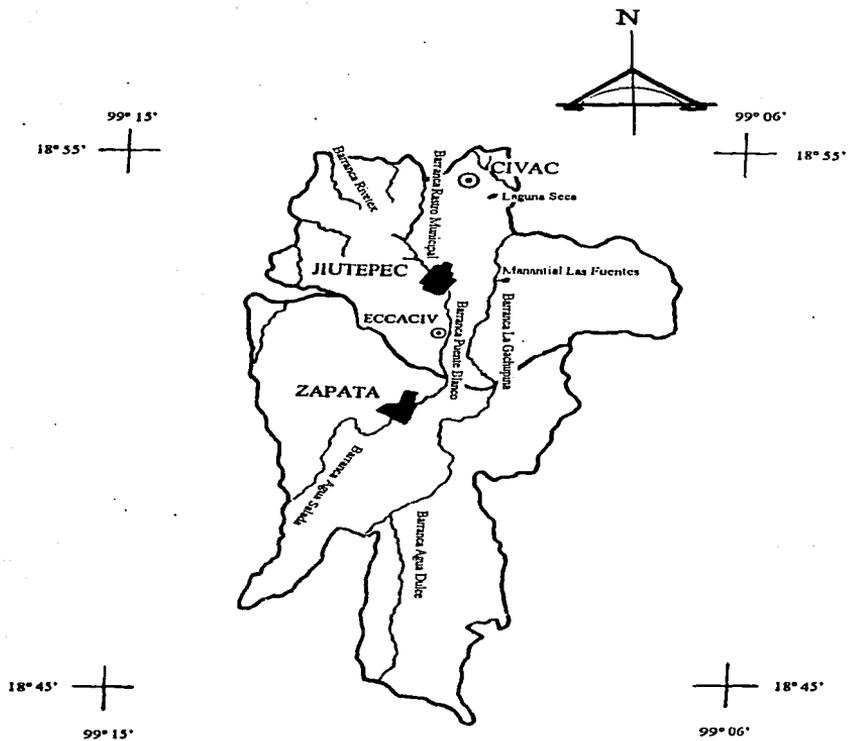


Fig. 1.4. Hidrología del área de estudio

Es interesante destacar que algunas de las curvas abatimiento-tiempo de bombeo, muestran un comportamiento típico semiconfinado, el cual se ha interpretado que suceda en los depósitos fluviales-piroclásticos del Plioceno, debido a la presencia de capas de ceniza intercalada (Cortés y Vázquez 1991).

Jaimes-Palomera y Cortés (1991) señalan que en la perforación de futuros pozos en el valle de Cuernavaca se debe considerar la captación de agua a partir de los 50 m de profundidad, principalmente en las partes meridionales del área, que quedan al sur de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac), en donde el acuífero de la formación Cuernavaca tiene la influencia de los basaltos fracturados sobre los que corre el río Apatlaco, portador de la mayor parte de los desechos industriales de la mencionada Civac. Esto con el fin de cuidar la calidad del agua de consumo humano. Esta medida es favorable, considerando que existen niveles más profundos que están separados por acuitardos, lo que evitaría la entrada de contaminantes al acuífero a esa profundidad.

Corza (1994) y Talavera (1994) señalan que el acuífero valle de Cuernavaca, tiene una recarga aproximada de 102 millones de metros cúbicos y su extracción es de 100 millones de metros cúbicos, por lo que se considera un acuífero en equilibrio.

1.2 Aspectos socioeconómicos

La población económicamente activa en el municipio de Emiliano Zapata es de 9,498 personas, de los cuales 1,707 se dedican a actividades agrícolas y/o ganaderas; 1,414 en la construcción; 1,060 al comercio; 2,196 a la industria manufacturera y el restante dividido en los siguientes sectores de actividad: minería, extracción de petróleo y gas, electricidad y agua (INEGI, 1993a)(Fig. 1.5).

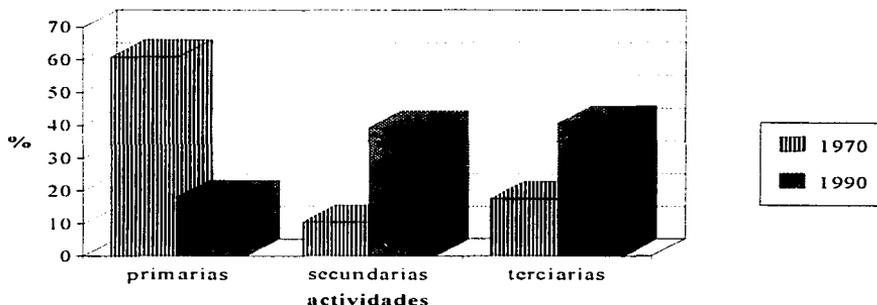


Fig. 1.5. Distribución de la población por actividad económica 1970-1990 del municipio de Emiliano Zapata.(INEGI 1994)

El municipio de Jiutepec cuenta con una población económicamente activa de 30,953 habitantes, la cual se distribuye como sigue: 1,707 se dedicaban a actividades agrícolas y/o ganaderas; 1,414 en la construcción; 1,060 al comercio; 2,196 a la industria manufacturera y el restante dividido entre la extracción de petróleo y gas, minería, electricidad y agua (Fig. 1.6).

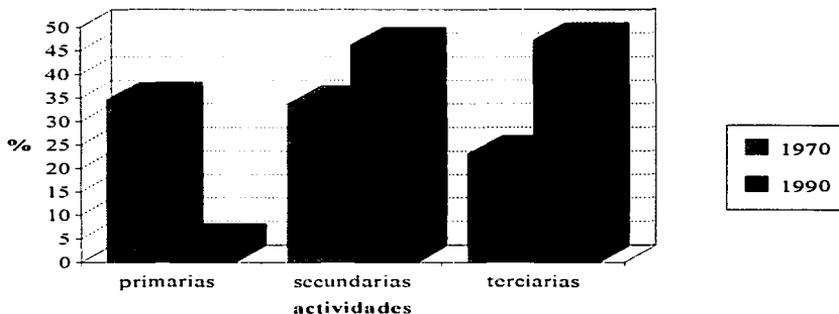


Fig. 1.6. Distribución de la población por actividad económica 1970-1990 del municipio de Jiutepec (INEGI 1994)

1.2.1 Tenencia de la tierra y uso del suelo

Los municipios bajo estudio pertenecen al distrito de riego No. 16 (establecido por acuerdo presidencial el 30 de septiembre de 1953); Emiliano Zapata con 1,645 hectáreas y Jiutepec con 3,732 (SARH, 1990).

La superficie territorial por tenencia del suelo del municipio de Emiliano Zapata es de 1,951 hectáreas ejidales y 398 comunales; mientras que para Jiutepec, 950 hectáreas son ejidales y 2,898 comunales. El inventario del recurso suelo dividido en áreas operativas de temporal y las unidades de riego a nivel municipal se muestran en los cuadros 1.1 y 1.2.

La SARH en su inventario para el distrito de riego 16 en el estado de Morelos tiene registrados diez campos que utilizan las aguas residuales de la barranca Tlahuapan, para riego agrícola. Todos los campos corresponden a los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata. Esos terrenos son de propiedad ejidal, suman un total de 437.2 has y de ellos resultan beneficiados 339 ejidatarios (cuadro 1.3) (Ramírez, 1990).

Cuadro 1.1. Inventario del recurso suelo correspondiente a las áreas operativas de temporal de los municipios de E. Zapata y Jiutepec (SARH, 1987)

MUNICIPIO	EJIDO O LOCALIDAD	SUPERFICIE EN HECTÁREAS			NÚMERO DE USUARIOS		
		EJIDAL	PEQUEÑA PROPIEDAD	TOTAL	EJIDAL	PEQUEÑA PROPIEDAD	TOTAL
E. Zapata	E. Zapata	107	0	107	107	0	107
	Tezovuca	16	12	28	16	5	21
	Tepeztingo	99	20	119	51	7	58
	Tetecalita	0	22	22	0	1	1
	suma	222	54	276	174	13	187
Jiutepec	Cliserio Alanis	33	0	33	20	0	20
	Progreso	36	0	36	30	0	30
	suma	69	0	69	50	0	50

Cuadro 1.2. Unidades de riego de los municipios de E. Zapata y Jiutepec (SARH, 1987)

MUNICIPIO	EJIDO O LOCALIDAD	SUPERFICIE EN HECTÁREAS			NÚMERO DE USUARIOS		
		EJIDAL	PEQUEÑA PROPIEDAD	TOTAL	EJIDAL	PEQUEÑA PROPIEDAD	TOTAL
E. Zapata	E. Zapata	777.2	60.1	837.3	34	399	433
	Tezovuca	220.6	93	313.6	26	99	125
	Tepeztingo	193.5	68.4	261.9	30	82	112
	Tetecalita	85.3	147.2	232.5	40	54	94
	suma	1276.6	368.7	1645.3	130	634	764
Jiutepec	Cliserio Alanis	44.6	-	44.6	-	23	23
	Progreso	60.6	16	76.6	1	33	34
	Tcjalpa	96	-	96	-	117	117
	Atlacomulco	175.5	91	266.5	10	62	72
	J.G. Farres	-	92.9	92.9	29	-	29
	Jiutepec	315.7	222	537.7	66	167	233
	suma	692.4	421.9	1114.3	106	402	508

Cuadro 1.3. Campos regados con aguas residuales, superficie y número de usuarios (Ramírez, 1990)

CAMPO	CANAL DE RIEGO	SUPERFICIE (hectáreas)	USUARIOS
Azezentla	Barranca Tlahuapan	44.0	35
Guante T.	La Rueda	29.5	42
Guante R.	La Rueda	36.0	26
El Llano	La Rueda y Aguacate	66.0	38
Campo Nuevo	(Fraccionamientos)	17.2	17
San Gabriel	Sta. Clara v el Mango	36.8	24
Compuctas	Santa Clara	65.5	46
Temalaca	Santa Clara	75.8	58
Amatitlán	El Amate v Santa Clara	19.0	15
Campo Verde	El Amate v Santa Clara	47.4	38
Total:		437.2	339

1.3. Origen y descripción de la ciudad industrial

Al analizar las fuentes documentales (INEGI, 1990a), se encuentra como justificación para la fundación de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (Civac), el que únicamente se permitiría el establecimiento de "industria limpia", con lo cual se pensaba proteger al ambiente y a la población, evitando afectar al turismo y agricultura, que son actividades de suma importancia para el estado. Sin embargo, las ramas industriales establecidas utilizan reactivos químicos y generan efluentes líquidos, sólidos y gaseosos, que obligadamente requieren de un control de acuerdo a las normas ecológicas respectivas para cada tipo de industria.

Civac contaba en 1973, en su primera etapa de desarrollo, con una superficie urbanizada de 400 hectáreas, aproximadamente. El 50% de esta superficie estaba destinada a la industria y el resto para desarrollo urbano (zonas habitacionales, comerciales y de servicios). El proyecto de crecimiento de Civac contaba con 1,100 hectáreas más, para una segunda y tercera etapas. Estos planes de desarrollo industrial se tomaron en cuenta al diseñar el distrito para el control de las aguas residuales (SARH, 1980b y SRH, 1973).

Los diversos giros industriales establecidos en ese año se muestran en el cuadro 1.4.

Cuadro 1.4. Giros industriales predominantes en Civac en el año de 1973 (Ramírez, 1990)

GIRO INDUSTRIAL	NÚMERO DE INDUSTRIAS	%
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

Para 1991, se encontraban instaladas 123 industrias de diferentes giros, de las cuales 2 son consideradas como de extracción y 121 de transformación. Además, estas industrias se clasifican en micro, pequeña, mediana y grande, correspondiendo a cada tipo un número de 27, 60, 21 y 15, respectivamente (Gobierno del Estado de Morelos, 1993).

Actualmente, el área habitacional, comercial y de servicios ha crecido hacia el oriente, de tal manera que ha alcanzado y rebasado a la zona industrial. De acuerdo a este crecimiento, en la actualidad se ha constituido la zona conurbada del valle de Cuernavaca, que incluye los municipios de Cuernavaca, Jiutepec, Emiliano Zapata y Temixco.

1.4. Problemática de las aguas residuales

Los diversos giros de las industrias establecidas en la Civac originan descargas de aguas residuales de muy variada composición. Inicialmente, las aguas residuales generadas por industrias y zona

habitacionales en la Civac, se colectaban mediante un sistema de drenaje combinado, con tres colectores principales que conducían las descargas hasta cauces naturales, en donde el agua escurría siguiendo la pendiente norte-sur del terreno hasta donde era aprovechada para riego (Fig. 1.4). La calidad del agua disminuyó considerablemente, ya que los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad ambiental, eran rebasados. (para mayor información, remitirse al apéndice A)

Posteriormente, el Gobierno del estado de Morelos y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), tomaron como base la Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para hacer frente a los problemas de contaminación en el valle de Cuernavaca.

En el año de 1972, la SRH llevó a cabo un estudio encaminado a determinar la calidad del agua en la cuenca alta del Río Amacuzac. Se definió la zona de Tejalpa-Jiutepec-Emiliano Zapata, como una de las que enfrentaban mayores problemas de contaminación, como consecuencia de las descargas de aguas residuales generadas en Civac y áreas aledañas a esta ciudad industrial (INEGI, 1990a).

Las conclusiones del estudio recomendaron la necesidad de fijar condiciones particulares de descarga y exigir el tratamiento del agua por parte de los responsables. De esta forma, las autoridades estatales, municipales y los industriales de la zona, acordaron establecer el Primer Distrito para el Control de la Contaminación del Agua, formado por una amplia zona del valle de Cuernavaca, en la que quedó incluida una empresa descentralizada del estado denominada Empresa para el Control de la Contaminación del Agua de Civac (Eccaciv) (Zalazar, 1991).

Esta empresa inició sus operaciones en enero de 1979 y recibe, por medio de un sistema colector, las descargas de Civac y de otras industrias importantes situadas en su cercanía, además de las aguas residuales domésticas de diversos fraccionamientos (SARH, 1980b). La planta utiliza un proceso denominado "lodos activados", que básicamente se lleva a cabo en dos fases: en la primera, el agua recibe un tratamiento biológico (microorganismos aerobios), durante el cual se oxidan los compuestos orgánicos disueltos o suspendidos del agua residual y se convierten a CO₂, H₂O y material celular, con lo que se producen partículas sólidas. En la segunda, se realiza la separación de la fase acuosa (agua parcialmente tratada) de las partículas sólidas (Ortiz, 1994) (para mayor información, remitirse al apéndice A).

De acuerdo con la información proporcionada por la Eccaciv, el 65% de las aguas residuales que le llegan, provienen de los procesos industriales y un 35% son de origen doméstico, incluyendo las aportaciones sanitarias de las propias industrias (Fig. 1.7). Sin embargo, el diseño de los colectores generales provoca que en época de lluvias las aguas pluviales se mezclen con las residuales, aumentando así la cantidad de agua que llega a la planta de tratamiento. La planta se diseñó para operar eficientemente con una variación en el caudal a tratar de 140 a 570 L/seg, considerando que la calidad de las aguas tratadas permitiera utilizarlas totalmente para riego agrícola. No obstante, la capacidad instalada no ha sido suficiente para tratar de manera eficaz los volúmenes de aguas mezcladas que se reciben, por lo que parte de ellas se desvía sin tratamiento hacia la barranca Tlahuapan, antes de recibir las aguas tratadas.

El número de industrias instaladas en Cívac ha aumentado con los años (Fig. 1.8) y, como consecuencia, el volumen de aguas residuales; sin embargo, la planta de tratamiento cuenta con las mismas instalaciones desde su creación y fue hasta mediados del año de 1994 en que se proyectó la construcción de dos torres biológicas, las cuales están iniciando su operación.

La planta de tratamiento de las aguas residuales de Cívac (Eccaciv), se localiza a unos 500 m al sur de la localidad de Jiutepec, estado de Morelos y unos 100 m al este de la carretera a Emiliano Zapata, entre las vías del ferrocarril a Zacatepec y un pequeño curso de agua que escurre de norte a sur (Fig. 1.4). La información de las industrias conectadas a la Eccaciv y su proceso de tratamiento, se encuentran con mayor detalle en el apéndice A.

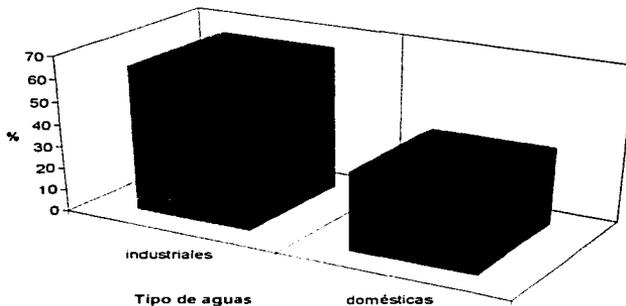


Fig. 1.7. Proporción de aguas residuales que llegan a la planta Eccaciv (Ortiz, 1994)

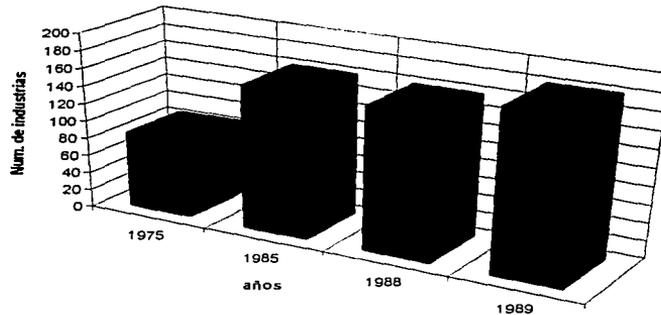


Fig. 1.8. Industrias establecidas en Cívaca en diferentes años (INEGI, 1992 y 1979)

Posterior a la instalación de la planta de tratamiento, Ramirez (1990) reporta la calidad agronómica del agua de la barranca Tlahuapan (muestreos realizados en el periodo agosto 1982-agosto 1983) y compara sus resultados con los reportados por la SRH (1973). Concluye que la calidad del agua mejoró notablemente, afirmando que la presencia de la *E. coli* dio resultados positivos. No obstante, reconoce que en los canales de riego la naturaleza del agua empeoró y que el rendimiento agrícola y la superficie cultivable, se vieron reducidos drásticamente. Los parámetros más críticos eran las bacterias coliformes y las sales disueltas, que restringen el uso de estas aguas para la mayoría de los cultivos agrícolas (para información más detallada, remitirse al apéndice A).

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Generalidades

Como primera actividad se realizó el reconocimiento de la zona de estudio. Se ubicaron los cauces de barrancas y arroyos, identificándose también las tierras de riego, la red de canales que distribuyen las aguas, las parcelas de temporal, así como aquellas que son regadas con aguas de manantial. Este primer recorrido permitió, además, realizar los primeros acercamientos con los ejidatarios para obtener información acerca de sus cultivos y el desarrollo histórico del problema.

La gerencia de la planta de tratamiento, proporcionó información importante acerca de su origen y funcionamiento. La Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua y el Distrito de Riego 16, proporcionaron la información oficial, tanto de aguas como de los cultivos de la zona de estudio.

2.2 Evaluación del agua residual

Se seleccionaron seis puntos de muestreo, con la finalidad de contar con un índice de la calidad del agua que llega a la planta y de su eficiencia de tratamiento. Además, se evaluó el efecto de las descargas de aguas tratadas sobre la calidad del agua de la barranca Puente Blanco, su capacidad de dilución, así como la calidad agronómica de la misma. Las estaciones se establecieron como sigue (Figs. 2.1 y 1.12):

- I. Entrada de la planta de tratamiento
- II. A la salida del proceso
- III. En el arroyo Puente Blanco, antes de recibir el efluente de la Eccaciv
- IV. En el arroyo Puente Blanco después de recibir el efluente de la Eccaciv
- V. En el arroyo Puente Blanco aproximadamente a 1 km al sur de la descarga de la Eccaciv
- VI. En el arroyo Puente Blanco aproximadamente a 1 km al sur del poblado de Emiliano Zapata

Estas estaciones recibieron la notación numérica de acuerdo a su ubicación en el cauce de la barranca de norte a sur.

2.2.1. Muestreo

Se estableció un programa de muestreo mensual durante un período de 12 meses. El diseño del muestreo permitió definir la calidad del agua que recibe la planta de tratamiento, la calidad del agua tratada, la calidad del agua de riego, el efecto de la mezcla de aguas (de la barranca con el efluente tratado) y las variaciones de la calidad en el tiempo y la distancia.

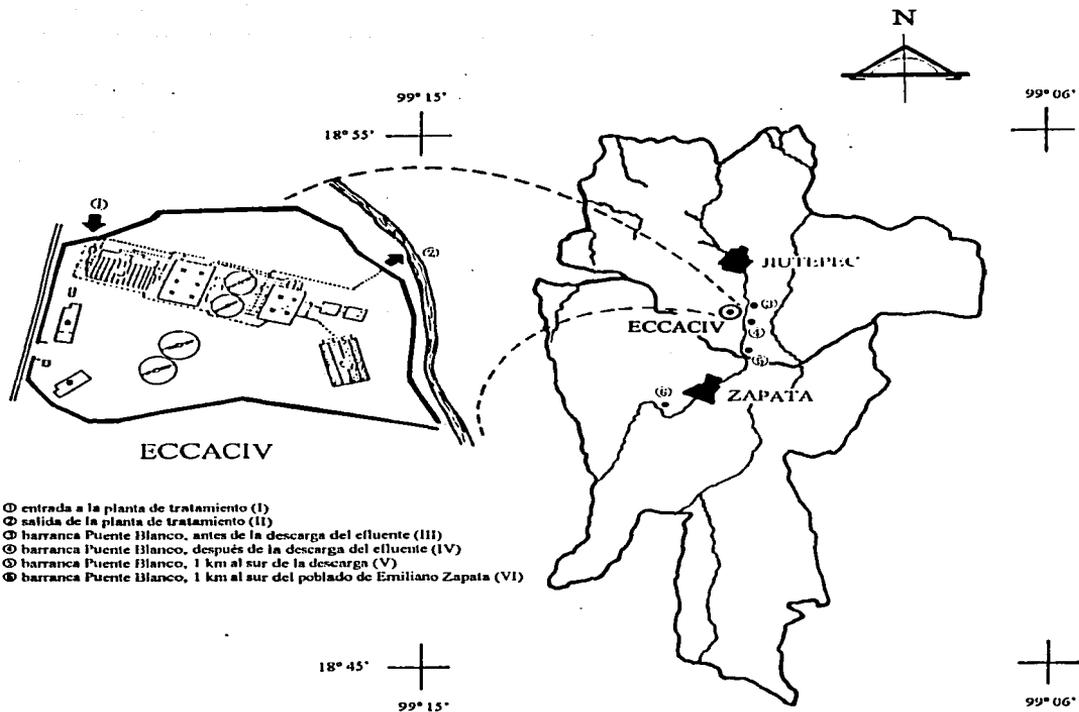


Fig. 2.1. Localización de los sitios de muestreo de aguas

Se tomaron muestras simples de la siguiente manera:

- En un frasco de vidrio de boca ancha esmerilada y de un litro de capacidad, se tomó una muestra para el análisis de grasas y aceites, adicionando cinco mL de ácido sulfúrico concentrado para acidificarla y preservarla hasta su posterior análisis.
- En un matraz erlenmeyer de 250 mL de capacidad, previamente esterilizado, se tomó una muestra de aproximadamente 100 mL, para la determinación del número más probable de coliformes totales. Esta muestra se conservó a bajas temperaturas hasta llegar al laboratorio, donde se llevó a cabo el análisis de inmediato para evitar cambios en la población de microorganismos. Esto permitió contar con un índice de contaminación por bacterias coliformes.
- Se obtuvo otra muestra de agua en un frasco DBO de 300 mL, con la finalidad de cuantificar la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, así como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). El oxígeno disuelto se midió también *in situ* por medio de un oxímetro portátil.
- Se obtuvieron dos litros de muestra para los análisis físicos y químicos adicionales, en frascos de polietileno, enjuagándolos previamente dos veces con el agua que debía ser muestreada.
- En un frasco de vidrio de boca ancha y de un litro de capacidad, se tomó una muestra individual para la determinación de la demanda química de oxígeno.

Todas las muestras se acompañaron de sus respectivos datos para su posterior identificación en el laboratorio. Adicionalmente, se tomaron datos de campo en el momento del muestreo, tales como pH, conductividad eléctrica, temperatura ambiente y temperatura del agua, mismos que no deben hacerse posteriormente por efectuarse cambios en el agua durante el transporte de la muestra.

En el laboratorio se procedió a su inmediato análisis, principalmente con aquellos parámetros que debían analizarse durante las 24 horas posteriores al muestreo, tales como, coliformes totales y la DBO₅, entre otros.

2.2.2 Metodología analítica

Los parámetros analizados se eligieron con base en los Criterios Ecológicos de Calidad del agua CE-CCA-001/89 (publicada en el Diario Oficial de la Federación el 2 de diciembre de 1989). Sin embargo, no se determinaron en su totalidad ya que no se contaba con la infraestructura necesaria para llevar a cabo el análisis de compuestos orgánicos. No obstante, se decidió cuantificar algunos parámetros adicionales, con el fin de contar con un criterio más amplio, para evaluar la calidad del agua usada para riego agrícola. Algunos de estos parámetros actualmente forman parte, de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CCA-031-ECOL/1993 (SEDESOL, 1994a), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal y la NOM-CCA-032-ECOL/1993

(SEDESOL, 1994b), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola.

2.2.2.1. Análisis físicos y químicos

Los parámetros se analizaron de acuerdo a las técnicas publicadas por APHA (1989). Las condiciones analíticas para cada uno de ellos se presentan en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Condiciones analíticas de los parámetros físicos y químicos del agua

PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO UTILIZADO	SITIO DE ANÁLISIS
Alcalinidad	titulación	bureta	laboratorio
Cloruros	titulación	bureta	laboratorio
Conductividad eléctrica	electrométrico	conductímetro portátil HANNA HI-8633	campo
Demanda bioquímica de oxígeno	incubación por 5 días	oxímetro YSI 51B	laboratorio
Demanda química de oxígeno	oxidación de materia orgánica con $K_2Cr_2O_7$ en un medio ácido	reflujo	laboratorio
Fósforo total	colorimétrico	espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb	laboratorio
Grasas y aceites	Extracción Soxhlet	Aparato de extracción Soxhlet	laboratorio
Nitratos	Modificación Kjeldahl	Macrokjeldahl	laboratorio
Nitrógeno amoniacal	Modificación Kjeldahl	Macrokjeldahl	laboratorio
Nitrógeno orgánico	Kjeldahl	Macrokjeldahl	laboratorio
Oxígeno disuelto	electrodo de membrana	oxímetro YSI 51B	campo
pH	potenciométrico	potenciómetro Conductronic pH 10	campo
Potasio	fotométrico de flama	espectrofotómetro de flama Corning 400	laboratorio
Sodio	fotométrico de flama	espectrofotómetro de flama Corning 400	laboratorio
Sólidos sedimentables	sedimentación de sólidos	conos Imhoff	laboratorio
Sólidos totales	deseccación a 103-105°C	horno de secado, desecador y balanza analítica	laboratorio
Sólidos suspendidos totales	filtración y deseccación a 103-105°C	aparato de filtración, horno de secado y balanza analítica	laboratorio
Sulfatos totales	turbidimétrico	espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb	laboratorio
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	reacción con el azul de metileno	espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb	laboratorio
Temperatura	lectura directa	termómetro rango 0-400°C	campo

2.2.2.2. Análisis microbiológicos

Coliformes totales: Estas bacterias se analizaron por el método de tubos de fermentación múltiple. Se utilizó el caldo lactosado como medio de cultivo al cual se le agregó la muestra

diluida hasta 1×10^5 . Los tubos se colocaron en una incubadora a 37.5 ± 0.5 °C, durante 48 horas; después se revisaron para verificar la producción de gas, mismo que es provocado por la fermentación de lactosa. Posteriormente, se verificó en cual dilución se presentó la fermentación y se comparó con las tablas existentes exprofeso para determinar el número más probable de coliformes totales por 100 mL de muestra (NMP/100 mL) (APHA, 1989).

Coliformes fecales: se tomó 1 mL de cada una de las diluciones que resultaron positivas en la prueba presuntiva de los coliformes totales y se colocaron en tubos de ensaye preparados con el medio de cultivo EC de Merck (peptona de caseína, lactosa, mezcla de sales biliares, cloruro de sodio y K_2HPO_4). Se incubaron en baño María a 44^0 C durante 48 horas y, después de este tiempo se verificó la presencia de gas en los tubos. Para determinar el NMP/100 mL de coliformes fecales, se realizó el mismo procedimiento que para los coliformes totales.

2.2.2.3. Elementos potencialmente tóxicos (“metales pesados”)

Los elementos potencialmente tóxicos analizados fueron los siguientes: cadmio, calcio, cobalto, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, níquel, plomo, zinc y sodio.

Estos elementos se determinaron llevando a cabo una digestión previa con ácido nítrico y, posteriormente, se cuantificaron por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Se seleccionó este método por su rapidez y su baja presencia de interferencias. El aparato usado fue un Perkin-Elmer modelo 2380, equipado con corrector de fondo (lámpara de deuterio). Las condiciones de operación del equipo se fijaron según las instrucciones de Perkin-Elmer (1977), (ver cuadro 2.2).

En el cuadro 2.3 se presentan los intervalos de concentración que se utilizaron para la curva estándar de cada elemento.

Cuadro 2.2. Condiciones de operación y límites de detección del equipo de absorción atómica

ELEMENTO	LÁMPARA	Ap	LONGITUD DE ONDA (nm)	FLAMA	COMBUSTIBLE	COMBURENTE	LÍMITE DE DETECCIÓN	SUPRESIÓN DE INTERFERENCIA
hierro	C.H.	0.2	248.30	est.ox.	acetileno	aire	0.005	n.r.
manganeso	C.H.	0.2	279.50	est.ox.	acetileno	aire	0.002	n.r.
cobre	C.H.	0.7	324.80	est.ox.	acetileno	aire	0.002	n.r.
níquel	C.H.	0.2	232.80	est.ox.	acetileno	aire	0.005	n.r.
zinc	C.H.	0.7	213.90	est.ox.	acetileno	aire	0.001	n.r.
calcio	C.H.	0.7	422.70	est.ox.	acetileno	aire	0.0005	La 1 %
magnesio	C.H.	0.7	285.20	est.ox.	acetileno	aire	0.0001	La 1 %

Ap = apertura, C.H. = cátodo hueco; nm = nanómetros; est. ox. = flama estequiométrica oxidante; est. red. = flama estequiométrica reductora; n.r. = no reportado; La = Lantano

Cuadro 2.3. Concentraciones de las curvas de calibración para el análisis de metales pesados

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN MÍNIMA (ppm)	CONCENTRACIÓN MÁXIMA (ppm)	r
calcio	1.00	4.00	0.9999
magnesio	0.1	0.4	0.9998
cobre	0.5	5.0	0.9999
hierro	0.5	5.0	0.9999
manganeso	0.1	0.5	0.9998
zinc	0.1	1.5	0.9999
níquel	0.5	3.0	0.9999

r = coeficiente de correlación de Pearson

La figura 2.2 muestra el intervalo entre el límite de detección del equipo y el valor mínimo de la curva de calibración utilizada para la determinación de las concentraciones de metales en el agua analizada.

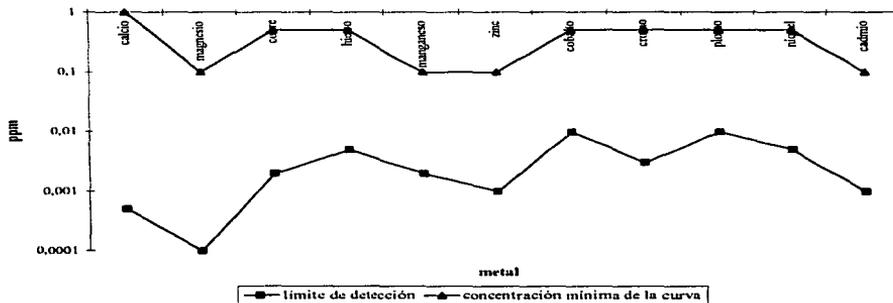


Fig. 2.2 Intervalo entre el límite de detección y el valor mínimo de la curva de calibración del espectrofotómetro de absorción atómica

En el caso de sodio y potasio, se utilizó un espectrofotómetro de flama Corning 44, para evitar interferencias con el método de absorción atómica.

Todos los datos obtenidos se procesaron estadísticamente a través de las medidas de dispersión y variabilidad. Además, se llevaron a cabo análisis de varianza y pruebas de Tukey, con la finalidad de conocer las diferencias entre las diferentes estaciones de muestreo.

2.2.3. Criterios de evaluación para aguas de riego

Cuando las aguas de riego contienen cantidades considerables de sodio, se acumula paulatinamente en el suelo y al alcanzar concentraciones elevadas en relación con los otros cationes disueltos, sea por acumulación de sodio o precipitación de calcio y magnesio, los sustituye del complejo de intercambio. Con ello se ocasiona un desequilibrio eléctrico de la mezcla coloidal, en la que deja cargas negativas residuales, por lo que las partículas se repelen y el suelo se floclula. Esto lleva a la pérdida de la estructura y a la disminución de la permeabilidad del suelo, favoreciendo la formación de costras.

Para estimar este efecto y con los datos obtenidos de los análisis químicos, se calculó el siguiente índice:

Relación de adsorción de sodio (RAS). Expresa la actividad relativa de los iones de sodio en reacciones de intercambio con el suelo. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{[\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}]/2}}$$

Las concentraciones se expresan en meq/L.

2.3 Evaluación de suelos

El muestreo y análisis de suelos se llevó a cabo con la finalidad de diagnosticar los efectos de las aguas de riego sobre sus características físicas y químicas, principalmente en la capa arable, ya que es la parte que tiene influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, donde se presenta la relación agua-suelo-cultivo. Contando con un suelo "control" y determinando la condición actual de los suelos en el área agrícola de los dos municipios, este trabajo contribuye en el señalamiento de las causas más probables del bajo rendimiento agrícola y de la disminución de la diversidad de los cultivos en la zona de estudio. Además permitió establecer recomendaciones de estudios complementarios posteriores, que permitan elucidar la causa real del problema.

2.3.1. Muestreo

Como se mencionó en la sección 1.1.4., en los dos municipios bajo estudio se presentan diferentes unidades de suelos (Fig. 1.2). En el área que comprende la zona agrícola, se localizan 4 combinaciones edáficas; sin embargo, el Vertisol pélico + Feozem háplico comprende un 90 % de la superficie cultivada.

Con la finalidad de realizar comparaciones entre los resultados analíticos de las diferentes parcelas, se seleccionaron los sitios de muestreo en el área comprendida dentro de esta combinación. Para ello se consultó la cartografía disponible (INEGI 1990a, SPP, 1983a; SPP, 1983b; DETENAL, 1977a y DETENAL, 1977b) y posteriormente se realizaron recorridos de campo para identificar las parcelas que son irrigadas con aguas "blancas" (de manantial), las que reciben las residuales

mezcladas con las tratadas por la Eccaciv y las de temporal. De esta forma se tuvieron tres categorías de suelos:

- suelos irrigados con aguas residuales y tratadas por la Eccaciv
- suelos irrigados con aguas del manantial "Las Fuentes"
- suelos de temporal

Los suelos irrigados con agua de manantial y los de temporal nunca han recibido aguas residuales, por lo que se decidió utilizarlos en este estudio como suelos "control", toda vez que se encuentran en el área formada por la combinación edáfica Vertisol pélico + Feozem háplico, al igual que la primera categoría de suelos.

La superficie de riego donde se utiliza la mezcla de aguas residuales y tratadas, es la de mayor extensión (Fig. 2.2), por lo que después de seleccionar la zona de muestreo, se decidió tomar muestras de 19 parcelas agrícolas (7 en Jiutepec y 12 en Emiliano Zapata, de acuerdo a la extensión bajo riego en los dos municipios), mismas que aseguraban ser representativas de la superficie cultivable (Fig. 2.2). Además se muestrearon dos parcelas de las denominadas "control".

Se procedió al muestreo de los suelos, el cual se realizó en época de lluvias para los terrenos de temporal y fuera de ella para las de riego, para equiparar las condiciones de humedad. De cada parcela se obtuvieron 5 submuestras, haciendo un total 105. Se tomaron aproximadamente 2 kg de suelo de la capa arable (a una profundidad entre 0 y 20 cm). El suelo se colocó en bolsas de polietileno, con su respectiva etiqueta de identificación.

En el laboratorio, las muestras de una misma parcela se mezclaron para obtener una compuesta. Posteriormente, se dejaron secar al aire por un espacio aproximado de 48 horas o el tiempo necesario para su secado, de acuerdo a la humedad de la muestra. El suelo se molió manualmente con un mazo y mortero de madera y fue cernido en un tamiz del número 10 (apertura de 2 mm). Finalmente, se transfirió a bolsas de polietileno etiquetadas para su embalaje y guardado en cajas de plástico, hasta el posterior análisis de sus características físicas y químicas (Ortiz *et al.*, 1993).

2.3.2. Metodología analítica

Se determinaron las características físicas y químicas de las tres categorías de suelos. Los análisis se realizaron por duplicado y con un blanco. Se utilizaron estándares NIST-Standard Reference Materials (SRM) 2709. Primeramente, se llevaron a cabo diferentes pruebas en el laboratorio para estandarizar la técnica.

2.3.2.1. Análisis físico-químicos (Ortiz *et al.* 1993)

Los parámetros y condiciones analíticas de los suelos, se muestran en el cuadro 2.4.

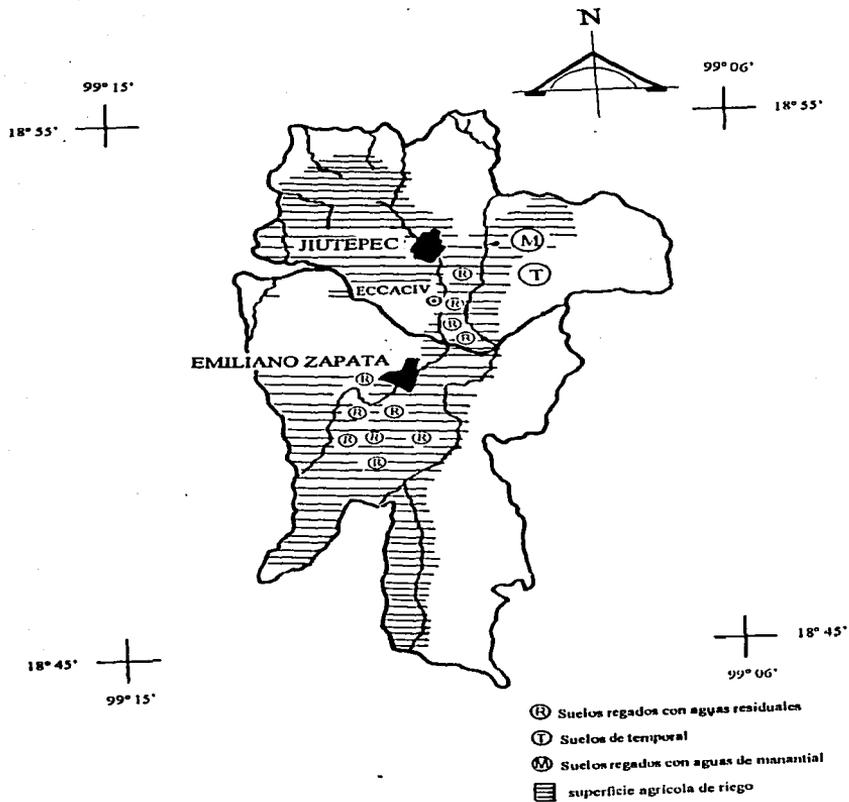


Fig. 2.2. Localización de los sitios de muestreo de suelos

Cuadro 2.4. Parámetros y condiciones analíticas de los parámetros físicos y químicos de suelos

PARÁMETRO	MÉTODO	EQUIPO
textura	del hidrómetro	mezcladora de suelos e hidrómetro
densidad real	picnómetro	picnómetro
densidad aparente	peso de la muestra/volumen ocupado	material cristalería
pH	potenciométrico	potenciómetro Conductrónico pH 20
conductividad eléctrica	electrométrico	conductímetro Conductrónico CL9
aniones solubles (carbonatos, bicarbonatos y cloruros)	titulación	buretas
capacidad de intercambio catiónico	sodio como catión reemplazante	espectrofotómetro de flama Corning 400
cationes intercambiables (calcio, sodio, magnesio y potasio)	utilización del amonio para desplazarlos	espectrofotómetro de flama Corning 400 y espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 2380, equipado con corrector de fondo (lámpara de deuterio)
materia orgánica	Walkley-Black	material de cristalería
nitrógeno orgánico	Kjeldahl	macrokjeldahl
fósforo total	del molibdato de amonio (colorimétrico)	espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb
fósforo disponible	Bray I	espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch & Lomb

2.3.2.2. Determinación de elementos potencialmente tóxicos (metales pesados)

Los metales pesados analizados fueron los siguientes: cadmio, cobalto, cobre, cromo total, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc.

Para la concentración total de metales, las muestras de suelo se solubilizaron mediante una digestión con una mezcla de ácido nítrico y ácido perclórico ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$). La concentración se midió en un espectrofotómetro de absorción atómica un Perkin-Elmer 2380, equipado con corrector de fondo (lámpara de deuterio), siguiendo las especificaciones del equipo mostrado en los cuadros 2.2 y 2.3.

Metales pesados disponibles (Bloomfield y McGareth, 1982)

Las extracciones se realizaron con una solución de EDTA 0.05 M. Este reactivo se utilizó ya que se combina primeramente con los iones metálicos que se encuentran en solución, formando complejos solubles EDTA-metal con lo que reduce la actividad de los iones libres. Como respuesta a este movimiento químico, otros iones metálicos se desorben de la superficie de intercambio (arcillas y materia orgánica, principalmente), van a la solución hasta que la concentración original es restablecida. El EDTA actúa entonces como con los iones libres. Por otro lado, forma quelatos con los metales que se encuentran enlazados débilmente con los compuestos orgánicos. De esta manera se extrae a los metales que pueden considerarse como disponibles para las plantas.

Se tomaron 5 g de suelo y se colocaron en un tubo de ensaye de 50 mL, se agregaron 25 mL de NH_4EDTA 0.05 M, se agitaron durante 30 minutos y se filtró para recuperar la solución. La cuantificación se llevó a cabo por medio de espectrofotometría de absorción atómica, siguiendo las especificaciones del aparato, mencionadas anteriormente (cuadros 2.2 y 2.3).

Se utilizaron reactivos marca Baker y Merck, grado analítico y estándares marca Merck tritol de 1000 mg/L. Los análisis se hicieron por duplicado y con un blanco; los datos se reportan en base seca.

2.3.2.3. Criterios de evaluación de suelos con base en su concentración de sales

Con datos obtenidos de los análisis químicos se calcularon los siguientes parámetros:

1) Porcentaje de saturación de bases (SB). Es la proporción de la capacidad de intercambio catiónico ocupada por otros cationes distintos al hidrógeno y aluminio, la que a su vez determina la capacidad de adsorber cationes de un suelo sin usar. Se calculó de la forma siguiente:

$$SB = \frac{[Ca^{++}] + [Mg^{++}] + [K^+] + [Na^+]}{CIC}$$

donde:

CIC = capacidad de intercambio catiónico

concentración expresada en meq/100 g de suelo seco

2) Porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Se refiere a la proporción de capacidad de intercambio catiónico ocupada por sodio. Se calculó de la siguiente forma:

$$PSI = \frac{[Na^+]}{[Ca^{++}] + [Mg^{++}] + [K^+] + [Na^+]} \times 100$$

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de aguas

3.1.1. Aguas residuales y tratadas (entrada y salida de la planta de tratamiento)

Los resultados anuales de los análisis de las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento (punto de muestreo I) y después de ser sometidas al proceso (estación II), se muestran en los cuadros 3.1 y 3.2. Estos cuadros incluyen el intervalo, los valores promedio y las medidas de variabilidad. Estos datos se les analizaron estadísticamente a través de análisis de varianza y pruebas de Tukey, para contar con un indicio de la eficiencia que tiene la planta de tratamiento para remover los contaminantes que le llegan de las diferentes industrias conectadas a ella; por lo tanto, los resultados se discuten en función de este análisis estadístico.

De acuerdo a los análisis de varianza (apéndice D.1), existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos estaciones de muestreo para los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables, DQO, DBO₅, grasas y aceites, SAAM, nitratos, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, fósforo total, calcio, sodio, zinc y níquel.

En el caso de la temperatura del agua, siempre llega con un valor superior a la del ambiente, debido a que los procesos industriales descargan el agua con esta característica (Fig. 3.1.). La conductividad eléctrica llega a disminuir durante el tratamiento, aunque el valor de este parámetro sigue siendo alto comparado con los requerimientos de la normatividad oficial mexicana (Fig. 3.2 y cuadros 3.1 y 3.2). Por otro lado, en ambas estaciones se presentó una gran variación en los valores de la conductividad eléctrica (desviación estándar alta).

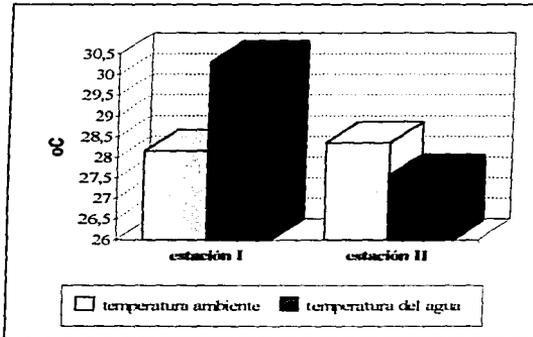


Fig.3.1. Comparación entre los valores promedio anuales de la temperatura ambiente y del agua de las estaciones I y II

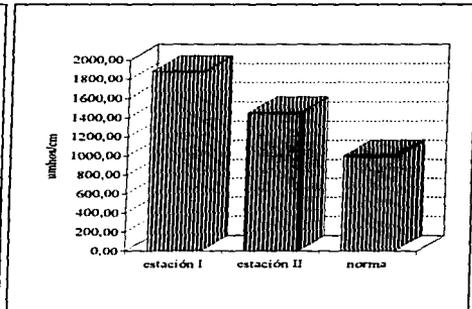


Fig.3.2 Comparación entre los valores promedio anuales de la conductividad eléctrica de las estaciones I y II y la norma

Cuadro 3.1. Resultados anuales de los análisis físico-químicos del agua a la entrada de la planta de tratamiento

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	CV (%)
temperatura ambiente (°C)	25.00-33.00	28.16	27.83	1.97	6.99
temperatura del agua (°C)	26.05-33.00	30.31	30.90	2.22	7.32
pH	7.25-12.93	8.70	8.45	1.36	15.63
CE (µmhos/cm)	965.66-3168.00	1879.73	1875.25	555.57	29.55
sólidos sedimentables (mg/L)	1.60-16.00	4.90	4.25	3.61	73.67
sólidos totales (mg/L)	198.50-2118.00	1542.31	1695.25	547.74	35.51
sólidos suspendidos (mg/L)	70.00-664.00	375.08	304.00	203.92	54.36
DQO (mg/L)	800.00-7066.60	3473.00	2526.65	1999.38	57.56
DBO ₅ (mg/L)	361.50-1247.80	619.06	554.75	237.28	38.32
OD (mg/L)	0.16-0.55	0.41	0.40	0.09	21.95
grasas y aceites (mg/L)	337.30-896.50	634.12	670.08	167.22	26.37
alcalinidad (mg/L)	363.30-3150.00	1212.71	588.80	952.19	78.51
dureza (mg/L)	160.00-11688.00	2684.06	484.20	4069.30	151.60
cloruros (mg/L)	165.00-850.00	404.58	347.50	202.49	500.32
SAAM (mg/L)	165.20-405.00	297.26	313.50	71.74	24.13
sulfatos (mg/L)	1682.70-19942.03	4000.13	2636.05	4840.84	121.01
coliformes totales (NMP/100mL)	1.21E+10-6.05E+14	1.05E+14	2.40E+13	1.73E+14	164.76
coliformes fecales (NMP/100 mL)	2.1E+7-1.20E+12	2.67E+11	1.20E+10	4.41E+11	165.16
nitratos (mg/L)	1.40-9.53	4.45	3.71	2.43	54.60
N orgánico (mg/L)	38.25-149.90	85.78	81.97	27.53	32.09
N amoniacal (mg/L)	21.00-173.95	97.66	96.83	43.25	44.28
Fósforo total (mg/L)	7.76-89.30	47.84	39.82	25.44	53.17
RAS (mcq/L)	0.52-5.02	3.01	3.28	1.25	62.50
metales totales					
Calcio (ppm)	59.96-221.98	113.29	104.15	45.54	40.15
Magnesio (ppm)	3.91-54.90	13.87	9.92	12.90	93.00
Sodio (ppm)	24.85-206.75	123.83	138.08	52.12	42.08
Potasio (ppm)	3.91-30.80	15.58	14.60	7.80	50.06
Cobre (ppm)	0.04-0.74	0.32	0.27	0.19	59.37
Hierro (ppm)	2.27-6.53	4.22	4.27	1.47	34.83
Manganeso (ppm)	0.19-0.83	0.34	0.26	0.17	50.00
Zinc (ppm)	0.43-0.82	0.82	0.79	0.19	23.17
Niquel (ppm)	0.02-0.37	0.17	0.18	0.09	52.94

S = desviación estándar. C. V. = coeficiente de variación

En el caso del pH, las aguas llegan a la planta de tratamiento con condiciones alcalinas (8.7 en promedio), pero después del proceso el valor es más bajo. Quizás se debe al crecimiento de microorganismos durante el tratamiento, a los cuales se les debe la producción de ácidos orgánicos (cuadro 3.2. y Fig. 3.3).

En cuanto al comportamiento de la DQO y la DBO₅, se nota una clara disminución entre ambas estaciones (Fig. 3.4), lo que indica que el tratamiento tiene un efecto directo en la disminución de la carga orgánica de las aguas residuales. En el caso de la DBO₅, se detectó que la planta remueve entre un 24 a un 63.40 %, con un valor promedio de 38.78 %. En el caso de la DQO se remueve

en promedio un 55.74 %, con un intervalo de 23 a 82 %. El valor de la desviación estándar es alta para los valores resultantes a lo largo del año (cuadro 3.1 y 3.2)

Cuadro 3.2. Resultados anuales de los análisis físico-químicos del agua de la estación II

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	C V (%)
temperatura ambiente (°C)	22.50-34.50	28.36	27.99	3.70	10.82
temperatura del agua (°C)	25.00-30.55	27.56	27.27	1.49	5.40
pH	7.10-8.52	7.55	7.30	0.43	5.69
CE (µmhos/cm)	644.50-2040.00	1452.02	1456.83	389.03	26.79
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10-0.65	0.17	0.11	0.14	82.35
sólidos totales (mg/L)	812.67-1588.50	1213.55	1206.50	188.69	15.54
sólidos suspendidos (mg/L)	72.00-568.00	279.55	249.00	163.77	58.58
DQO (mg/L)	280.00-4000.00	1537.22	1000.00	1272.60	82.78
DBO ₅ (mg/L)	160.00-896.00	379.03	345.31	190.78	50.33
OD (mg/L)	0.31-0.51	0.41	0.41	0.051	12.43
grasas y aceites (mg/L)	70.38-675.36	341.97	369.37	176.84	51.71
alcalinidad (mg/L)	246.00-3000.00	730.11	458.33	754.58	103.35
dureza (mg/L)	134.50-984.00	440.09	347.60	244.46	55.54
cloruros (mg/L)	63.00-550.00	277.90	262.61	148.70	53.50
SAAM (mg/L)	140.00-320.40	224.20	225.00	57.45	25.62
sulfatos (mg/L)	979.90-10624.21	3244.55	1662.65	2956.25	91.11
coliformes totales (NMP/100mL)	1.20E+9-2.40E+15	2.6E+14	1.62E+13	6.52E+14	250.76
coliformes fecales (NMP/100 mL)	2.70E+7-3.40E+13	4.31E+12	1.84E+11	9.39E+12	217.86
nitratos (mg/L)	0.52-4.50	2.50	2.95	1.20	48.12
N orgánico (mg/L)	3.50-86.24	40.86	39.10	23.38	57.21
N amoniacal (mg/L)	24.24-100.20	59.01	54.87	20.89	35.40
Fósforo total (mg/L)	5.43-48.20	25.50	25.09	13.86	54.35
RAS (mcq/L)	0.78-3.75	2.46	2.45	0.81	62.50
metales totales					
Calcio (ppm)	40.90-107.62	66.98	65.88	20.45	30.53
Magnesio (ppm)	6.13-20.34	13.27	12.65	4.28	32.25
Sodio (ppm)	26.46-127.90	83.97	91.54	29.87	35.57
Potasio (ppm)	1.66-48.70	23.15	25.32	15.75	68.03
Cobre (ppm)	0.04-0.82	0.31	0.22	0.22	70.96
Hierro (ppm)	0.60-8.17	2.67	2.37	2.05	76.77
Manganeso (ppm)	0.01-0.58	0.22	0.20	0.17	77.27
Zinc (ppm)	0.21-0.35	0.27	0.28	0.07	25.92
Níquel (ppm)	0.01-0.19	0.08	0.07	0.05	62.50

S = desviación estándar. C. V. = coeficiente de variación

Con respecto al resto de los parámetros, donde se encontraron las diferencias significativas, los resultados indican que la planta de tratamiento remueve durante su proceso, cantidades significativas de estos constituyentes del agua residual (nitrógeno, fósforo, grasas y aceites y detergentes), debido a que los compuestos orgánicos son sometidos a un proceso de degradación y el resto de los elementos son importantes como nutrientes para el crecimiento de los microorganismos que están llevando a cabo la depuración (Fig. 3.5). Este no es el caso del níquel,

el cual se remueve del agua residual y conjuntamente con otros metales, que no son utilizados por los microorganismos, se concentran en los lodos residuales que resultan del proceso (Ortiz, 1994).

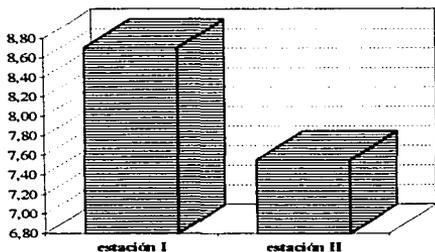


Fig. 3.3. Comparación entre los valores promedio anuales de pH de las estaciones I y II

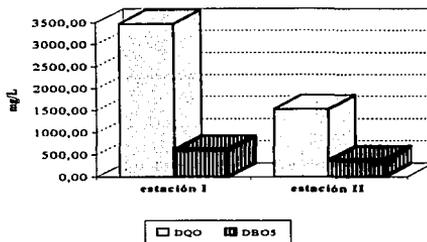


Fig. 3.4. Comparación entre los valores de DQO y DBO₅ de las estaciones I y II de la planta de tratamiento

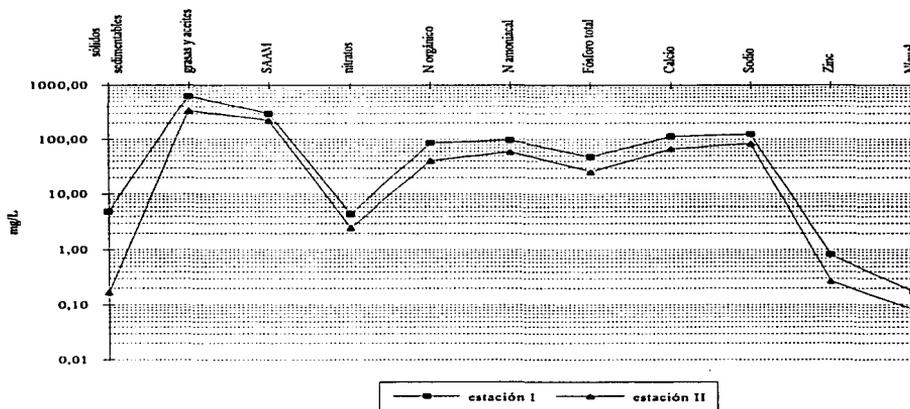


Fig. 3.5. Comparación entre los parámetros donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el análisis de varianza, de las estaciones I y II de la planta de tratamiento Eccaciv

La prueba de Tukey demuestra que en todos los casos, la estación responsable de las diferencias significativas es la entrada de la planta de tratamiento, donde se detectaron concentraciones más altas de estos parámetros (ver apéndice E).

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las dos estaciones en los siguientes parámetros: sólidos totales y suspendidos, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, cloruros, sulfatos, coliformes totales y fecales, magnesio, potasio, cobre, hierro y manganeso. Esto indica que la planta de tratamiento no tiene ningún efecto sobre estos parámetros y descarga las aguas con las mismas características con las que llegan a la planta (cuadros 3.1 y 3.2. y Fig. 3.6)

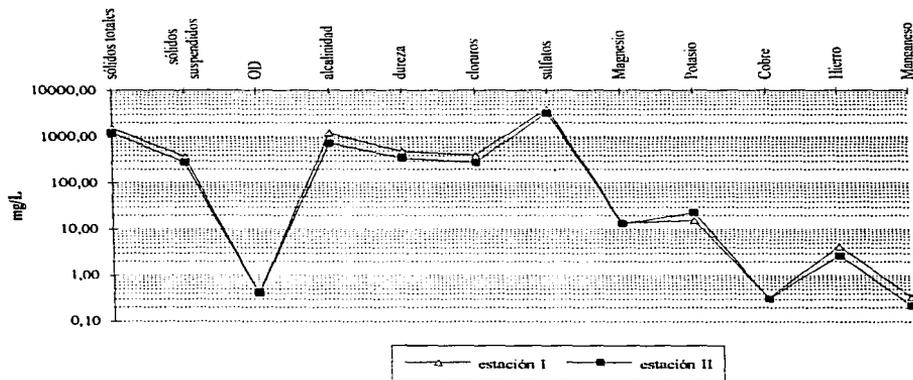


Fig. 3.6. Comparación entre los parámetros donde no se encontraron diferencias significativas entre la estación I y II de la planta de tratamiento Eccaciv

En el caso particular de los coliformes totales y fecales, a la salida de la planta de tratamiento se detectó una mayor cantidad de los mismos (NMP/100 mL) (Fig. 3.7). Esto se explica porque durante el proceso hay crecimiento de microorganismos, incluyendo aquellos de origen fecal, ya que también actúan como degradadores de compuestos orgánicos. Cabe destacar que los Criterios Ecológicos de la Calidad del agua, marcan un límite máximo permitido de coliformes fecales de 1000 NMP/100 mL de agua.

El análisis de varianza demuestra que a través del tiempo, las diferencias significativas sólo se presentaron en el caso de alcalinidad, sulfatos, cloruros y manganeso. Este resultado indica que las descargas de agua con sus componentes, son constantes a lo largo del año, debido a que las industrias no detienen sus actividades.

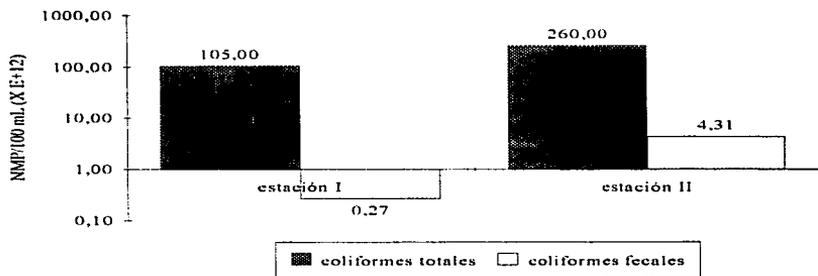


Fig. 3.7. Coliformes totales y fecales de las dos estaciones de muestreo

Con respecto a la normatividad ambiental vigente, los resultados de las aguas tratadas vertidas a la barranca “Puente Blanco”, se presentaron por arriba de los niveles máximos permisibles (apéndice C) para los siguientes parámetros: cloruros, coliformes fecales, conductividad eléctrica, sulfatos, sólidos suspendidos, DBO₅, SAAM, grasas y aceites y cobre (Fig. 3.8). Esto afecta la calidad del agua en su uso para riego agrícola.

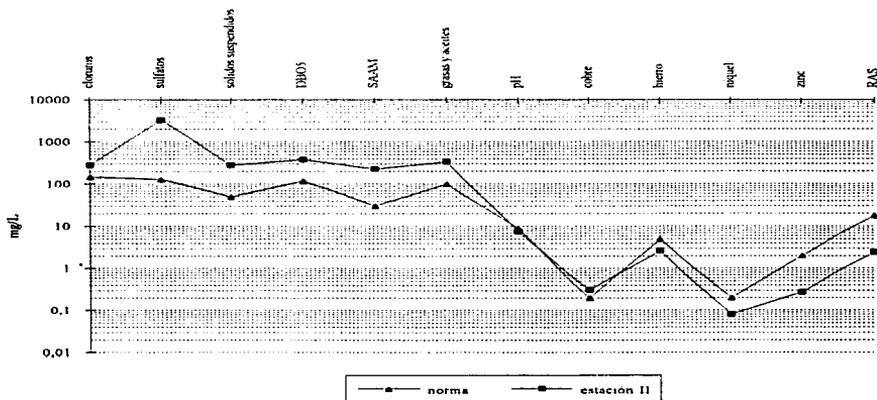


Fig. 3.8. Comparación entre los límites máximos establecidos por la normatividad y valores promedio anuales de los parámetros de la estación II

3.1.2. Evaluación de las aguas de riego

Los resultados de los análisis de las aguas destinadas al riego agrícola de la zona, que se muestrearon a lo largo del año, se presentan en los cuadros 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6, así como en el apéndice D. A estos resultados se les aplicó el análisis estadístico correspondiente.

En la estación III, destaca la variación a lo largo del año de diferentes parámetros, como son conductividad eléctrica, DQO, DBO, grasas y aceites, sulfatos, coliformes totales y fecales, mismos que se ven afectados en mayor medida por las descargas domésticas que existen en la barranca. Los metales con una mayor concentración, son el calcio y el sodio (cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Resultados de los parámetros de la estación III, antes de la descarga de la Eccaciv

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	C V (%)
temperatura ambiente (°C)	21.50-34.00	27.86	27.75	3.46	12.42
temperatura del agua (°C)	20.00-26.95	22.69	22.40	2.02	8.90
pH	6.40-8.94	7.79	7.65	0.71	9.11
CE (µmhos/cm)	295.30-742.50	439.21	446.00	120.42	27.41
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10-1.00	0.41	0.38	0.27	65.85
sólidos totales (mg/L)	218.50-476.00	303.97	290.30	74.54	24.51
sólidos suspendidos (mg/L)	0.43-692.33	178.75	129.49	172.25	96.36
DQO (mg/L)	168.00-2800.00	973.07	841.30	765.25	78.64
DBO ₅ (mg/L)	57.57-1092.00	355.73	287.80	270.07	75.91
OD (mg/L)	2.02-5.00	3.53	3.24	0.89	25.21
grasas y aceites (mg/L)	116.78-912.00	423.76	425.04	235.69	55.61
alcalinidad (mg/L)	96.00-2400.00	637.71	223.65	722.95	113.36
dureza (mg/L)	40.00-360.00	153.27	120.80	92.73	60.50
cloruros (mg/L)	10.33-300.00	86.54	37.50	95.58	110.45
SAAM (mg/L)	200.30-350.20	272.06	268.60	41.00	15.07
sulfatos (mg/L)	213.50-6254.46	1265.91	657.25	1629.00	128.68
coliformes totales (NMP/100mL)	2.40E+6-1.1E+15	1.38E+14	1.02E+11	3.27E+14	236.95
coliformes fecales (NMP/100 mL)	1.10 E+6-2.4E+12	2.07E+11	1.30E+08	6.62E+11	319.80
nitratos (mg/L)	0.36-5.94	1.99	1.31	1.79	89.94
N orgánico (mg/L)	3.36-16.10	7.71	6.21	3.83	49.54
N amoniacal (mg/L)	3.56-64.15	15.30	6.81	20.55	134.40
Fósforo total (mg/L)	2.40-36.33	11.83	8.35	9.60	81.06
RAS (meq/L)	0.53-7.73	1.96	1.58	1.85	94.38
metales totales					
Calcio (ppm)	21.06-74.38	45.27	43.79	16.82	37.13
Magnesio (ppm)	7.00-28.10	16.02	14.35	6.81	42.53
Sodio (ppm)	17.46-224.30	58.97	45.42	53.94	91.46
Potasio (ppm)	0.006-18.20	5.08	3.01	5.61	110.23
Cobre (ppm)	0.14-0.35	0.23	0.21	0.06	26.36
Hierro (ppm)	0.49-8.57	2.67	2.21	2.14	80.14
Manganeso (ppm)	0.08-0.93	0.35	0.31	0.23	64.70
Zinc (ppm)	0.16-0.36	0.24	0.22	0.09	39.13
Níquel (ppm)	0.01-0.10	0.04	0.04	0.02	50.00

S = desviación estándar. C. V. = coeficiente de variación

En la estación que se ubicó después de la descarga de las aguas tratadas (IV), la conductividad eléctrica aumenta (Fig. 3.9), así como su variación a lo largo del año; el mismo comportamiento lo presentan los sólidos totales (Fig. 3.10), la DQO (Fig. 3.11), la DBO (Fig. 3.12), los sulfatos (Fig. 3.13) y algunos metales. Estos resultados indican que las descargas de las aguas tratadas afectan de manera considerable la calidad del agua de la barranca Puente Blanco, ya que como se mencionó anteriormente, existen parámetros que no se ven modificados durante el tratamiento.

Cuadro 3.4. Resultados anuales de los parámetros de la estación IV

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	CV (%)
temperatura ambiente (°C)	23.00-35.00	28.85	28.42	2.99	10.33
temperatura del agua (°C)	23.10-29.50	26.53	26.90	1.69	6.37
pH	6.47-9.00	8.05	8.08	0.67	8.20
CE (µmhos/cm)	823.00-1795.00	1145.75	1107.50	239.76	20.92
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10-24.00	4.06	0.55	7.13	175.36
sólidos totales (mg/L)	510.00-1400.00	881.57	751.34	309.22	35.07
sólidos suspendidos (mg/L)	100.00-1824.00	490.58	374.00	445.70	90.84
DQO (mg/L)	128.00-4933.33	1672.74	1063.08	1452.46	86.83
DBO ₅ (mg/L)	71.42-814.52	464.23	454.22	207.49	44.69
OD (mg/L)	0.75-3.45	1.91	1.95	0.82	42.72
grasas y aceites (mg/L)	94.32-951.00	500.29	512.51	198.81	39.73
alcalinidad (mg/L)	162.00-8550.00	1181.39	330.67	2259.40	191.25
dureza (mg/L)	72.00-1368.00	421.20	287.20	354.07	84.05
cloruros (mg/L)	72.29-450.00	198.86	124.08	139.05	69.92
SAAM (mg/L)	310.40-751.00	428.48	399.50	117.86	27.50
sulfatos (mg/L)	1766.77-11060.77	4524.17	3046.00	3031.69	67.01
coliformes totales (NMP/100mL)	2.4E+6-2.25E+15	2.13E+14	5.41E+12	6.16E+14	289.20
coliformes fecales (NMP/100mL)	26E+5-9.4E+13	7.9E+12	4.8E+9	2.59E+13	327.84
nitratos (mg/L)	0.83-18.05	10.40	12.40	5.79	55.57
N orgánico (mg/L)	27.08-68.97	40.37	35.66	11.44	28.33
N amoniacal (mg/L)	20.16-134.16	59.60	36.47	44.83	75.21
Fósforo total total (mg/L)	12.10-41.10	24.98	24.45	7.70	30.82
RAS (mcq/L)	0.32-6.12	2.89	2.48	1.58	54.67
metales totales					
Calcio (ppm)	58.24-153.03	98.85	96.09	29.49	29.82
Magnesio (ppm)	2.27-19.55	10.45	9.80	5.18	49.52
Sodio (ppm)	11.13-235.45	110.69	92.72	61.82	55.84
Potasio (ppm)	12.20-165.00	54.52	46.83	38.61	70.81
Cobre (ppm)	0.14-0.86	0.34	0.31	0.18	54.54
Hierro (ppm)	1.81-8.43	4.83	4.15	2.32	48.03
Manganeso (ppm)	0.05-0.83	0.36	0.34	0.22	60.00
Zinc (ppm)	0.47-0.58	0.66	0.64	0.06	7.69
Niquel (ppm)	0.02-0.53	0.17	0.12	0.14	82.35

S = desviación estándar, C. V. = coeficiente de variación

El cuadro 3.5 muestra los resultados de los análisis de la estación V, donde los principales parámetros que se presentan con valores altos, son la conductividad eléctrica (Fig. 3.9), los sólidos totales (Fig. 3.10), los sulfatos (Fig. 3.13) y las bacterias coliformes (Fig. 3.14). Aunque ya existen

diferencias con respecto a la estación anterior, la capacidad de dilución se ve aminorada porque siguen existiendo descargas de tipo doméstico a lo largo de la barranca. De ahí que el contenido de carga orgánica sea alto.

Cuadro 3.5. Resultados anuales de los parámetros de la estación V

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	C V (%)
temperatura ambiente (°C)	25.00-33.50	28.57	28.05	2.37	8.29
temperatura del agua (°C)	19.40-28.20	24.05	25.05	3.21	13.34
pH	6.80-7.90	7.28	7.25	0.31	4.25
CE (µmhos/cm)	162.00-1891.00	978.03	912.00	521.28	53.29
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10-17.50	2.48	0.18	5.23	210.88
sólidos totales (mg/L)	712.00-1645.00	907.75	873.00	234.94	25.88
sólidos suspendidos (mg/L)	65.00-723.00	174.00	99.00	179.13	102.94
DOO (mg/L)	199.00-1197.00	447.17	402.50	249.38	55.76
DBO ₅ (mg/L)	83.00-756.00	219.92	207.00	173.51	78.89
OD (mg/L)	1.11-2.92	1.69	1.28	0.61	36.09
grasas y aceites (mg/L)	5.60-443.50	152.64	77.75	147.18	96.42
alcalinidad (mg/L)	97.00-2100.00	713.54	427.75	657.35	92.12
dureza (mg/L)	194.00-321.20	223.74	215.55	32.84	14.67
cloruro (mg/L)	53.00-640.00	138.14	89.60	153.01	110.76
SAAM (mg/L)	190.00-320.00	248.08	252.50	37.38	15.06
sulfatos (mg/L)	449.84-1227.24	991.56	1002.36	216.12	21.79
coliformes totales (NMP/100mL)	1.2E+09-5.5E+14	5.58E+13	2.33E+12	1.51E+14	270.60
coliformes fecales (NMP/100mL)	21E+6-7.1E+12	7.7E+11	1.52E+10	1.93E+12	248.71
nitratos (mg/L)	0.002-0.43	0.21	0.20	0.15	71.42
N orgánico (mg/L)	11.32-49.31	18.07	14.17	10.23	56.61
N amoniacal (mg/L)	12.90-49.35	25.36	24.04	9.06	35.72
Fósforo total total (mg/L)	4.93-32.33	15.61	14.02	8.09	51.82
RAS (meq/L)	0.72-3.92	1.98	1.94	0.78	39.39
metales totales					
Calcio (ppm)	35.83-131.48	83.83	78.46	30.04	35.83
Magnesio (ppm)	7.14-37.80	16.69	13.16	7.89	47.24
Sodio (ppm)	37.28-146.30	80.51	74.08	29.32	36.41
Potasio (ppm)	21.20-83.90	42.85	41.05	16.99	39.65
Cobre (ppm)	0.12-0.68	0.34	0.35	0.15	44.11
Hierro (ppm)	1.07-2.82	1.85	1.76	0.53	28.64
Manganeso (ppm)	0.04-0.41	0.20	0.20	0.10	45.00
Zinc (ppm)	0.10-0.17	0.22	0.18	0.04	14.28
Níquel (ppm)	0.02-0.27	0.12	0.11	0.08	63.63

S = desviación estándar. C. V. = coeficiente de variación

En el caso de la última estación establecida, destacan también los resultados de la conductividad eléctrica (Fig. 3.9), de los coliformes (Fig. 3.14) y de los sulfatos (Fig. 3.13), que coincide con las situaciones de las estaciones anteriores (cuadro 3.6).

Para cuantificar la actividad relativa de los iones de sodio a través del RAS, se puede mencionar que su contribución en las cuatro estaciones es mínima, inclusive en la estación que recibe las

aguas tratadas (Fig. 3.15). Eso quiere decir que las aguas de riego, no presentan concentraciones altas de sodio, con respecto a las del calcio y magnesio.

Cuadro 3.6. Resultados anuales de los parámetros de la estación VI

PARÁMETRO	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	CV (%)
temperatura ambiente (°C)	25.50-32.00	28.13	28.25	2.08	7.39
temperatura del agua (°C)	17.50-27.50	23.74	24.95	3.19	13.43
pH	7.10-7.90	7.48	7.45	0.21	2.80
CE (µmhos/cm)	873.00-1496.00	1072.58	1022.50	170.45	15.89
sólidos sedimentables (mg/L)	0.07-2.14	0.48	0.25	0.57	118.75
sólidos totales (mg/L)	659.00-1012.00	797.00	777.50	99.58	12.49
sólidos suspendidos (mg/L)	46.00-215.00	112.42	101.00	48.90	43.49
DQO (mg/L)	155.00-452.00	332.35	320.50	92.13	27.72
DBO ₅ (mg/L)	39.00-332.00	152.50	158.00	73.03	47.88
OD (mg/L)	0.87-3.18	1.83	1.68	0.67	36.61
grasas y aceites (mg/L)	7.00-248.00	82.54	43.50	72.69	88.06
alcalinidad (mg/L)	89.00-1600.00	550.50	346.00	505.07	91.74
dureza (mg/L)	199.00-279.00	227.25	223.00	24.10	10.60
cloruros (mg/L)	45.00-111.00	78.08	81.00	17.68	22.64
SAAM (mg/L)	170.00-350.00	243.17	228.00	55.67	22.89
sulfatos (mg/L)	420.70-1250.20	934.51	983.90	234.50	25.09
coliformes totales (NMP/100mL)	2.4E+7-2.2E+12	4.29E+11	2.40E+10	6.99E+11	162.93
coliformes fecales (NMP/100mL)	51E+5-7.2E+11	6.95E+10	5.1E+9	1.97E+11	283.45
nitratos (mg/L)	0.001-0.46	0.16	0.11	0.15	93.75
N orgánico (mg/L)	6.40-36.60	14.18	12.35	7.33	51.69
N amoniacal (mg/L)	11.90-26.10	19.92	19.85	4.80	24.09
Fósforo total (mg/L)	2.40-21.50	13.08	13.50	5.19	39.67
RAS (mcq/L)	1.3-3.19	2.01	1.93	0.47	23.38
metales totales					
Calcio (ppm)	32.70-95.80	64.07	65.95	19.40	30.28
Magnesio (ppm)	5.12-27.80	11.96	9.51	6.11	51.12
Sodio (ppm)	44.62-94.21	62.34	59.26	15.86	25.42
Potasio (ppm)	16.80-63.90	29.77	27.10	12.92	43.38
Cobre (ppm)	0.14-0.46	0.29	0.30	0.10	32.14
Hierro (ppm)	1.11-2.40	1.69	1.65	0.45	26.78
Manganeso (ppm)	0.11-0.34	0.20	0.18	0.07	35.00
Zinc (ppm)	0.10-0.12	0.17	0.15	0.01	5.88
Níquel (ppm)	0.01-0.27	0.09	0.09	0.08	87.50

S = desviación estándar. C.V. = coeficiente de variación

Con base en los análisis de varianza (apéndice E.1.2.), existen diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo para los siguientes parámetros: temperatura del agua (por las diferentes estaciones del año), pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos suspendidos, DQO, DBO₅, OD, grasas y aceites, dureza, SAAM, sulfatos, nitratos, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, fósforo total, calcio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc y níquel.

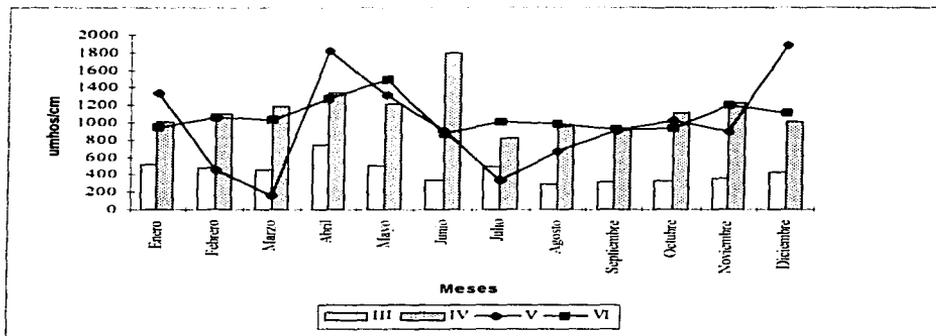


Fig. 3.9. Variación de la conductividad eléctrica a través de las cuatro estaciones de muestreo y de los 12 meses del año

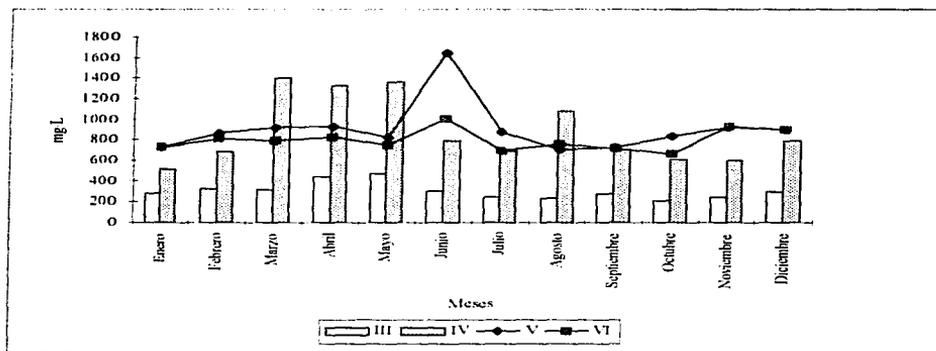


Fig. 3.10. Variación de los sólidos totales a través de las cuatro estaciones de muestreo y de los 12 meses del año

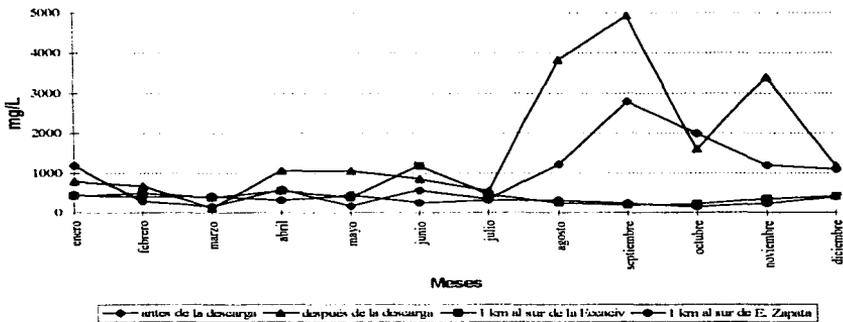


Fig. 3.11. Comportamiento de la DQO en las 4 estaciones durante un año de muestreo

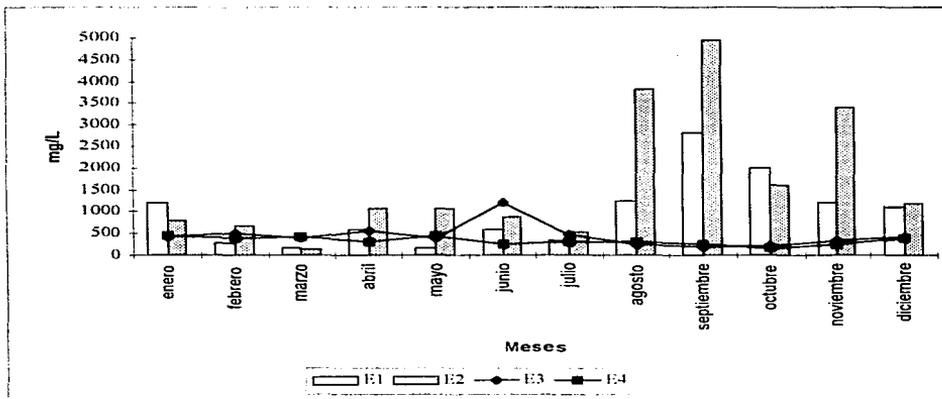


Fig. 3.12. Comportamiento de la DBO en las 4 estaciones durante un año de muestreo

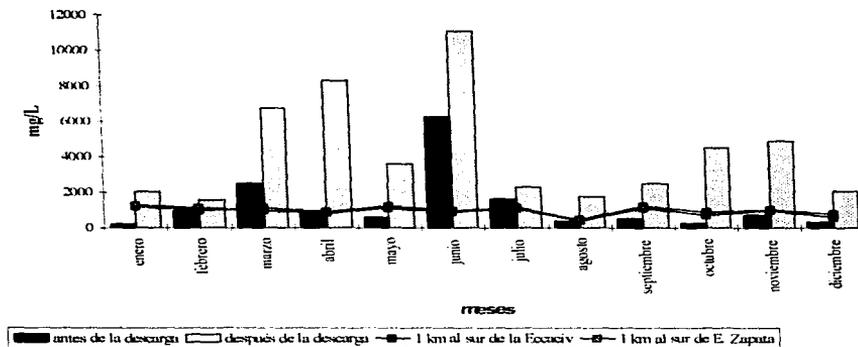


Fig. 3.13. Comportamiento de sulfatos en las 4 estaciones durante un año de muestreo

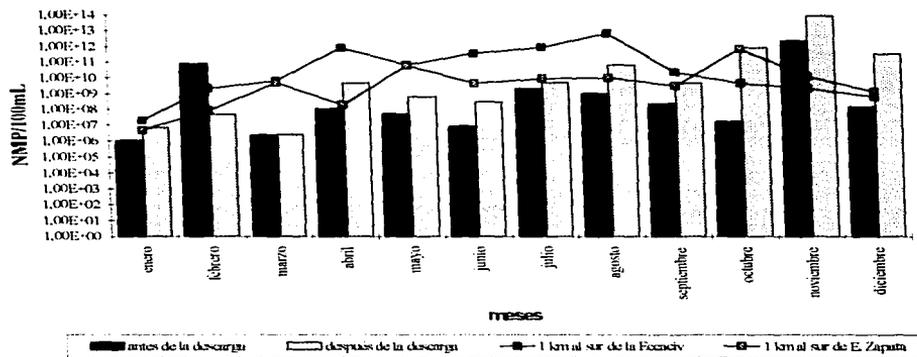


Fig. 3.14. Comportamiento de los coliformes fecales en las 4 estaciones durante un año de muestreo

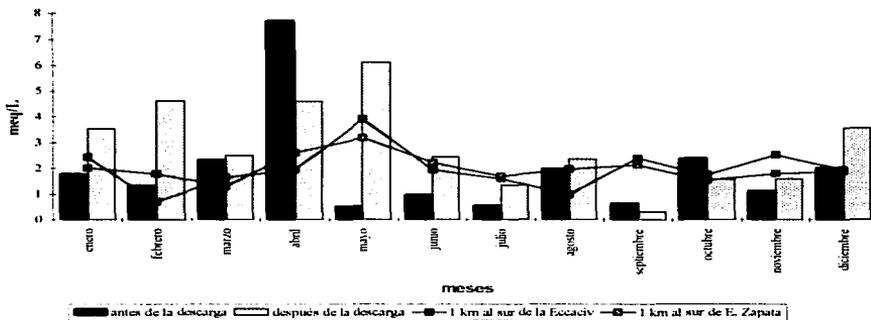


Fig. 3.15. Comportamiento de la relación de adsorción de sodio (RAS) en las 4 estaciones durante un año de muestreo

De acuerdo a la prueba de Tukey (apéndice E.2), la estación IV es la responsable de las diferencias que resultan en el análisis de varianza, misma que se estableció posterior a la descarga de la planta de tratamiento. Se presentaron valores significativamente más altos en todos los parámetros, comparativamente con el resto de los sitios de muestreo, con excepción del oxígeno disuelto, que resultó ser significativamente menor.

En cuanto al análisis de varianza aplicado a los datos a través del tiempo, la mayoría de los parámetros no presentaron diferencias estadísticamente significativas, con excepción del cobre, la temperatura ambiente y la temperatura del agua. En el caso del cobre, y de acuerdo con la prueba de Tukey, el mes de septiembre reportó una concentración significativamente más baja. Las diferencias en la temperatura se deben predominantemente al cambio de estaciones a través del año.

Los parámetros analizados a lo largo de la barranca "Puente Blanco", que rebasan el límite máximo establecido en la normatividad para riego agrícola, fueron los siguientes: sulfatos, sólidos suspendidos, DBO₅, coliformes fecales, grasas y aceites, SAAM y cobre, además de una alta variabilidad en sus resultados a lo largo del año (valores de la desviación estándar y el coeficiente de variación altos); mientras que la conductividad eléctrica, los cloruros, hierro y níquel, sólo fueron superiores (en cinco meses) en la estación IV, que se ubicó después de la descarga de la planta de tratamiento (cuadro 3.3).

Como puede apreciarse con los resultados anteriores, las aguas residuales utilizadas para riego agrícola no presentan problemas de concentración alta de metales potencialmente tóxicos, aunque se llegaron a detectar en todas las muestras, su contenido se considera aceptable (de acuerdo con la normatividad ambiental vigente) para riego agrícola. No obstante, son resultados de agua colectada en forma de muestras simples durante el día, y es posible que en otros horarios pudieran

llegar a detectarse concentraciones mayores de metales pesados, ya que se han encontrado concentrados en los lodos residuales que resultan del proceso de tratamiento (Ortiz, 1994). Por lo tanto, a través de los años, es posible llegar a detectar una posible acumulación de dichos elementos en los suelos agrícolas.

Asimismo, las aguas que se han utilizado por más de 20 años para riego agrícola, presentan problemas de concentración elevada de sales y de bacterias coliformes, principalmente.

Cuadro 3.7. Comparación de los valores promedio de los parámetros de calidad del agua de la barranca "Puente Blanco", con los límites máximos de la normatividad para riego agrícola

PARÁMETRO	ESTACIÓN III	ESTACIÓN IV	ESTACIÓN V	ESTACIÓN VI
pH	no rebasa	no rebasa (*)	no rebasa	no rebasa
C. E.	no rebasa	rebasa	no rebasa	rebasa
Cl ⁻	no rebasa (v)	rebasa (v)	no rebasa	no rebasa (v)
SO ₄ ⁻²	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)
sólidos suspendidos	rebasan (v)	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)
DBO ₅	rebasa (v)	rebasa	rebasa (v)	rebasa (v)
coliformes fecales	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)
grasas y aceites	rebasa (v)	rebasa (v)	rebasa (v)	no rebasa (v)
SAAM	rebasa	rebasa	rebasa	rebasa
RAS	no rebasa	no rebasa	no rebasa	no rebasa
Cu	rebasa	rebasa	rebasa	rebasa
Fe	no rebasa	rebasa 5 meses	no rebasa	no rebasa
Ni	no rebasa	rebasa 5 meses	no rebasa	no rebasa
Zn	no rebasa	no rebasa	no rebasa	no rebasa
Cr, Co, Cd y Pb	ND	ND	ND	ND
DQO	valores bajos (v)	valores muy altos	valores muy altos (v)	valores altos (v)

* el valor promedio anual se ubica en el límite superior establecido por la normatividad

v se presentó alta variabilidad en los resultados a lo largo del año, confirmado por el valor de la desviación estándar y el coeficiente de variación.

ND no detectado

3.2. Evaluación de suelos

Como se mencionó en el capítulo 2, se llevó a cabo un muestreo donde se obtuvieron suelos de temporal, irrigados con aguas de manantial e irrigados con aguas residuales y tratadas. A estas muestras se les sometió a una prueba de X^2 , tomando como valores observados a los datos de las diferentes parcelas irrigadas con aguas residuales, y como valores esperados a los resultados de las parcelas de temporal. Los resultados de esta prueba indicaron cuales parámetros son estadísticamente diferentes en los tres tipos de suelos muestreados (para mayor información, referirse al apéndice E).

Los resultados de los análisis físicos y químicos de los suelos se muestran en el cuadro 3.8, y se presenta una comparación entre los irrigados con aguas residuales y los de temporal y manantial (los datos más detallados se presentan en el apéndice D).

La densidad aparente y la real no presentaron diferencias significativas, lo cual indica que las aguas residuales no han tenido influencia alguna en el peso que ocupa un volumen específico del suelo. El mismo resultado se presentó en el porcentaje de porosidad del suelo.

La conductividad eléctrica presenta diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$), provocadas por un incremento en los suelos regados con aguas residuales (Fig. 3.16). Sin embargo, aunque se notó una tendencia al incremento de la salinidad, de acuerdo a la clasificación del Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. (1982) y Aguirre (1993), los suelos aún son aptos para cultivos poco tolerables a las sales.

Cuadro 3.8. Resultados de los suelos regados con aguas residuales y de manantial comparados contra los de temporal

PARAMETRO	SUELOS REGADOS CON AGUAS RESIDUALES				SUELOS DE	
	INTERVALO	MEDIA	MEDIANA	S	TEMPORAL	MANANTIAL
densidad aparente (g/cm)	1.13-1.35	1.24	1.22	0.05	1.25	1.32
densidad real (g/cm)	2.19-2.88	2.53	2.59	0.24	2.29	2.29
C. E. (mmhos/cm)	0.17-2.10	0.85	0.55	0.61	0.48	0.20
pH	5.10-7.60	6.64	6.30	0.77	6.42	6.80
% de porosidad	42.03-57.99	50.55	49.15	4.80	45.41	42.35
% de arenas	13.28-39.28	26.00	23.78	8.14	25.00	28.00
% de arcillas	29.44-60.44	48.38	50.44	9.96	40.00	38.00
% de limos	20.28-34.28	25.60	25.78	4.33	35.00	34.00
% materia orgánica	1.1-4.73	2.39	2.24	1.01	1.40	1.67
bicarbonatos (meq/L)	1.00-2.50	1.34	1.00	0.44	1.30	0.80
cloruros (meq/L)	0.84-5.60	1.65	1.12	1.40	0.75	0.75
sulfatos (meq/L)	1.66-12.66	5.02	4.30	3.18	1.37	1.42
cationes intercambiables:						
Ca (meq/100 g)	10.22-27.90	17.53	17.50	4.67	20.47	29.00
Mg (meq/100 g)	1.89-13.25	7.21	5.80	3.94	12.15	14.00
Na (meq/100 g)	0.22-1.62	0.78	0.72	0.40	0.56	1.52
K (meq/100 g)	0.37-4.9	2.11	1.30	1.55	0.74	0.77
CIC (meq/100 g)	35.00-71.00	55.15	56.00	10.39	45.00	43.00
metales totales:						
Cu (ppm)	21.39-76.84	38.36	36.51	13.67	33.00	20.00
Ni (ppm)	31.87-113.10	64.28	54.37	24.76	41.80	38.80
Co (ppm)	12.60-39.00	25.55	26.00	7.41	25.60	30.20
Zn (ppm)	18.81-338.60	105.20	79.86	85.28	54.20	36.10
Cr (ppm)	3.70-59.00	22.81	19.00	14.33	25.00	19.00
Pb (ppm)	0.0-56.64	7.67	0.0	16.52	0.0	0.0
metales disponibles:						
Cu (ppm)	0.57-21.49	7.72	6.87	5.26	10.70	8.30
Ni (ppm)	0.0-14.86	5.95	4.29	4.77	3.00	3.80
Co (ppm)	0.55-11.85	5.25	4.9	3.85	0.0	0.0
Zn (ppm)	0.18-63.50	8.88	1.77	17.64	3.80	3.00
Cr (ppm)	0.22-0.95	0.52	0.50	0.18	0.0	0.0
Pb (ppm)	0.0-22.23	2.57	0.0	6.08	0.0	0.0
PSB (meq/100 g suelos seco)	25.00-91.00	51.36	54.00	15.20	75.00	105
PSI (meq/L)	0.60-6.72	2.99	2.70	1.75	1.65	3.35

PSB - porcentaje de saturación de bases. PSI - porcentaje de sodio intercambiable

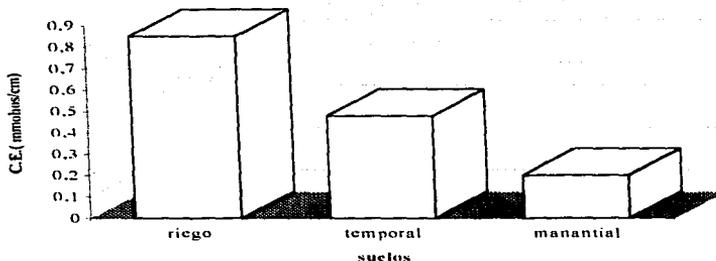


Fig. 3.16. Comparación entre el valor promedio de la conductividad eléctrica de los suelos regados con aguas residuales y los resultados de los suelos regados con aguas de manantial y de temporal

Los resultados de los cloruros y sulfatos también presentan diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$). Los suelos irrigados con aguas residuales, presentaron todos sus valores por arriba de los observados en los suelos de temporal y regados con aguas del manantial, arrojando un valor promedio elevado (Figs. 3.17 y 3.18).

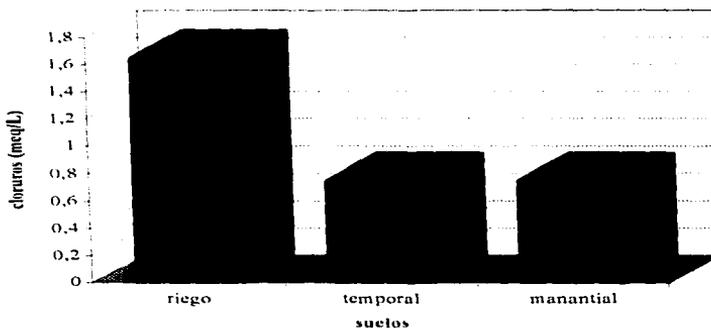


Fig. 3.17. Comparación entre los valores promedio de la concentración de cloruros de los suelos regados con aguas residuales, regados con aguas de manantial y de temporal

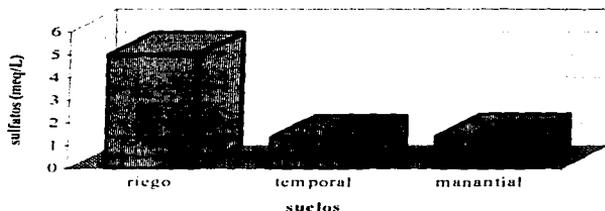


Fig. 3.18. Comparación entre el valor promedio de la concentración de sulfatos de los suelos regados con aguas residuales y los resultados de los suelos regados con aguas de manantial y de temporal

La materia orgánica presentó una tendencia a su incremento en la mayoría de los suelos regados con las aguas tratadas, comparativamente con los suelos irrigados con agua del manantial y de temporal (Fig. 3.19). Este incremento se debe al contenido orgánico de las aguas de riego, indicado por los valores de DQO y DBO. A pesar de ello, la prueba de X^2 reporta que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el contenido de materia orgánica de los suelos.

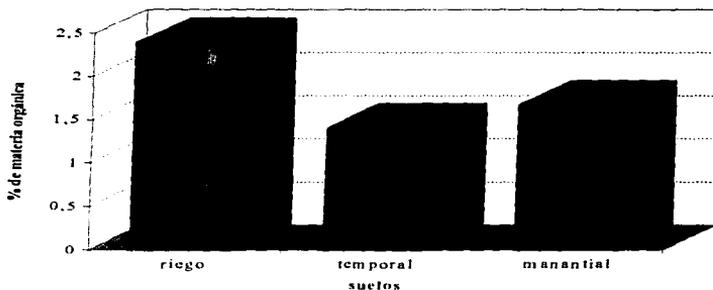


Fig. 3.19. Comparación entre el valor promedio del porcentaje de materia orgánica de los suelos regados con aguas residuales y los resultados de los suelos regados con aguas de manantial y de temporal

Los valores de la capacidad de intercambio catiónico también se han visto incrementados (Fig. 3.20) y en este caso, se presentaron diferencias significativas. El pH de los suelos analizados, varía

de ligeramente ácido a ligeramente alcalino y la prueba estadística reporta que no existen diferencias entre los valores de este parámetro.

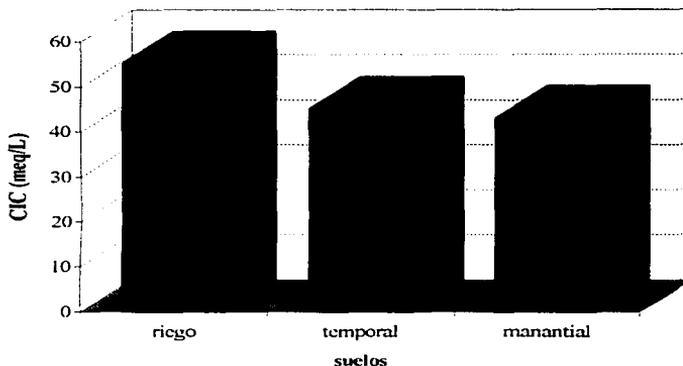


Fig. 3.20. Comparación entre el valor promedio de la capacidad de intercambio catiónico de los suelos regados con aguas residuales y los resultados de los suelos regados con aguas de manantial y de temporal

Respecto a la concentración total de los “metales pesados”, las concentraciones de cobre, níquel, zinc y plomo presentan valores promedio más altos en los suelos regados con aguas residuales y tratadas (Fig. 3.21). Además, los resultados de los metales disponibles, también presentaron valores promedio superiores para níquel, cobalto, zinc, cromo y plomo (Fig. 3.22). La prueba estadística informa una diferencia altamente significativa entre los suelos de temporal y los irrigados con aguas residuales, tanto para metales totales como disponibles.

No obstante, de acuerdo con Lester (1987b) en todos los casos los valores de la concentración de metales pesados, se encuentran dentro del intervalo normal para suelos agrícolas, pero con los resultados obtenidos, se nota una tendencia hacia su acumulación y disponibilidad, por lo que habría que cuidar la calidad de las aguas de riego para minimizar los riesgos de introducción de metales a la cadena alimentaria.

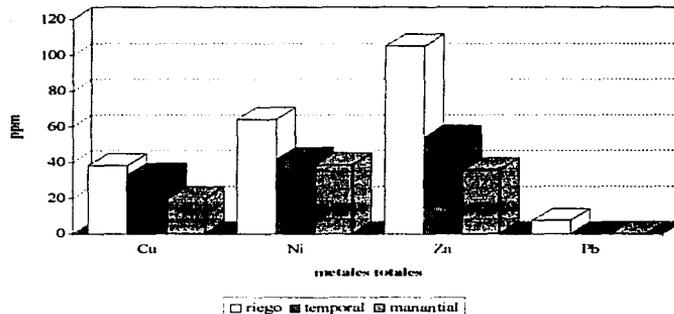


Fig. 3.21. Comparación entre el valor promedio de la concentración de los metales totales de los suelos regados con aguas residuales y los resultados de los suelos regados con aguas de manantial y de temporal

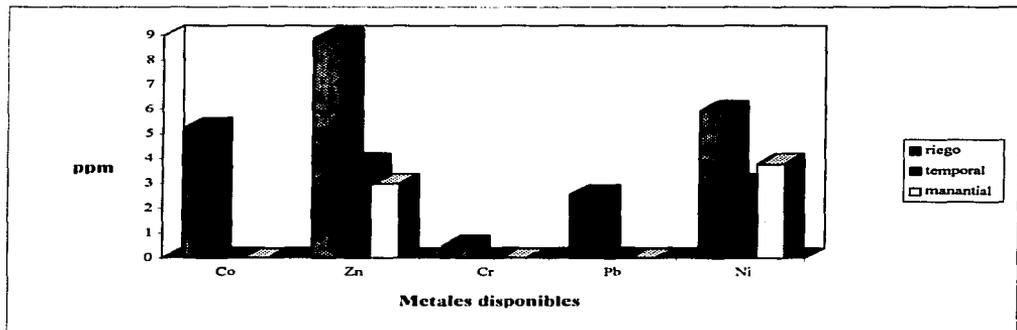


Fig. 3.22 Comparación entre la concentración de los metales disponibles en los tres tipos de suelos

También se presentaron diferencias en el caso de los cationes calcio, magnesio y potasio, aunque el sodio no se vio incrementado por la adición de aguas residuales. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) presentó un valor menor en los suelos de temporal (Fig. 3.23), confirmado con los datos de sodio intercambiable. No obstante, estadísticamente son iguales en todos los suelos analizados, lo que indica que las aguas de riego no han tenido un aporte sustancial de este catión.

El valor promedio del porcentaje de saturación de bases (PSB) de los suelos regados con aguas residuales, fue menor al de temporal (Fig. 3.23), lo que indica la presencia de cationes adsorbidos además de las bases más comunes (sodio, magnesio, calcio y potasio), como pueden ser aluminio, hidrógeno u otros metales.

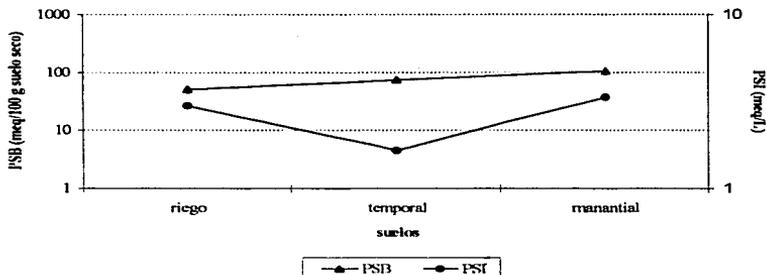


Fig. 3.23. Comparación entre los valores promedio del porcentaje de saturación de bases (PSB) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de los suelos regados con aguas residuales y los irrigados con aguas de manantial y de temporal

3.3. Consideraciones finales

Los resultados obtenidos de los análisis del agua antes y después del tratamiento, así como de aquella que se utiliza para irrigar los suelos de la zona agrícola de Jiutepec y Emiliano Zapata, nos indican que las plantas cultivadas se exponen a la baja calidad del agua de riego, lo que repercute sobre su crecimiento y desarrollo y sobre algunas de las características del suelo. Sin embargo, de acuerdo con los análisis de la capa arable del suelo, no se han presentado cambios sustanciales en sus características físicas y químicas, aún después de recibir las aguas residuales domésticas e industriales por más de 20 años. Estos resultados demuestran su capacidad amortiguadora, de tal manera que no pueden ser causa directa de la disminución de la productividad agrícola.

Con base en los resultados de los análisis del agua y de suelos, se derivan las siguientes observaciones:

- a) El problema principal de la baja calidad del agua, es el contenido de sales disueltas, que las restringe para cultivos de plantas tolerables a las sales. De acuerdo con diversos autores (ver apéndice B), el principal efecto de las sales es osmótico, ya que provocan perturbaciones en el proceso de asimilación de agua y nutrientes, lo que las obliga a llevar a cabo un ajuste osmótico, con la consecuente canalización de una mayor cantidad de energía para este proceso. Con ello se ve afectado sustancialmente su crecimiento, particularmente durante las etapas de germinación y de plántula, con lo que puede presentarse una pérdida parcial o total del cultivo.

- b) La concentración de bacterias coliformes es otro parámetro que limita la utilización de estas aguas, principalmente para cultivos que se consumen crudos o que tengan contacto directo con el agua. Sin embargo, no existen reportes que indiquen que estas bacterias afecten el crecimiento de las plantas. Su presencia representa un problema de salud pública.
- c) Los metales pesados también tienen influencia sobre el crecimiento de las plantas, pero en este caso se encontraron en concentraciones que no rebasan los niveles máximos permitidos por la normatividad ambiental, además de que las concentraciones en suelos se encuentran dentro del intervalo normal, por lo tanto, no pueden ser la causa de un bajo rendimiento agrícola.
- d) El suelo es un ecosistema muy complejo donde se suceden procesos de interacción entre sus diferentes componentes, con las plantas y el agua. Además, se debe tener en cuenta que en la mayoría de los procesos que ocurren en el suelo, participan activamente los microorganismos, principalmente bacterias, los cuales se ven afectados por los compuestos que llegan al suelo a través del agua. Algunos de ellos tienen la capacidad de adaptación a un medio adverso, otros son susceptibles a sustancias que pueden resultar tóxicas.

Por lo tanto, a pesar de que este estudio proporcionó datos acerca de la posible causa del bajo rendimiento agrícola, es conveniente que en estudios posteriores se analicen las diferentes interacciones de manera integral, ya que no se pueden dar conclusiones definitivas únicamente con base en el conocimiento de la composición química del suelo y del agua.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Tratamiento de aguas residuales

- a) El tratamiento biológico a que se someten las aguas residuales que provienen de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, tiene influencia sobre los siguientes parámetros: temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, sólidos sedimentables, DQO, DBO₅, grasas y aceites, SAAM, nitratos, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, fósforo total, calcio, sodio, zinc y níquel. En todos los casos, la estación de la entrada de la planta de tratamiento, registró concentraciones significativamente más altas de estos componentes.
- b) No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el agua residual y la tratada, en lo que se refiere a bacterias coliformes, sólidos, sales disueltas y metales.
- c) Las aguas tratadas vertidas a la barranca “Puente Blanco”, presentaron características que rebasan los niveles máximos permisibles establecidos en la normatividad ambiental mexicana.

4.2. Evaluación de aguas de riego

- a) La estación que se estableció después de la descarga de las aguas tratadas, presentó valores significativamente más altos en todos los parámetros, comparativamente con el resto de los sitios de muestreo, lo que indica que las aguas tratadas que se vierten a la barranca, disminuyen considerablemente la calidad del agua de la misma.
- b) Las aguas que se utilizan para irrigar suelos agrícolas en la zona de estudio, presentan problemas de concentración elevada de sales y de bacterias coliformes, principalmente.
- c) Las aguas residuales utilizadas para riego, no presentan problemas de concentración alta de metales potencialmente tóxicos (metales pesados). Aunque se llegaron a detectar en todas las muestras, su contenido se considera aceptable para riego agrícola, de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.

4.3. Evaluación de suelos

- a) Las aguas residuales no han tenido efecto sobre algunas de las características físicas y químicas del suelo. Tal es el caso del porcentaje de porosidad, la densidad aparente, la densidad real y el pH.
- b) Los resultados de la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros y sulfatos, fueron superiores en los suelos irrigados con aguas residuales y tratadas. Sin embargo, aunque se notó una tendencia al incremento de la salinidad, los suelos aún son aptos para cultivos poco tolerables a las sales.

- c) La materia orgánica presentó un incremento en la mayoría de los suelos regados con las aguas tratadas, comparativamente con los suelos de temporal. Como consecuencia los valores de la capacidad de intercambio catiónico también se incrementaron.
- d) Con respecto a los metales pesados, las concentraciones promedio más altas se encontraron en los suelos irrigados con aguas residuales y tratadas, comparativamente con los de temporal. No obstante, en todos los casos la concentración total y disponible se encuentran dentro del intervalo normal para suelos agrícolas.
- e) En el caso de los cationes calcio, magnesio y potasio, sus concentraciones se incrementaron en los suelos irrigados con las aguas residuales. El valor promedio del porcentaje de saturación de bases (PSB) fue menor al de temporal, lo que indica que puede haber otros cationes adsorbidos además de las bases más comunes (sodio, magnesio, calcio y potasio), como pueden ser aluminio, hidrógeno u otros metales.
- f) La concentración de sodio no se vio incrementada por la adición de aguas residuales. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) presentó un valor menor en los suelos de temporal, confirmado con los datos de sodio intercambiable. No obstante, estadísticamente son iguales en todos los suelos analizados, lo que indica que las aguas de riego no han tenido un aporte sustancial de este catión.

4.4. Recomendaciones

Es importante que se realicen investigaciones posteriores que complementen este trabajo, con la finalidad de plantear soluciones susceptibles de ser aplicadas, antes de que el proceso resulte irreversible. Los estudios que se recomiendan son los siguientes:

- a) Es imprescindible una evaluación más completa de contaminación de suelos, que incluya la descripción y análisis de perfiles, con lo cual se podría detectar una posible acumulación de contaminantes en capas más profundas del suelo. Aunque no estarían en contacto con las raíces de las plantas, serían susceptibles de ser transportados a acuíferos y finalmente introducidos a la cadena alimentaria.
- b) Otros estudios importantes son las pruebas de toxicidad, ya que no existen trabajos sobre la concentración de compuestos orgánicos en aguas y suelos. Estas pruebas son más prácticas, comparativamente con el análisis de todas las sustancias orgánicas enlistadas en la normatividad ambiental.
- c) Además, es indispensable el establecimiento de parcelas experimentales que permitan comprobar el efecto de las sales disueltas en el agua de riego sobre el crecimiento y desarrollo de diferentes especies de plantas, así como en su rendimiento agrícola.

5. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, S. (1990) Dimensiones ecológicas del Estado de Morelos. CRIM, UNAM. Cuernavaca, Morelos, México, 221 pp.
- Aguirre, A. (1993) Química de los suelos salinos y sódicos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 130 pp.
- APHA, AWWA, WPCF (1989) Standard methods for the examination of water and waste water. 17a. edición, Washington, U.S.A. 912 pp.
- Avnimelech, Y., Shkedy, D., Kochva, M. y Yotal, Y. (1994) The Use of Compost For the Reclamation of Saline and Alkaline Soils. *Compost Science and Utilization*, 2, 6-11.
- Badger, D. and Thomason D.E. (1987). Economic and Environmental Impacts of Using Municipal Sewage Effluent for Agricultural Production. En: Ground Water Quality and Agricultural Practices. Fairchild D.M., Ed., Lewis Pub. U.S.A. pp 111-126.
- Barrera, R. (1991) La contaminación de los principales cauces del estado de Morelos. En: El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. pp 159-172.
- Barth, F., Ettinger, B., Salotto, V. y McDermost, N. (1965) Summary report on the effects of heavy metals on the biological treatment processes. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 37, 86
- Baxter, C., Aguilar, M. y Brown, K. (1983). Heavy Metals and persistents organics at the sewage sludge disposal site. *J. Environ. Qual.* 12, 3, p. 311-316.
- Bloomfield, C. y McGareth, P. (1982) A comparison of the extractabilities of Zn, Cu, Ni and Cu from sewage sludges prepared by treating raw sewage with the metal salts before and after anaerobic digestion. *Environ. Pollut.*, 193.
- Bohn, H. (1993) Química del suelo. Limusa Noriega Editores. México, D.F. 370 pp.
- Bolt, H. (1978). Soil chemistry. A basic elements. 2a. Ed. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, Holanda.
- Bowen, M. (1977). Residence times of heavy metals in environment. En: Hutchinson, L. (ed). *Proc. Inter. Conf. on heavy metals in the environment*, Toronto. Institute for Environmental Studies, Univ. of Toronto. Toronto, Ontario. Canada.
- Boyás J. (1992). Determinación de la productividad, composición y estructura de las comunidades arbóreas del estado de Morelos en base a unidades ecológicas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- Boyás J. (1994). Aspectos generales sobre la selva baja caducifolia de México. Memorias de la I Reunión Nacional sobre Selva Baja Caducifolia. "El otro recurso" Cuernavaca, Mor.
- Cámara, O.; Bórquez, R. y Ruiz, I. (1992). Reuso integral de las aguas residuales agrícolas y urbanas en el riego de suelos marginados en el valle del Yaqui, Son. Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. Cocoyoc, Morelos. México. Capítulo III, subtema reuso.
- CNA (1993). Informe anual del programa agua limpia. Gerencia Estatal Morelos. Subgerencia de Administración del agua. Departamento de Calidad, Reuso del Agua e Impacto Ambiental. Cuernavaca, Mor., México.
- Cortés, A. y Vázquez, E (1991) Frontera hidrogeológica entre la Cuenca de México y los Valles del estado de Morelos En: El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. pp 59-91

- Corza, S. (1994) Ha definido la CNA cuatro valles como acuíferos en el estado. El Sol de Cuernavaca. p 11A. Cuernavaca, Morelos.
- Davis, L. y Cornwell, A. (1991) Introduction to environmental engineering. McGraw-Hill Internacional. Singapore. 588 pp.
- DETENAL (1977a). Carta urbana de uso actual 1:100,000 Emiliano Zapata, Mor. E14A59-43.
- DETENAL (1977b). Carta urbana de uso actual 1:100,000 Villa de Jiutepec, Mor. E14A59-33.
- Diario Oficial de la Federación (2 de diciembre de 1989). Criterios Ecológicos de Calidad del agua. CE-CCA-001/89. Tomo CDXXX No.9. México, D.F. pp 7-28.
- Díaz, G. (1988). Informe del impacto de las sustancias tóxicas en el recurso hidráulico. SARH. Cuernavaca, Morelos. 47 pp
- Fassbender, H. (1986) Química de Suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 328 pp
- FitzPatrick, E. (1984) Suelos. su formación, clasificación y distribución. CECSA. México, D.F. México. 430 pp
- Foth, H. (1978) Fundamentals of Soil Science. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A. 436 pp
- Fries, F. (1982). Potencial polichlorinated biphenil residues in animal products from application of contaminated sewage sludge to land. J. Environ. Qual. 11, 14-20.
- Gleick, P. (1993) Water in Crisis. A Guide to the World's Fresh Water Resources. Oxford University Press. New York. U.S.A. 493 pp
- Gobierno del estado de Morelos (1993) Agenda estadística 1991. Secretaría de Programación y Finanzas. Dirección General de Programación y Evaluación. Cuernavaca, Morelos, México. 261 pp.
- González, T. y Rodríguez, R. (1991). Algunas consideraciones sobre las principales fuentes de contaminación en el valle de Cuernavaca, Morelos. En: El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. pp 133-140.
- Guerrero, M. (1993). Suelos agropecuarios del estado de Morelos. Producción y rendimientos. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuernavaca, Morelos, México. 318 pp.
- Gutiérrez, M.E. (1982). Estudio del contenido de iones inorgánicos y sus interacciones en suelos y plantas de los Distritos de riego 03 y 88. Tesis de Maestría. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 251 pp.
- Gutiérrez-Ruiz, M.E.; Siebe, Ch.; and Sommer, I. (1995). Effects of land application of wastewater from México City on soil fertility and heavy metal accumulation: a bibliographical review. Environ. Rev. 3, 318-330
- Herrera, L. (1980) Uso de las aguas residuales municipales en irrigación agrícola. Tesis de Maestría en Ingeniería Sanitaria. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 47 pp.
- Hilleboe, D. (1986) Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Departamento de Sanidad de Nueva York. Ed. Limusa. México, D.F. México.
- INEGI (1979). X Censo Industrial 1976. (Datos de 1975). México, D. F. México.
- INEGI (1990a) Síntesis Geográfica del Estado de Morelos. Cuernavaca, Mor. México. 110 pp.
- INEGI (1990b) Morelos. Cuaderno de Información para la Planeación. Ags. México. 243 pp.

- INEGI (1990c) Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Edición 1990. Gobierno del Estado de Morelos. Ags. México. 209 pp.
- INEGI (1992) Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Edición 1992. Gobierno del Estado de Morelos. Ags. México. 210 pp.
- INEGI (1993a) Anuario Estadístico del Estado de Morelos. Edición 1993. Gobierno del Estado de Morelos. Ags. México. 360 pp.
- INEGI (1993b) Jiutepec. Estado de Morelos. Cuaderno Estadístico Municipal. Gobierno del Estado de Morelos. H. Ayuntamiento Constitucional de Cuernavaca. Ags. México. 110 pp.
- INEGI (1994) Morelos. Síntesis de Resultados. XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Ags. México. 292 pp.
- Iturbe, R. (1986) Salinidad y Disposición de Aguas Residuales en Suelos. Series del Instituto de Ingeniería, No. 500, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 57 pp.
- Jaimes-Palomera, R. y Cortés, A. (1991) Hidrogeología de las cuencas de los ríos Apatlaco y Yautepec, región noroccidental del estado de Morelos. En: El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. pp 93-118.
- Laboratorio de Salinidad de los E.U.A. (1982) Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. LIMUSA. México. 172 pp.
- Lester, N. (1987a) Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. Vol. I. Sources, Analysis and Legislation. CRC Press, Inc. Florida, U.S.A. 183 pp.
- Lester, N. (1987b) Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. Vol. II. Treatment and Disposal. CRC Press, Inc. Florida, U.S.A. 155 pp.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1991). Ediciones Delma, México, D.F. México. 170 pp.
- Luna, R. y Bórquez R. (1991) "Evaluación de diferentes fraccionamientos de una lámina de lavado en suelos ensalitrados, utilizando agua residual agrícola" ITSON-DIEP 1(2):43-54.
- McBride, M. (1994) Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press. Oxford, U.S.A. 406 pp.
- Metcalfe y Eddy (1987) Tratamiento y Depuración de aguas residuales. Ed. Labor, S.A. Barcelona, España. 837 pp.
- Neufeld, D. y Hermann, R. (1975) Heavy metal removal in acclimated activated sludge. Water Res. 2, 811.
- Ortiz, F., Cortina. y Maffey, G. (1987) Manejo de desechos Industriales peligrosos en México. Colección Medio Ambiente. Univero Veintiuno. México D.F. México.
- Ortiz, L. (1986) Manual de técnicas y procedimientos para análisis físicos y químicos de suelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 203 pp.
- Ortiz, L. (1994) Caracterización y propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de Civac, Estado de Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 146 pp.
- Ortiz, L.; Sánchez, E. y Gutiérrez, .E. (1993) Análisis de Suelos. Fundamentos y Técnicas. Parte I. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 104 pp.
- Ortiz, L.; Sánchez, E. y Gutiérrez, .E. (1993) Análisis de Suelos. Fundamentos y Técnicas. Parte II. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México. 143 pp.

- Page, L.; Thomas, G.; Smith, E.; Iskandar, K. and Sommers (1983). Utilización of municipal wastewater and sludge on land. University of California, Riverside, CA. U.S.A. 480 pp.
- Perkin Elmer (1977) Analytical methods for atomic absorption. Handbook of Management. U.S.A. 123 pp.
- Purves, D. (1977) Trace-elements contamination of the environmental. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Ramírez, C. (1990) Alteración de la calidad del agua en el cauce de la barranca Tlahuapan por efecto de la descarga de la planta de tratamiento de Ecceaviv. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México. 193 pp.
- Ruiz, I. (1992). Comportamiento de gramíneas forrajeras en suelos salinos regados con agua residual agrícola del Valle del Yaqui. Informe Técnico Mimeografiado ITSON-DIEP, Cd. Obregón, México. 35 pp.
- SARH (1979) Reuso del agua en la agricultura, la industria, los municipios y en la recarga de acuíferos. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. 132 pp.
- SARH (1980 a) Clasificación de los ríos Apatlaco, Yautepec y Cuautla, cuenca del río Amacuzac en el estado de Morelos. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México.
- SARH (1980 b) Distrito de Control de la Contaminación del agua en la Zona de Civac Primer Distrito en México. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica y Gobierno del estado de Morelos. México. 9 pp.
- SARH (1990). Los distritos de riego en México. México. pp 197-204
- Secretaría de Gobernación (1988). Los municipios de Morelos. Gobierno del Estado de Morelos. Centro Nacional de Estudios Municipales. México. 137 pp.
- SEDUE (1988) Control de la Contaminación del Agua. Programa Nacional de Capacitación Ambiental. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. México, D.F. México. 365 pp.
- SEDUE (1991) Norma Técnica Ecológica NTE-CCA-032/91. Gaceta Ecológica, septiembre, pp 22-26.
- SEDESOL (1994a). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031/1993. Gaceta Ecológica. 6, 28: 30-34
- SEDESOL (1994b). Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-032/1993. Gaceta Ecológica. 6, 28: 35-38
- SPP (1983a). Carta Edafológica 1:50 000. Cuernavaca E14A59. Dirección General de Geografía. México.
- SPP (1983b). Carta Urbana 1:10,000. Zona Metropolitana de Cuernavaca. Hoja 6/6. Comisión de Conurbación del Centro del País. Dirección General de Geografía. México.
- SPP (1982) Manual de Estadísticas Básicas del Estado de Morelos. Tomo 1. Gobierno del Estado de Morelos. 372 pp.
- SRH (1963) Infiltración artificial en la cuenca del Valle de México. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. México, D.F. México. 34 pp.
- SRH (1972) Estudio para la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac. Vol. II. Subsecretaría de Planeación. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México México, D.F. México. 74 pp.

- SRH (1973) Estudio de la calidad del agua en la cuenca del alto Amacuzac. (Segunda Etapa) Vol. I. Subsecretaría de Planeación. México, D.F. México. 74 pp.
- SRH (1974a) Análisis preliminar de las obras de tratamiento de aguas residuales y desechos industriales generados en Civac y zonas aledañas, estado de Morelos Subsecretaría de Planeación. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental S.A. México, D.F. México. 16 pp.
- SRH (1974b) Estudios de la calidad del agua en algunos ríos de la República Mexicana. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. México. pp 1-11.
- SRH (1975a) Diseño del sistema de tratamiento para el control de la contaminación del agua en la zona de Civac, Morelos. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S. A. y Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. México. 35 pp.
- SRH (1975b) Estudio económico financiero para el distrito de control de la calidad del agua de la zona de Civac. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A. y Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. México. 20 pp.
- SRH (1975c) Diseño del sistema de colección para el control de la contaminación del agua en la zona de Civac, Morelos. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental, S.A. y Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación. México. 35 pp.
- SRH (1976) Reuso del agua en la agricultura, la industria, los municipios y en la recarga de acuíferos. (Tercera Etapa) Subsecretaría de Planeación. Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental S.A. México, D.F. México. 30 pp.
- Talavera M.(1994) Consideraciones Generales en Relación a los Usos del Agua, Aguas Residuales y su Normatividad. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Morelos. Cuernavaca, Mor. 9 pp.
- Tisdale, S. y Nelson, W. (1982) Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Ed. UTEHA. México. 760 pp.
- Valenzuela, L. y Uvalle, J. Caracterización de las aguas residuales con fines agrícolas, en Hermosillo, Sonora. Memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, A.C. Cocoyoc, Morelos. México. Capítulo III, subtema reuso.
- Vidal, R. (1980). Algunas relaciones clima-cultivos en el estado de Morelos. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 95 pp.
- Zalazar, C. (1991). Tratamiento de los desechos líquidos industriales en el Distrito de Control de la Contaminación del Agua en la zona de Civac. En: El recurso agua en el estado de Morelos y problemas de su contaminación. CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. pp 181-186.

APÉNDICES

APÉNDICE A

PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

A.1. Situación inicial

A.1.1. Tipo de efluente generado y destino inicial

Los diversos giros de las industrias establecidas en la Cívac originan descargas de aguas residuales de muy variada composición. Las aguas residuales generadas en Cívac se colectaban mediante un sistema de drenaje combinado, con tres colectores principales que conducían las descargas hasta cauces naturales (barranca de Rivetex, la del Rastro Municipal, la Gachupina y la barranca Tlahuapan), en donde el agua escurría siguiendo la pendiente norte-sur del terreno hasta donde era aprovechada para riego agrícola (Fig. 1.4).

A la barranca Rivetex, formada en la época de estiaje se vertían las descargas de la colonia Flores Magón y los desechos industriales de las fábricas Rivetex e Industria Automotriz de Cuernavaca (IACSA) ya desaparecida. El 80% de su caudal se infiltraba en el terreno y un 20% se aprovechaba para riego agrícola; mientras que, el Rastro Municipal descargaba sus aguas residuales a la barranca que lleva su nombre y que también se formaba en época de estiaje por esas aguas residuales, infiltrándose en su totalidad en el terreno (SARH, 1980b).

Packsa S.A., Mosaicos Venecianos S.A. y los Almacenes Nacionales de Deposito de PEMEX, descargaban sus efluentes a la barranca Tlahuapan; aguas abajo descargaban los colectores I y II de Cívac, con las aportaciones de las aguas residuales de las industrias que se muestran en el cuadro A.1.

Cuadro A.1. Industrias conectadas a los colectores I y II (SARH, 1980b)

COLECTOR I	COLECTOR II
Química Mexama S.A.	Nissan Mexicana S.A.
Esquim S.A.	Syntex S.A.
Laboratorios Julian S.A.	Textiles del Valle de Cuernavaca
Ponds S.A.	Descarga municipal de Tlahuapan
Cristianson S.A. de C.V.*	Laboratorios Lepetit S.A.*

*descarga futura.

En la misma barranca Tlahuapan, a la descarga del colector II, se le adicionaban 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 (SARH, 1980b y Ramírez, 1990).

Por su parte la barranca la Gachupina recibía las descargas residuales de la zona habitacional de Cívac y de las siguientes industrias: Ks de Morelos S.A.; Refacciones Textiles Suero S.A.; Refrigeración de Morelos; Orsabe S.A.; Tamaçani S.A.; Poligal 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. y Veco S.A. Esta misma barranca recibía, a la altura de Tejalpa, la descarga del colector III con las aportaciones del poblado del mismo nombre y de la Industria Química Morelos, S.A. La barranca la Gachupina recibía, aguas abajo, directamente las descargas de aguas residuales de las fábricas Hilados Morelos S.A. y Casa de los Gallos S.A.

La fábrica Textiles de Morelos S.A. de C.V., en su 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 cuyas aguas se utilizan para riego agrícola y para dotar de agua potable a 6 poblados con aproximadamente 18,512 habitantes a través de los sistemas Atlacholoya y Emiliano Zapata (SARH, 1980b).

Con el objeto de estimar los volúmenes de aguas residuales vertidos a cada una de las barrancas, así como la carga orgánica medida como demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales, se elaboró el cuadro A.2., con datos publicados en los primeros estudios de calidad del agua descritos más adelante en esta misma sección (Ramírez, 1990).

Estos resultados muestran que la barranca que recibía la mayor cantidad de aguas residuales industriales era la de Tlahuapan y, en segundo lugar, la de la Gachupina. Los caudales más importantes provenían de los tres colectores de Civac, descargados a esas mismas barrancas.

Cuadro A.2. Valores promedio de las descargas vertidas en las barrancas (Ramírez, 1990)

BARRANCA	DESCARGA	GASTO m ³ /día	DQO ton/día	SST ton/día
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-John	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
Refrigeración de Morelos		130	0.011	0.010
Orsabe S.A.		432	1.279	0.031
Poligal Mex. S.A.		544	0.544	0.068
Electrocaps S.A.		60	0.022	0.004
Veco S.A.		60	0.007	0.006
Hilados de Morelos		181	0.097	0.019
Textiles de Morelos		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		

DQO = demanda química de oxígeno y SST = sólidos suspendidos totales.

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

A.1.2. Calidad del agua

La calidad de las aguas residuales industriales han sido estudiadas desde 1972. El cuadro A.3 expresa los resultados de 11 parámetros analizados a las aguas de los tres colectores y a la barranca Tlahuapan, en el año de 1972. Pueden destacarse los valores altos de pH, DBO₅, DQO, sólidos (en todas sus formas) y nitratos. Por el contrario, el oxígeno disuelto en el agua fue muy bajo. Con excepción del pH, todos los parámetros no se ajustarían con los límites establecidos en la normatividad ambiental mexicana.

Por otro lado, existen otros parámetros importantes en dicha normatividad, que no se determinaron, tales como los metales, la conductividad eléctrica, los coliformes fecales y otros parámetros de salinidad.

Cuadro A.3. Valores promedio de las aguas residuales de la Civac (SRH 1972)

PARÁMETRO	COLECTOR I	COLECTOR II	COLECTOR III	BARRANCA TLAHUAPAN
Temperatura (°C)	35	29	21.4	28
pH	4.6	5.1	7.5	6.76
OD (mg/L)	0.6	1.4	3.8	0.6
DBO ₅ (mg/L)	1466	1839	182	1399
DQO (mg/L)	3135	2638	827	2965
ST (mg/L)	3844	2341	3983	2718
STF (mg/L)	2187	1058	3433	1706
STV (mg/L)	1657	1220	550	1341
SST (mg/L)	366	261	529	180
SSF (mg/L)	86	95	297	51
SSV (mg/L)	280	164	232	219
SDT (mg/L)	3478	2016	3456	2866
SDF (mg/L)	2037	957	3102	1669
SDV (mg/L)	1378	1082	319	1295
N-NH ₃ (mg/L)	30.34	18.77	32.31	31.24
N-NO ₃ (mg/L)	2.35	2.68	0.41	3.31
PO ₄ (mg/L)	2.77	5.54	2.54	2.64

OD = oxígeno disuelto; DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno; ST = sólidos totales; STF = sólidos totales flotantes; STV = sólidos totales volátiles; SST = sólidos suspendidos totales; SSF = sólidos suspendidos flotantes; SSV = sólidos suspendidos volátiles SDT = sólidos disueltos totales; SDF = sólidos disueltos flotantes y SDV = sólidos disueltos volátiles

Para la zona que corresponde al valle de Cuernavaca, se han realizado varios estudios adicionales, los cuales sirvieron como base para tomar decisiones posteriores, con la finalidad de controlar la contaminación del agua. Estos estudios se resumen en el cuadro A.4. Estos estudios justificaron la necesidad de planear una planta de tratamiento, ya que el rendimiento de los cultivos agrícolas en la zona, se vieron disminuidos considerablemente.

Cuadro A.4. Estudios que se han llevado a cabo para la calidad del agua del valle de Cuernavaca

ESTUDIO REALIZADO POR	AÑO	TIPO DE ESTUDIO	OBSERVACIONES
SRH	1973	análisis de aguas de los tres colectores (25 estaciones)	todos los parámetros fuera de norma; las grasas y aceites y el pH alto son los responsables de la baja producción agrícola
SRH	1974a	análisis de aguas en 15 estaciones de muestreo	proponen un control de las descargas de aguas contaminadas
SRH	1974b	calidad de aguas del río Apatlaco con sus afluencias de las barrancas Tlahuapan, Rastro Municipal y La Gachupina	proponen un tratamiento común entre aguas municipales y las industrias de Civac
SRH	1975a	técnico-económico	se discuten aspectos técnicos y económicos para decidir la ubicación de una planta de tratamiento
SRH	1975b	económico	financiamiento y amortización de la inversión
SRH	1976	riesgos de afectación a suelos y rendimientos agrícolas a través de análisis de aguas	la alta conductividad eléctrica del agua, puede causar efectos por salinidad
SARH	1979	calidad de agua residual	alto contenido de materia orgánica, sales y sustancias tóxicas, altas temperaturas. Sólo apta para cultivos tolerantes

En el cuadro A.5 se presentan las características agronómicas para el agua de los colectores, de las cuales destacan, especialmente, aquellas relacionadas con la salinidad. Al comparar esos resultados con los criterios que fijan la calidad del agua para riego, surgen las observaciones del mismo cuadro.

Cuadro A.5. Calidad agronómica de las aguas residuales industriales de los colectores I y II de la Eccaciv (Ramírez, 1990) y SARH, 1976)

PARÁMETROS	VALORES	OBSERVACIONES
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	2390.00	fuera de norma
Salinidad efectiva (meq/L)	13.70	agua condicionada para riego
Salinidad potencial (meq/L)	9.60	agua condicionada para riego
Relación de adsorción de sodio (RAS)	6.10	agua de buena calidad
Carbonato de sodio residual (meq/L)	3.40	calidad inadecuada del agua
Por ciento de sodio posible (PSP)	52.00	calidad condicionada
Clasificación	C ₄ -S ₁	el agua puede causar altos efectos por salinidad y bajos efectos por sodicidad

A.2. Situación actual

A.2.1. Fundación de la Eccaciv como solución

El marco jurídico para controlar la contaminación ambiental se estableció por primera vez en México con la Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, misma 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.

El Gobierno del estado de Morelos y la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), tomaron como base esta legislación para hacer frente a los problemas de contaminación en el valle de Cuernavaca. Después de varios estudios, se recomendó la necesidad de fijar condiciones particulares de descarga y exigir el tratamiento del agua por parte de los responsables. Fue así como se acordó la instalación de una planta de tratamiento en el municipio de Jiutepec, junto a la barranca Tlahuapan, ya que la morfología del terreno permitiría hacer llegar las aguas residuales por gravedad.

El primer distrito para el control de la calidad del agua, se estableció formalmente en el año de 1975. Se formó con los efluentes de industrias de Civac y de las zonas aledañas, cinco fraccionamientos y tres poblados vecinos, que cuentan con red de alcantarillado, aportando aguas residuales de origen doméstico a la planta de tratamiento. Del total de usuarios del distrito, tan sólo 10 del sector industrial harían uso del 95% del sistema de tratamiento predominando las industrias químicas de tipo orgánico y las textiles (Zalazar, 1991).

El Distrito cuenta 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.

En enero de 1979 se iniciaron las operaciones de la planta de tratamiento, tal como se proyectó, la planta recibe las descargas de Civac y de otras industrias importantes situadas en su cercanía, además de las aguas residuales domésticas de diversos fraccionamientos (SARH, 1980b).

A.2.2 Sistema colector

La Eccaciv cuenta con un sistema de colectores que captan los efluentes de la mayor parte de la zona industrial para conducirlos hasta la planta de tratamiento.

El sistema de recolección de aguas residuales quedó constituido por dos "intersiduales" (interceptores de las aguas) denominados Rivetex y Gachupina, con una longitud aproximada de 3.2 y 6.5 km, respectivamente, los cuales se unen a un emisor de 2.2 km que se conecta a la planta de tratamiento. Actualmente, las aguas que se generan en Civac antes de ser descargados al Ramal Gachupina, son colectadas por un sistema de alcantarillado separado que forma parte de las obras del Distrito, con una longitud de 3 km.

El diseño del sistema colector se planeó para la instalación futura de industrias y fraccionamientos cuya construcción estaba contemplada a corto plazo. El diámetro de los tubos de concreto en el origen de las descargas fue de 30 cm, en la primera parte de los interceptores de 45 cm, en la segunda parte, donde se conectan con el emisor de la planta de tratamiento de 60 cm y el propio emisor de 76 cm, todos de acuerdo al caudal máximo esperado.

Las características hidráulicas para el interceptor Rivetex fueron: capacidad máxima del tubo lleno de 155 a 1500 L/seg., el escurrimiento máximo calculado de 26 a 269 L/seg y el escurrimiento mínimo de 1.85 a 140 L/seg. El cálculo hidráulico para el interceptor de la Gachupina muestra una capacidad máxima del tubo lleno de 385 a 1000 L/seg. y un escurrimiento máximo de 88 a 260 L/seg., con un escurrimiento mínimo de 7.79 a 53 L/seg. (SARH, 1975).

Para 1983, llegaban a la planta de tratamiento los efluentes de 64 industrias (cuadro A.6), y las aguas residuales domésticas provenientes de los poblados de Tlahuapan, Progreso y Tejalpa, de los fraccionamientos Villas del Descanso, Pedregal de las Fuente y la Palma, así como de las unidades habitacionales las Rosas e Insurgentes. Todas estas descargas aportaban un caudal promedio de 180 L/seg, con poca variación diaria. La diversidad de industrias y la falta de un pretratamiento en el lugar de origen de las aguas residuales, producen efluentes de composición extremadamente variable; sin embargo, se consideró que las aguas residuales de origen doméstico (35% del caudal) mantuviera el proceso biológico y amortiguara los cambios bruscos en su composición (Ortiz, 1994 y Ramirez, 1990).

A.2.3. Características específicas de la planta de tratamiento

Las empresas que actualmente utilizan los servicios de la Eccaciv se encuentran descritas en el cuadro A.6 así como el giro al que se dedican. Todas ellas se encuentran conectadas a la planta tratadora por medio de intersiduales y un colector general, para enviar sus aguas contaminadas hasta las compuertas que controlan la entrada de líquido a la planta. Estas compuertas también pueden modificar el curso de las aguas desviándolas sin tratamiento hacia la barranca Tlahuapan.

El tratamiento se inicia (Fig. A.1), con el paso de las aguas a través de rejillas de aproximadamente tres centímetros por lado para retener los residuos sólidos flotantes. Enseguida el agua pasa por los desarenadores que funcionan alternadamente; de aquí pasa a los tanques de sedimentación primaria, donde se separa por gravedad la fracción sedimentable de los sólidos que contienen dichas aguas (70 % materia inorgánica y 30 % orgánica), los que se acumulan en tolvas colocadas en los extremos de los tanques, por la acción mecánica de rastras de madera.

Los lodos crudos así depositados, se extraen de los tanques por gravedad y carga hidráulica, y se conducen al tanque digestor de lodos para su tratamiento; el agua efluente de los sedimentadores primarios pasa a los tanques de regulación, los cuales funcionan como reguladores de flujo, con un gasto de 215 litros por segundo y con una tolerancia de mas o menos 20 litros por segundo.

Cuadro A.6. Industrias que utilizan los servicios de la Eccaciv (CNA, 1993)

INDUSTRIA	GIRO	GASTO L/seg
ASINEC S.A.	planta de tratamiento de aguas	0.18
ABEM CONTROLES S.A	elaboración de alambres	0.05
ACABADORA DE GASA S.A.	blanqueado de fibras textiles	---
ALUCAPS MEXICANA S.A.	fabricación de artículos de plástico	0.434
ALUPLAST S.A. de C.V.	fabricación de artículos de plástico	0.306
AVÍOS/TELARES S.A. de C.V.	fabricación de productos metálicos	---
BASF VITAMINAS S.A. de C.V.	industria química	---
BEECHMAM DE MÉXICO S.A. de C.V.	fabricación de perfumes y cosméticos.	1.40
BUCKMAN LABORAT. S.A. de C.V.	fábrica de productos químicos	0.006
CABLES AUTOMOTRICES S.A.	elaboración de alambres	---
CEMENTOS PORTLAND S.A. de C.V.	fabricación de cemento, cal, yeso	0.014
CERILLERA MORELENSE S.A.	fábrica de cerillos y fósforos	0.009
CHRISTIANSON S.A. de C.V.	fábrica de petroquímicos básicos	0.26
COLOIDE MEXICANA S.A. de C.V.	fábrica de accesorios y suministros	1.80
COLORANTES XOCHI S.A. de C.V.	colorantes y pigmentos	0.05
CONVERSE ESTRELLA S.A. de C.V.	calzado de tela con suela de hule	0.100
DOMINIC'S S.A. de C.V.	reparación de maquinas eléctricas	0.006
ESQUIM S.A. de C.V.	industria química	3.00
EMAPRIM S.A. de C.V.	industria química	0.05
GIVAUDAN DE MÉXICO S.A. de C.V.	aditivos para alimentos	2.44
GRÁFICA INDUSTRIAL MEXICANA S.A. de C.V.	placas litográficas	0.30
HAZEL AZTECA S.A. de C.V.	productos de cuero y piel	5.80
INDUSTRIAS PARMAL S.A. de C.V.	perfumería, cosméticos y artículos de tocador	0.264
JUNTAS DE EXPANS S.A. de C.V.	productos metálicos	0.004
KS DE MORELOS S.A. de C.V.	artículos de plástico	0.228
LABORATORIOS IMPERIALES S.A. de C.V.	productos farmacéuticos y medicamentos	0.277
LABORATORIOS JULIAN S.A. de C.V.	productos químicos	4.44
LABORATORIOS LÉPETIT S.A. de C.V.	productos farmacéuticos y medicamentos	0.40
METAL KEMM S.A. de C.V.	artículos de plástico	1.00
MOLÉCULAS REARREGLADAS DE MÉXICO	productos manufacturados no clasificados	---
NEC DE MÉXICO S.A. de C.V.	ensambles partes electrónicas	0.160
NACIONAL ALGODONERA S.A. de C.V.	industrialización de algodón	0.003
NISSAN MEXICANA S.A. de C.V.	ensamble de automóviles	17.20
NOBILIS LEES S.A. de C.V.	fibras textiles	7.48
ORSABE S.A. de C.V.	productos químicos	1.41
PENNWALT S.A. de C.V.	productos químicos	0.41
PRINTEK S.A. de C.V.	películas/estambres color	0.065
PARKER MEXICANA S.A. de C.V.	artículos de escritura	---
PHARMA-TAP S.A. de C.V.	productos de hule y plástico	0.30
POLIGAE MEXICANA S.A.	fábrica de hilos	1.50
POND'S DE MÉXICO S.A. de C.V.	perfumería, cosméticos y artículos de tocador	2.46
PORCELANA DE CUERNAVACA S.A. de C.V.	artículos de porcelana	0.20
PROCESADORA DE AVES S.A. de C.V.	matanza y procesamiento de aves	1.81
PRODUCTOS ALIMENTICIOS EL SUPREMO	cereales y otros granos	0.003
QUÍMICA MEXAMA S.A. de C.V.	productos químicos	57.55
RAFFIA S.A. de C.V.	materiales y artículos de plástico	0.006

Continúa cuadro A.6

REQUIMEX S.A. de C.V.	productos químicos	0.80
SELEMEX S.A. de C.V.	película de polivinilo	1.10
SYNTEX S.A. de C.V.	productos químicos	13.00
TAMACANI S.A.	fibras textiles	0.125
TELEGABINETES DE MÉXICO S.A.	muebles de madera	0.03
TERMOHIDRAULICA S.A. de C.V.	instalación y reparación de equipo hidráulico	0.025
TEXTILES SAN ANDRÉS	fibras textiles	4.95
UPJOHN S.A. de C.V.	productos farmacéuticos y medicamentos	0.85
VECO S.A. de C.V.	equipos para purificación de aire	0.01
VALVULAS JET S.A. de C.V.	válvulas de mariposa	---
WESTFALIA SEPARATOR MEXICANA	maquinaria para la industria alimentaria	0.03
	TOTAL*	130.51

*La cantidad total que se muestra al final del cuadro, corresponde a 57 industrias, de las cuales no se reporta el gasto de 7 de ellas. Sin embargo, de acuerdo a los datos reportados por la CNA (1993), se encuentran conectadas a la Ecccav un total de 63 empresas, sin que aporte los datos de las 13 industrias restantes que aquí no se incluyen. Asimismo, reporta que la planta tiene una capacidad instalada de 17,280 m³/día, con un volumen actual de tratamiento de 16,416 m³/día (la suma de las empresas que aquí se presentan, arroja una cantidad de 130.51 L/seg, que equivalen a 11,276.15 m³/día).

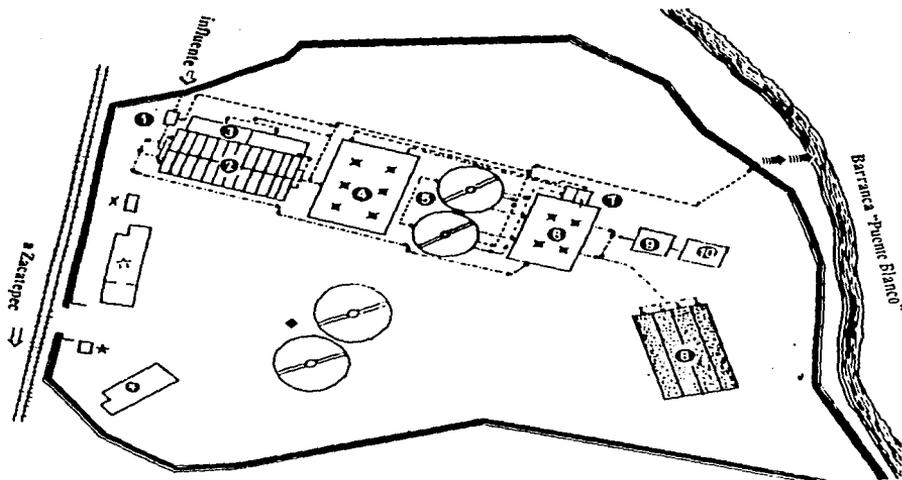
Asimismo, las rastras de madera remueven la materia flotante, como grasas y aceites, las que son recolectadas en unas canaletas al final de cada unidad. La eficiencia de remoción de materia orgánica es del 20 % aproximadamente y de 80 % en grasas y aceites.

En los tanques amortiguadores se inicia la aireación del agua y se realiza la inoculación de microorganismos mediante la recirculación de lodos biológicos activados. El tratamiento biológico de las aguas ocurre esencialmente en el tanque de aireación y en esta etapa se reduce la demanda bioquímica de oxígeno. En menor proporción ocurre oxidación directa de compuestos orgánicos e inorgánicos y se reduce la demanda química de oxígeno.

Por medios mecánicos se propicia la transferencia de oxígeno entre el aire y el agua. Esta aireación es necesaria para la supervivencia de los microorganismos aerobios y su actuación sobre la materia orgánica contenida en el agua residual. Además, proporciona el mezclado del reactor.

Para finalizar el tratamiento, las aguas pasan a través de sedimentadores secundarios donde los microorganismos se aglutinan con algunos metales, se separan del flujo y se sedimentan. De esta manera, resultan aguas tratadas y lodos residuales.

El efluente tratado se descarga a la barranca Tlahuapan donde se mezcla con aguas de origen doméstico, industrial y de retorno agrícola de las localidades de Tejalpa, Tlahuapan y Jiutepec, las cuales son vertidas a los mismos arroyos que cruzan el área de norte a sur (Fig. 1.4), y que siguen las pendientes naturales de la cuenca. Más al sur, se unen con las aguas provenientes del manantial San Gaspar y todas ellas son utilizadas para riego agrícola.



SIMBOLOGÍA:

- efluente (estación de muestreo 2)
- ★ caseta de acceso
- oficinas administrativas
- ⊕ laboratorio
- X subestación eléctrica
- ◆ torres biológicas (proyecto)
- .-.- flujo de lodos
- flujo de agua
- influente

- ① compuerta (estación de muestreo 1)
- ② sedimentador primario
- ③ regulador de flujo
- ④ tanques de aireación
- ⑤ tanques de sedimentación
- ⑥ tanques digestores de lodos
- ⑦ bombeo
- ⑧ lechos de secado
- ⑨ tanque acondicionador de lodos
- ⑩ filtro-prensa

Fig. A.1. Proceso de tratamiento de la planta Eccaciv

Los lodos residuales están constituidos por los sólidos retenidos en las rejillas, los sedimentadores primarios y los secundarios. Son transportados por carga hidráulica hacia el digestor de lodos, que es un tanque provisto de agitadores o aireadores mecánicos donde continúa la digestión aerobia y la oxidación directa de materia orgánica e inorgánica. Es frecuente que, en la parte superior de este tanque, se separen lodos superficiales que contienen microorganismos jóvenes activos y aerobios que son bombeados a los tanques amortiguadores y de preaireación para inocular el agua a tratar.

Los agitadores se detienen dos veces al día para permitir la sedimentación de los lodos. De esta manera se retiran 230 metros cúbicos por día de lodos, con un contenido de sólidos de 2%. El lodo residual pasa con flujo continuo por una tubería y para flocularlo se le adicionaba sulfato de aluminio, mismo que posteriormente se sustituyó por una resina orgánica de nombre comercial NALCO (poliacrilamida). Luego el lodo pasa al tanque de floculación donde por atracción electrostática se forman conglomerados capaces de ser retenidos por filtración.

Los lodos floculados pasan por filtros de bandas continuas, donde por escurrimiento y compresión el líquido se separa de los sólidos y es retornado a los tanques de tratamiento. Al final del equipo filtrante, los lodos aún húmedos pasan a una banda transportadora a la tolva de almacenamiento temporal.

A.2.4. Calidad del agua para riego posterior a la instalación de la Eccaciv

En un trabajo publicado por la SARH (1980a), se analizó la calidad de las aguas residuales generadas en la Civac, así como las tratadas por Eccaciv. En este estudio se señala que los valores más altos de DBO₅ y DQO, se presentaron en el colector II. Los resultados promedio de los colectores I, II y III se muestran en el cuadro A.7.

Cuadro A.7. Valores promedio de las aguas residuales de los colectores de Eccaciv (SARH, 1980a)

PARÁMETRO	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
Colector I	2680	4000
Colector II	2760	5856
Colector III	259.00	525.00

Ramírez (1990) reporta la calidad agronómica del agua de la barranca Tlahuapan (muestreos realizados en el periodo agosto 1982-agosto 1983) y compara sus resultados con los reportados por la SRH (1973). Concluye que la calidad del agua mejoró notablemente, afirmando que la presencia de la Eccaciv dio resultados positivos (cuadro A.8). Con respecto a la calidad del agua en los canales de riego, observó una disminución notable (cuadro A.9). Por otro lado, se observó una notable reducción en la superficie cultivada y disminución en los rendimientos de cultivos (cuadro A.10).

Dentro de sus conclusiones, señala que la presencia de bacterias coliformes en el agua de riego, la restringe para regar hortalizas que se consuman crudas y para frutas en contacto con el suelo. En cuanto al contenido de sales disueltas, su uso debe limitarse únicamente a cultivos muy resistentes a la salinidad, al clasificarlas como aguas que pueden ocasionar efectos adversos en varios cultivos

y requerir cuidadosas prácticas de manejo (clasificación C₃S₁ de acuerdo a los parámetros RAS y CE). Aclara, por otro lado, que este problema no se presenta en las aguas antes de la descarga del efluente de la planta de tratamiento.

Cuadro A.8. Resultados comparativos de muestreos realizados en diferentes periodos en la barranca Tlahuapan (Ramírez, 1990)

PARAMETRO	1973	1982-1983
pH	6.76	7.51
DBO ₅ (mg/L)	1399	235
DQO (mg/L)	2965	480
SDT (mg/L)	2866	724

DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno y SDT = sólidos disueltos totales

Cuadro A.9. Resultados comparativos de muestreos realizados en diferente periodos en el canal de riego Tlahuapan (Ramírez, 1990)

PARAMETRO	1973	1982-1983
pH	5.7	7.56
DBO ₅ (mg/L)	1238	152
DQO (mg/L)	2220	349
SDT (mg/L)	2660	686

DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno y SDT = sólidos disueltos totales

Cuadro A.10. Superficie total cultivada (Ha) por cada periodo y su rendimiento agrícola (Ramírez, 1990)

CULTIVO	1977-1978	1979-1980	1982-1983	RENDIMIENTO 1982-83 EN RELACIÓN A 1977-78 (%)
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 de azúcar	40.9	--	48.0	+ 17.36

APÉNDICE B

ASPECTOS AMBIENTALES

B.1. Generalidades sobre contaminación del agua

B.1.1. Características

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1991), en su artículo 4o. establece las siguientes definiciones:

- 1) **Contaminante.** Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición o afecten la salud humana.
- 2) **Contaminación.** Es la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo a la vida, la salud o el bienestar humano, a la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de los bienes y recursos en general.

Actualmente el problema de la contaminación del agua se ha agravado y adquirido proporciones dramáticas tanto por su intensificación como por su extensión geográfica. Ya en los siglos XVIII y XIX se hablaba de la contaminación debido a grandes aglomeraciones urbanas y centros industriales (González y Rodríguez, 1991)

La gravedad de la contaminación reside en su propagación a partir de fuentes bien localizadas: la biosfera como sistema autoregulatorio tiende a la estabilidad, es decir, a conservar sus rasgos esenciales para poder sobrevivir a posibles alteraciones del ambiente. De ahí la necesidad de reciclar los residuos contaminantes y de utilizar los productos de desecho como materia prima para otros procesos industriales

El constante aumento de la actividad humana ha hecho necesaria la extracción de agua subterránea para satisfacer sus necesidades domésticas, industriales y agropecuarias. Estas actividades producen desechos contaminantes que, con el tiempo, al incorporarse al flujo subterráneo, el lixiviado generado por ellos va degradando la calidad del agua y, en muchos casos, restringiendo su uso para consumo humano.

El agua se contamina por diferentes fuentes que pueden ser (SEDUE, 1988):

Fuentes naturales. Se emiten sustancias extrañas de manera natural, que degradan la calidad de las aguas superficiales. Dentro de estas fuentes se agrupan a la erosión acuática y eólica, erupciones volcánicas, yacimientos subterráneos de sustancias tóxicas, entre otras.

APÉNDICE B

ASPECTOS AMBIENTALES

B.1. Generalidades sobre contaminación del agua

B.1.1. Características

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1991), en su artículo 4o. establece las siguientes definiciones:

- 1) **Contaminante.** Es toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición o afecten la salud humana.
- 2) **Contaminación.** Es la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo a la vida, la salud o el bienestar humano, a la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de los bienes y recursos en general.

Actualmente el problema de la contaminación del agua se ha agravado y adquirido proporciones dramáticas tanto por su intensificación como por su extensión geográfica. Ya en los siglos XVIII y XIX se hablaba de la contaminación debido a grandes aglomeraciones urbanas y centros industriales (González y Rodríguez, 1991)

La gravedad de la contaminación reside en su propagación a partir de fuentes bien localizadas: la biosfera como sistema autoregulator tiende a la estabilidad, es decir, a conservar sus rasgos esenciales para poder sobrevivir a posibles alteraciones del ambiente. De ahí la necesidad de reciclar los residuos contaminantes y de utilizar los productos de desecho como materia prima para otros procesos industriales.

El constante aumento de la actividad humana ha hecho necesaria la extracción de agua subterránea para satisfacer sus necesidades domésticas, industriales y agropecuarias. Estas actividades producen desechos contaminantes que, con el tiempo, al incorporarse al flujo subterráneo, el lixiviado generado por ellos va degradando la calidad del agua y, en muchos casos, restringiendo su uso para consumo humano.

El agua se contamina por diferentes fuentes que pueden ser (SEDUE, 1988):

Fuentes naturales. Se emiten sustancias extrañas de manera natural, que degradan la calidad de las aguas superficiales. Dentro de estas fuentes se agrupan a la erosión acuática y eólica, erupciones volcánicas, yacimientos subterráneos de sustancias tóxicas, entre otras.

Fuentes antropogénicas. Como resultado de las actividades humanas, se generan sustancias extrañas al ambiente acuático, degradando su calidad y haciendo más difícil su utilización. Dentro de estas fuentes se pueden mencionar las descargas municipales, industriales y agrícolas.

Las descargas de agua municipal constituyen la mayor fuente de contaminación, con respecto al volumen generado, ya incluyen a las descargas domésticas de las poblaciones que, en ocasiones se mezclan con las pluviales. Están constituidas por desperdicios caseros y desechos humanos y animales (SEDUE, 1988).

Las descargas de agua que provienen de los diferentes procesos de las industrias, son desechos más peligrosos que las municipales, ya que concentran las sustancias que son utilizadas como materia prima para la elaboración de diversos subproductos. Estas aumentan cada vez más como consecuencia del desarrollo tecnológico e industrial del mundo entero, además de que muchas de las empresas descargan sus aguas directamente a los cuerpos de agua superficial, sin tratamiento previo, poniendo aún más en peligro a los ecosistemas acuáticos.

Los desechos industriales pueden originarse por procesos de enfriamiento, lavado, descargas, extracciones, impregnaciones, tratamiento químicos y operaciones similares. Se producen desperdicios muy variados, tanto en cantidad como en naturaleza; desde procesos que descargan grandes volúmenes de agua de enfriamiento, hasta cantidades relativamente pequeñas con altas concentraciones de sustancias orgánicas e inorgánicas. La magnitud y la concentración de los desechos de una industria varían dentro de amplios límites, dependiendo de los procesos de fabricación y los métodos de control de los mismos (González y Rodríguez, *op. cit.*)

La contaminación agrícola es el resultado del riego de los campos de cultivo, los que han sido sometidos a fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, fungicidas, entre otros; con la finalidad de controlar plagas y aumentar la producción del suelo. Estas sustancias son arrastradas por diversos medios, hacia las corrientes de agua limpia, provocando también desequilibrios en el ambiente acuático.

En nuestro país, la contaminación del agua se debe básicamente a las actividades industriales y agrícolas, ya que los productos de estas prácticas tales como metales pesados, cianuros, hidrocarburos, fenoles y plaguicidas, son peligrosos y persistentes en el ambiente. Prueba de ello son los casos de intoxicación en humanos provocados por diferentes accidentes en la industria y campo (Díaz, 1988).

B.1.2. Toxicología

Los componentes tóxicos existentes en los desechos industriales pueden causar al organismo humano, desde perturbaciones ligeras, hasta síntomas graves definidos, característicos de los componentes del residuo, de su concentración y de la capacidad de dilución del agua receptora.

Los efectos acumulativos sobre el organismo requieren largos periodos de observación y por otra parte, la tecnología industrial avanza rápidamente produciendo nuevos productos. De algunos desechos existen fuertes evidencias de la actividad carcinógena, y de otros, efectos alérgicos y

lesiones orgánicas, perturbaciones fisiológicas e interferencias en procesos vitales (Ortiz *et. al.* 1987).

Existen una serie de sustancias que poseen alta toxicidad, por lo cual se han fijado, según el caso, las concentraciones máximas permisibles, mediante normas establecidas por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y los gobiernos de cada nación.

Entre las sustancias altamente tóxicas se incluyen al arsénico, cadmio, cianuros, cromo hexavalente, plomo, fenoles, aceites y grasas, plaguicidas y otros metales pesados. Todas ellas son producto de actividades industriales, agrícolas y domésticas (cuadro B.1).

Cuadro B.1. Categorías de los contaminantes mayores y sus principales fuentes (Davis y Cornwell, 1991; modificado por Ortiz, 1994)

CATEGORÍA DEL CONTAMINANTE	FUENTES PUNTUALES		FUENTES NO PUNTUALES	
	descargas domésticas	descargas industriales	lavados agrícolas	lavados urbanos
demandante de oxígeno	X	X	X	X
nutrimentos	X	X	X	X
patógenos	X	X	X	X
sólidos suspendidos	X	X	X	X
sales	X	X	X	X
metales tóxicos		X		X
tóxicos orgánicos		X	X	
calor		X		

B.2. Generalidades sobre contaminación del suelo

A diferencia de otros componentes ambientales como el agua y el aire, la contaminación del suelos no es fácilmente medida en términos de composición química, ya que un suelo "puro" es difícil de definir. En un gran número de casos, la presencia de un componente en particular se debe a actividades locales humanas y esto no demuestra el estado de un suelo para generalizar.

Por otro lado, a veces puede observarse el mal estado de un suelo a través de bajos rendimientos o de la baja calidad de los cultivos; además de analizar la calidad del agua de riego. Desafortunadamente, tales observaciones pueden hacerse muy tarde para reparar el daño y se debe particularmente a que una reacción en el suelo tiende a ser muy tardada.

Se han utilizado indicadores biológicos para detectar cambios en la composición del suelo como ecosistema natural. Sin embargo, no existe una correlación entre la composición química y biológica del suelo y al evaluar solamente a los organismos no se llega a ninguna conclusión objetiva. Por ejemplo, puede decirse que la ausencia de las lombrices de tierra en un suelo es consecuencia de niveles altos de Cu; no obstante, la adaptación de lombrices al Cu, constituye un problema difícil de evaluar.

De esta forma, el tema central de la contaminación del suelo, es el conocimiento de los procesos de transporte y acumulación, particularmente de compuestos peligrosos. Es evidente que la acumulación y movilidad de dichos compuestos son influenciados por interacciones con la fase sólida del suelo y en casos específicos por su degradación. Tales interacciones pueden ser las siguientes:

- adsorción positiva, inducida por atracción electrostática entre compuestos cargados opuestamente a la carga de los constituyentes del suelo.
- repulsión electrostática, cuando la carga eléctrica de los componentes y constituyentes del suelo son del mismo signo, este es el caso de los aniones y la carga negativa de arcillas minerales.
- quimiosorción, este mecanismo de interacción puede confundirse con una adsorción positiva, excepto por el valor de la energía de adsorción. Este es considerablemente más alto en el caso de quimiosorción y por esto es caracterizado por una limitada intercambiabilidad con otros componentes.
- en el caso de orgánicos pueden contribuir las fuerzas de Van de Waals, formación de puentes de H, puentes entre sales y puentes de iones metálicos.
- reacciones de precipitación y disolución, estas reacciones pueden jugar un papel muy importante entre la movilidad de ciertos compuestos tales como N, P y K.
- reacciones de descomposición y movimiento o desplazamiento, muchos compuestos son sujetos a reacciones tales como degradación fotoquímica, degradación microbiana o una combinación de éstas, por ejemplo, los plaguicidas o en general, los químicos orgánicos como los acondicionadores del suelo. Así que la persistencia en suelo, agua y aire es uno de los grandes factores con respecto a un posible efecto peligroso sobre el medio.

Las interacciones descritas pueden llevarse a cabo por separado o en combinación con algún otro, sucesivamente, simultáneamente o alternadamente.

B.2.1. Elementos potencialmente tóxicos en el suelo

Dentro de estos elementos se incluyen aquellos con una densidad mayor a 5 g/mL, tales como los metales de transición de la tabla periódica. Tradicionalmente se les ha llamado metales pesados, elementos vestigiales o elementos traza. En agricultura se les conoce como micronutrientes, debido a su poca abundancia en los suelos y el hecho de que tienden a ser esenciales para el desarrollo de las plantas.

El conocimiento de los factores que gobiernan la disponibilidad de los elementos vestigiales en el suelo, es muy importante, por su estrecha relación con los efectos de toxicidad que pueden causar en campo, de tal manera que sea posible implementar medidas de manejo de los suelos contaminados, tales como encalado, abonado, drenado, entre otros, para reducir la disponibilidad de los elementos involucrados. Para determinar el efecto que causan los incrementos en la disponibilidad de algunos elementos, se realizaron algunos experimentos con los siguientes elementos, informados por Purves (1977): boro, cobre, zinc, cobalto, plomo y cadmio.

La relación entre la solubilidad del zinc, mercurio, plomo y cadmio con el pH, ha sido discutido por Hahne y Krootje (1973) citados por Purves (1977). Sus resultados indican que algunos

complejos de cloruros pueden contribuir a la movilización de iones de estos metales en el suelo. En áreas naturalmente salinas o en suelos donde el nivel de cloruros ha sido elevado por el uso de fertilizantes o de aguas de desecho que contienen sales, existe la probabilidad de aumentar la disponibilidad de metales pesados.

Muchos elementos traza, incluyendo los micronutrientes, pueden llegar a ser tóxicos para las plantas y los microorganismos, cuando alcanzan una concentración alta. Dentro de ellos se pueden mencionar a los siguientes: As, Be, Sb, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag y Zn. Las posibles fuentes de estos elementos en el suelo son:

- intemperismo del material parental del suelo, por lo que están presentes de manera natural
- procesos industriales, que pueden contaminar el aire con metales pesados y consecuentemente al suelo, cuando los elementos llegan a su superficie. Por ejemplo, la industria de esmaltado provoca daños a animales y vegetales por el zinc
- disposición de desechos sólidos en rellenos sanitarios, que son difíciles de cuantificar ya que no hay control de los desechos
- efluentes de plantas de tratamiento y lodos residuales

La disponibilidad para las plantas y microorganismos y la movilidad de los metales pesados dependen de varios factores, como son (McBride, 1994):

- **la forma química y naturaleza del elemento:** la mayoría de los cationes son poco móviles en el suelo porque se adsorben sobre los minerales y la materia orgánica o forman precipitados insolubles. Los aniones presentan una mayor movilidad
- **la naturaleza química y mineralógica del suelo:** tipo de arcillas, pH y potencial redox, entre otros
- **el ambiente físico y biológico del suelo:** en ambientes áridos el movimiento del agua en el perfil del suelo es hacia arriba, de tal manera que los elementos son transportados y concentrados por evaporación; en climas húmedos los elementos se acarrean a las capas inferiores del suelo

Propiedades individuales de elementos importantes en el suelo

En el cuadro B.2, se muestran las funciones biológicas y la toxicidad de algunos elementos importantes desde el punto de vista ambiental en el suelo:

A continuación se menciona de manera general, algunas propiedades de los elementos traza de mayor interés, mencionando su comportamiento en el suelo y sus efectos potenciales sobre plantas y microorganismos (McBride, 1994 y Bolt, 1978).

Cadmio

El contenido de cadmio del suelo en áreas no contaminadas está por abajo de 1 ppm y en suelos contaminados se han reportado valores tan altos como 1700 ppm. Debido a la predominancia en su forma de Cd^{2+} , es probable una adsorción electrostática sobre los sitios de adsorción. Los

estudios de intercambio de cationes para el Cd sobre arcillas puras, han demostrado que la adsorción se presenta a bajas concentraciones de este elemento. El cadmio puede formar también complejos con iones hidroxil y Cl^- y tales complejos contribuyen a su mineralización en el ambiente.

Geoquímicamente está asociado con el Zn en los minerales de las rocas. Arriba de pH 7 el Cd^{+2} puede co-precipitar con CaCO_3 o precipitar como CdCO_3 ; con los fosfatos también forman precipitados, limitando su movilidad.

El cadmio se usa como material de cubierta, en pigmentos, en industrias plásticas, en baterías, en fotografía y como fungicida. La presencia del cadmio en aceites de motor de carros explica el hecho de encontrarse en suelos cercanos a las carreteras. La presencia de Cd en fertilizantes fosfatados constituye una pequeña fuente de contaminación; su contenido varía de 1-2 ppm en calcio fosfatado y de 50-170 ppm en el superfosfato.

El efecto que más se ha reportado por el exceso de cadmio, es la alta presión sanguínea o hipertensión, además de enfermedades vasculares debido al consumo de vegetales que han adsorbido cadmio.

Cuadro B.2. Toxicidad y funciones biológicas de algunos elementos en el suelo (McBride, 1994)

ELEMENTO	FUNCIÓN BIOLÓGICA	FITOTOXICIDAD	TOXICIDAD A MAMÍFEROS
Cd	desconocida	media-alta (5-30)	alta
Co	esencial para mamíferos, cofactor en numerosas enzimas. ayuda a la fijación simbiótica del nitrógeno	media-alta (15-50)	media
Cr	esencial para el metabolismo de azúcares en mamíferos	media-alta (5-30)	alta (Cr^{+6}) media (Cr^{+3})
Cu	esencial para todos los organismos, cofactor en enzimas. transporte de oxígeno en pigmentos	media-alta (20-100)	media
Fe	esencial para todos los organismos, cofactor en muchas enzimas. grupo hemo	baja (>1000)	baja
Mn	esencial para todos los organismos, cofactor en numerosas enzimas. participa en la fotosíntesis	baja-media (300-500)	media
Ni	desconocida en mamíferos, puede ser esencial en plantas. se ha encontrado en la enzima ureasa	media-alta (10-100)	media
Pb	desconocida	media (30-300)	veneno acumulativo
Zn	esencial para todos los organismos, cofactor en numerosas enzimas	baja-media (100-400)	baja-media

Los números entre paréntesis indican la concentración del elemento en hojas de los vegetales (ppm en base seca) que muestra toxicidad en plantas.

Cobalto

Este metal se utiliza en la producción de aleaciones, pinturas, barnices, esmaltes y tintas. Es un elemento esencial para humanos y animales, ya que es constituyente de la vitamina B_{12} . Debido a

que las plantas que forman nódulos en sus raíces para fijar el N_2 atmosférico (a través de una simbiosis con bacterias), requieren de cobalto, se pone más atención a los niveles requeridos que a las concentraciones tóxicas.

Su contenido en suelos no excede de 10 ppm, aunque se han reportado hasta 380 ppm. Se presenta en dos estados de oxidación: Co^{+2} y Co^{+3} , aunque el primero es más dominante en la solución del suelo. Este metal se asocia preferentemente con óxidos de Fe y Mn por procesos de quimiosorción y precipitación, probablemente porque el Co^{+2} puede sustituir al Mn^{+2} . El cobalto es susceptible de quelación en el suelo.

Las plantas requieren de una concentración máxima de 0.1 ppm de cobalto. A concentraciones más altas es tóxico y puede producir deficiencia de Fe.

Cromo

El cromo, como metal y en forma de cromatos, tiene su mayor aplicación como inhibidor de la corrosión. Si se usa en pequeñas cantidades se fabrican barnices, tintas y colorantes.

El cromo es un elemento esencial para el hombre y animales, jugando un papel importante en el factor de tolerancia de la glucosa en la sangre, a niveles normales. Por esto, tiene gran importancia para prevenir diabetes.

El contenido de cromo en la mayoría de los suelos se limita a trazas pero puede alcanzar valores de 46 000 ppm en suelos serpentinos. Sin embargo, sólo del 0.006 a 0.28% del cromo total es soluble, lo que lo hace muy restringido para las plantas. Se puede encontrar en forma de Cr^{+3} y como CrO_4^{+2} ; no obstante, las condiciones del suelo favorecen la presencia del primero, un catión inmóvil que forma complejos estables con la materia orgánica y se adsorbe sobre óxidos y silicatos (arcillas). Además, el Cr^{+3} sustituye al Fe^{+3} en las estructuras de los minerales y a pH alto precipita como $Cr(OH)_3$. Por lo tanto, esta forma no es disponible para las plantas.

También a pH alto, una pequeña fracción de Cr^{+3} se puede oxidar a CrO_4^{+2} , una forma muy tóxica del cromo. Como adsorbe menos que en estado crómico, la movilidad y disponibilidad es mucho más alta. De esta manera, si llegan al suelo cantidades apreciables de cromatos, la mayoría se reduce espontáneamente, especialmente bajo condiciones ácidas y con un contenido alto de materia orgánica.

Cobre

El principal uso es para la fabricación de alambres y monedas, además de la tubería para la conducción del agua en las casas habitación. En forma de $CuSO_4$ se ha usado como fungicida para la fruta y papas cosechadas. En estiércol de cerdo se han reportado niveles de 750 ppm y puede ocasionar una acumulación de cobre en el suelo.

En el suelo se presenta casi exclusivamente como Cu^{+3} , sin embargo, bajo condiciones reductoras puede encontrarse como Cu^{+2} y Cu^0 . Cuando hay altas concentraciones puede causar deficiencias

de Fe, lo que se demuestra con una clorosis típica. Asimismo se ha observado un antagonismo entre cobre y zinc e inhibe la absorción de molibdeno, especialmente cuando este último se encuentra en bajas cantidades. De esta manera, el balance Cu-Mo es una condición importante para la nutrición de las plantas.

Debido a la utilización de lodos residuales como mejoradores de suelos, se ha introducido el concepto de zinc equivalente, que es un factor que indica la toxicidad para diferentes metales:

$$\text{Zn equivalente (ppm)} = \text{ppm Zn} + 2 \times \text{ppm Cu} + 8 \times \text{ppm Ni}$$

Esto indica que el cobre es dos veces más tóxico para las plantas que el zinc, mientras que el níquel es 8 veces más tóxico.

Manganeso

El manganeso tiene tres posibles estados de oxidación en el suelo, +2, +3 y +4. La forma más reductora es el ion Mn^{+2} , que sólo es estable en la solución del suelo. El ion Mn^{+3} es un poderoso oxidante que desproporciona a Mn^{+2} y Mn^{+4} u oxida al agua para liberar O_2 .



El Mn^{+3} tiene un periodo muy corto en solución, pero puede ser detectado en algunos casos en aniones complejantes como son pirofosfato, oxalato o sulfato, que pueden estabilizarlo por un tiempo.

El Mn^{+3} y el Mn^{+4} son estables en la fase sólida del suelo, cuando forman minerales como óxidos e hidróxidos insolubles de estructura y estado de oxidación variables (por ejemplo, MnO_2 , MnOOH , Mn_3O_4 , $\text{Na}_4\text{Mn}_3\text{O}_{10}$). El ion Mn^{+2} es liberado desde estos sólidos por disolución espontánea o intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones ácidas o reductoras. La liberación de Mn^{+3} puede también ser detectada en presencia de pirofosfato.

La solubilidad del manganeso es controlada por el potencial redox y el pH del suelo. El Mn^{+2} es muy soluble en agua, formando precipitados de hidróxido y carbonato sólo a pH superiores a 7. No obstante, cuando el valor de pH es mayor de 6, forma complejos más débiles, enlazados con materia orgánica, óxidos y silicatos, por lo que su solubilidad disminuye. Con pequeños cambios en el potencial oxido-reducción o en el pH del suelo, pueden provocar una reacción de oxidación. A bajos pH favorece la reducción de óxidos de manganeso e incrementa la solubilidad del Mn^{+2} . Como resultado, la solubilidad del Mn puede variar ampliamente a través del tiempo, fluctuando entre los niveles de deficiencia a toxicidad.

La movilidad del Mn dificulta su clasificación porque es extremadamente sensible a las condiciones del suelo (acidez, humedad, actividad biológica, etc.). La toxicidad es más probable en suelos saturados o suelos ácidos con bajos contenidos de humus. Las deficiencias son mayores en suelos salinos, alcalinos, calcáreos, de turba o de textura gruesa.

El Mn total en el suelo es altamente variable y no se encuentra relacionado con el contenido del material parental, probablemente por su tendencia rápida a las reacciones de oxido-reducción, que lo precipita como oxido en nódulos y otros depósitos. El Mn tiende a asociarse con hierro en estos depósitos. El intervalo del promedio mundial de Mn en suelo es de 80 a 1300 ppm.

Níquel

El uso más importante del níquel es la producción de aceros y aleaciones. También se utiliza en pinturas, cosméticos; en la producción de partes mecánicas, baterías y contactos eléctricos. El papel del níquel en el desarrollo de las plantas no ha sido bien conocido. No se han reportado datos de su esencialidad para las mismas, sin embargo es común encontrarlo en tejidos vegetales. El hecho de que las plantas absorben fácilmente a este elemento, deberá tenerse en consideración cuando se apliquen residuos con altas concentraciones de Ni, ya que se ha reportado que puede llegar a ser un elemento altamente tóxico para el crecimiento de las plantas. Particularmente, debe tenerse cuidado cuando se aplican lodos residuales, ya que de acuerdo al concepto de Zn-equivalente, el níquel es 8 veces más tóxico que el zinc.

En condiciones normales, el contenido de níquel en plantas no excede de 1 ppm (peso seco). En suelos, varía de 5-500 ppm, con 100 ppm como valor medio aproximado. Los suelos de serpentina presentan valores más altos.

El catión Ni^{+2} puede adsorberse en el complejo de intercambio del suelo. Bajo condiciones normales la cantidad total de Ni adsorbido es muy pequeña, ya que su concentración en la solución es baja. En suelos con un contenido alto de Ni, se puede disminuir la toxicidad mediante la aplicación de fosfatos, que llevan a la formación de compuestos de baja solubilidad, tales como el $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ y el $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{NiHPO}_4$ y bajan la concentración de Ni en la solución del suelo. Este mecanismo no puede explicar los niveles de Ni encontrados en la solución del suelo, que son de alrededor de 0.005 a 0.050 ppm. El fosfato de níquel pudiera permitir una concentración de níquel de arriba de 1 ppm a valores de pH de 7 y menores. Probablemente los iones silicatos controlan la concentración de Ni en la solución del suelo, inmovilizándolo a causa de la formación de minerales de silicato de níquel. Sin embargo, la abundancia del ion silicato en el suelo suministra una capacidad infinita de almacenamiento cuando se dispone de tiempo para la formación de estos sólidos.

Plomo

El plomo es usado en la industria automotriz, en la fabricación de baterías, como aditivo antidetonante de la gasolina y en menor grado para elaboración de plaguicidas. La aplicación de plomo a pinturas y material de plomería son relativamente bajos. Las áreas con un contenido alto de plomo coinciden con las de mayor tráfico vehicular. Existen zonas como el área metropolitana de Los Ángeles que han reportado hasta más de 2,400 ppm de plomo.

El plomo que es absorbido por las plantas es importante para la salud del hombre, ya que a través de sus alimentos ingiere diariamente, una cantidad aproximada a 300 μg , y del aire, entre 10 y 100

µg. El mecanismo por el cual las plantas absorben este metal no está claro y existen desacuerdos acerca de la proporción que se toma del suelo y del aire. La translocación en la planta es pequeña.

Normalmente el contenido de plomo en la mayoría de las especies vegetales se encuentra en el intervalo de 0.5 a 3 ppm. Sin embargo, para ciertas especies el nivel de toxicidad es muy alto. Esto provoca una situación peligrosa, porque tales plantas pueden no presentar síntomas de toxicidad y aparentemente verse sanas, lo que las hace un peligro para la salud pública. Se han reportado concentraciones de Pb en rábano arriba de 498 ppm en raíz y 136 ppm en las hojas, así como diferencias de tolerancia para lechuga y avena. La lechuga es mucho más susceptible a la acumulación de Pb y por ello debe ser cuidadosamente seleccionado el tipo de cultivo que debe ser implantado en un suelo contaminado. Para maíz se ha reportado un significativo incremento de plomo en el follaje pero no en el grano.

No se conoce mucho acerca de la química del Pb en el suelo. Se ha descrito que el peligro del exceso de plomo en el ambiente probablemente baje cuando se deposita en el suelo, debido a la formación de compuestos relativamente insolubles tales como el $PbCO_3$, el $Pb_3(PO_4)_2$ y en menor grado el $PbSO_4$. Cuando el pH del suelo baja, se puede liberar el plomo fijado, especialmente si el $PbCO_3$, es el responsable de la inmovilización inicial del plomo.

Zinc

El zinc puede presentarse en las rocas en forma del mineral esfalerita (ZnS), el cual se intertemperiza hasta llegar a ser soluble por las condiciones oxidantes del suelo, donde el Zn^{+2} es el único estado de oxidación posible. En suelos ácidos y aerobios, el Zn tiene movilidad media, predominando en formas intercambiables sobre arcillas y materia orgánica. No obstante, a pH altos la quimiosorción sobre óxidos y aluminosilicatos y su quelatación con el humus del suelo, bajan la solubilidad de Zn^{+2} marcadamente. Consecuentemente, la movilidad en suelos neutros es muy baja. Si los suelos son ligeramente alcalinos y a pesar de que la actividad del ion Zn^{+2} es muy baja, los complejos Zn-materia orgánica pueden hacerlo soluble e incrementar su movilidad. En suelos extremadamente alcalinos, los aniones de hidróxido de zinc pueden incrementar su solubilidad.

El zinc en el suelo presenta un rango promedio mundial de 17 a 125 ppm. En suelos contaminados con altos niveles de Zn, la precipitación de óxidos, hidróxidos o hidroxicarbonatos de zinc pueden limitar su solubilidad, a pH de 6 o mayores. La co-precipitación del Zn^{+2} dentro de los sitios octaédricos de óxidos y silicatos, teóricamente es posible, sin embargo la importancia de este fenómeno en el suelo no es conocida.

En ambientes reductores, como es el caso de suelos inundados, la liberación de Zn^{+2} a partir de óxidos de Fe disueltos, pueden inicialmente incrementar su disponibilidad, pero la movilidad del Zn está restringida por la extrema insolubilidad de ZnS . Bajo condiciones de oxidación ácidas, el Zn^{+2} es uno de los cationes traza más solubles y móviles; lo que impide la formación de complejos con la materia orgánica.

La toxicidad de Zn para plantas es más común de presentarse en suelos ácidos. La solubilidad potencial alta del Zn^{+2} se relaciona con el hecho de que se presenta en altas concentraciones en

desechos industriales y lodos residuales que se disponen en el suelo. Por lo tanto, la toxicidad del Zn a las plantas en ambientes naturales es inherentemente baja.

B.2.2. Contaminación de suelos por compuestos orgánicos

La contaminación por compuestos orgánicos en el suelo es motivo de preocupación creciente. Una vez que los contaminantes llegan al suelo, pueden migrar y ser transportados a las aguas subterráneas que al final son utilizadas para consumo humano. Al mismo tiempo, la mayoría de los contaminantes orgánicos son altamente hidrofóbicos, por lo que se acumulan y se introducen en la cadena alimentaria.

Existen miles de compuestos orgánicos que han sido fabricados por el hombre, con una gran variedad de grupos funcionales. No obstante, la literatura que discute sus efectos sobre el sistema planta-suelo es mucho menor que la de los compuestos y elementos inorgánicos. Esto se debe a la complejidad de los estudios de estos compuestos orgánicos y al costo de sus análisis (Ortiz, 1994).

Una característica importante para diferenciar los compuestos orgánicos y los metales pesados es su tiempo de residencia en el suelo (Baxter *et al.*, 1983). El promedio de vida de los orgánicos más persistentes (por ejemplo los (BPCs) es de unos 10 años (Fries, 1982) y el de los metales pesados es de miles de años (Bowen, 1977).

En revisiones de 240 revistas durante el periodo 1977-1985 (Page *et al.*, 1983), se encontraron cerca de 4,000 compuestos orgánicos que siguen varias rutas después de estar en contacto con los factores ambientales, e incluyen:

- volatilización
- fotólisis
- descomposición química y microbiológica
- lixiviación
- fitotoxicidad

La mayoría de los estudios reportan que la vía predominante es la descomposición química y/o la adsorción fuerte a la materia orgánica del suelo, lo que reduce significativamente la absorción por las plantas o su lixiviación. Esta es una diferencia con los metales pesados, pues se acumulan en el suelo y pueden llegar a alcanzar niveles tóxicos para las plantas.

B.2.3. Suelos afectados por las sales

En aquellas regiones donde la precipitación anual no es suficiente para cubrir la demanda evaporativa de los suelos y la transpiración vegetal, la introducción de agua de otras fuentes, como la de mantos freáticos o la irrigación, necesariamente implica la incorporación de sales al perfil del suelo, ya que todas las aguas naturales contienen una cantidad variable, comúnmente las más solubles (cloruros, sulfatos y carbonatos y los cationes más comunes Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺) (Foth, 1978)

La salinización del perfil de un suelo puede ser definida como el incremento en la concentración y la eventual precipitación de sales de la solución del suelo (Aguirre, 1993).

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm. Se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de acumulación de sales provenientes del agua subterránea, es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la concentración de sales es el resultado de la extracción continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por lo tanto el uso de agua entre moderada y altamente salina, puede ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aún cuando el drenaje sea satisfactorio (Herrera, 1980).

Los suelos afectados por sales se presentan, generalmente, en terrenos de riego. Estudios recientes indican que cerca de la tercera parte de todos los terrenos agrícolas de riego del mundo, esto es aproximadamente 70 millones de has, presentan problemas de salinidad de diferente grado. Sumando los problemas de salinidad de zonas húmedas y semiáridas que carecen de riego, de los cultivos de invernadero, de los residuos mineros y de los desechos en general, la magnitud de la cifra es realmente impresionante (Bohn, 1993).

El origen de las sales es variable, sin embargo, las tres principales causas naturales de la salinidad del suelo son el intemperismo de las rocas, las sales fósiles (las que quedan de los primeros depósitos lacustres y marinos) y la precipitación atmosférica. Las actividades humanas que también propician la formación de sales en el suelo está el uso de aguas residuales para riego agrícola, especialmente en zonas de poca capacidad de lixiviación o bien por su uso excesivo que hace crecer el manto freático (Avnimelech, *et al.*, 1994; Aguirre, 1993 y Bohn, 1993).

Comúnmente las sales son transportadas en solución desde zonas con riego excesivo para acumularse en zonas con drenaje deficiente. Al evaporarse los escurrimientos superficiales y los escurrimientos producidos por la aplicación excesiva de agua de riego, dejan tras de sí concentraciones altas de sales. También la acumulación de sales se debe al escaso riego y si se emplean aguas de mala calidad. La concentración de sales de la solución del suelo se incrementa de manera constante conforme el agua se agota durante el crecimiento de los cultivos. La ubicación de desperdicios y la fertilización de cultivos también pueden aportar cantidades considerables de sales solubles (Foth, 1978).

La incorporación de sales al suelo, además de la influencia de la concentración en la solución, puede alterar la composición del complejo de intercambio e incrementar el porcentaje intercambiable de los iones Na⁺, ya que sus sales son las más solubles en la naturaleza. El aumento gradual de los iones Na en el complejo de intercambio es llamado "sodicación" (antiguamente alcalinización). La proporción con que ocurre este proceso depende de la composición y concentración del agua añadida al perfil, de la cantidad de agua aportada anualmente y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo (Aguirre, *op. cit.*).

Los problemas agrícolas asociados con los suelos salinos y sódicos han sido descritos por Avnimelech *et. al.* (1994); Aguirre (1993); Bohn (1993); Iturbe (1986) y Foth (1978).

El efecto principal de las sales solubles en las plantas es osmótico, ya que los altos niveles de sal provocan perturbaciones en el proceso de asimilación de agua y nutrientes. Las raíces contienen una membrana semipermeable que permite que el agua pase y que a su vez, rechace las sales. Entonces, desde el punto de vista de la ósmosis es más difícil de extraer el agua de las soluciones cada vez más salinas.

Las plantas que crecen en medios salinos incrementan, en cierta forma sus concentraciones osmóticas internas mediante la producción de ácidos orgánicos o por absorción de sales. A este proceso se le llama *ajuste osmótico*. Parece que el efecto principal de la salinidad en la planta es quitar energía a los procesos de crecimiento con el fin de mantener el diferencial osmótico. Uno de los principales procesos afectados es del alargamiento de la célula. Las células del tejido foliar continúan su división celular pero no se alargan. La Característica principal es el color verde oscuro que significa que hay más células por unidad de área foliar (Bohn, 1993).

Al crecimiento de las plantas en presencia de condiciones salinas se le ha denominado tolerancia a la sal. Las listas recientes de cultivos tolerantes se dan en términos de la CE en el punto de disminución del rendimiento inicial y de la disminución porcentual del rendimiento por unidad de aumento de salinidad (cuadro B.3).

Cuadro B.3. Tolerancia de los cultivos a la sal (Bohn, 1993 y Foth, 1978)

CULTIVO	CE (mmho/cm a 25 °C) A LA QUE EL RENDIMIENTO DISMINUYE:		
	10%	25%	50%
sorgo	6	9	12
caña de azúcar	3	5	8.5
arroz	5	6	8
maíz	5	6	7
haba	3.5	-	6.5
frijol	1.5	2	3
tomate	4	6.5	8
lechuga	2	3	5
cebolla	2	3.5	4
ejote	1.5	2	3.5

C.E. = conductividad eléctrica

Algunas plantas son particularmente sensibles a la salinidad durante las etapas de germinación o de plántula, cuando una rizosfera pequeña origina que la planta sea extremadamente vulnerable al trastorno del equilibrio fisiológico por ósmosis. Para estos cultivos, se modifica la forma de la cama de siembra con el fin de reducir la acumulación de sal en la vecindad de las plántulas. El riego por goteo, aunque en términos generales lleva las sales hacia la periferia del suelo mojado, también crea problemas graves de salinidad cuando se agregan grandes cantidades de fertilizantes a las líneas de goteo, al volver a plantar, o cuando la lluvia arrastra las sales acumuladas hacia los alrededores de las raíces de cultivos que no se han sometido a desequilibrios fisiológicos con anterioridad.

La clasificación de los suelos afectados por las sales, se basa en las concentraciones que se encuentran en los extractos de las soluciones y en el porcentaje de sodio intercambiable (cuadro B.4.)

Cuadro B.4. Clasificaciones de los suelos afectados por las sales (McBride, 1994; Bohn, 1993; Fassbender, 1986; Iturbe, 1986 y FitzPatrick, 1984)

	SUELOS NORMALES	SUELOS SALINOS	SUELOS SÓDICOS	SUELOS SÓDICO-SALINO
CE (mmho/cm)	2-4	>4	<4	>4
PSI (%)	<15	<15	>15	>15
pH		<8.5	>8.5*	<8.5
estructura		buena	pobre	muy buena

PSI = porcentaje de sodio intercambiable

*McBride (1994) señala un pH > 9.0

Aunque la clasificación anterior cubre la mayoría de los casos, hay ciertos suelos que no encajan en ella de manera adecuada, por lo cual Miljovic (1965), citado por FitzPatrick, (1984) estableció una escala separada para la salinidad y la alcalinidad como se muestra en el cuadro B.5

Cuadro B.5. Clasificación de los suelos con base en su salinidad y alcalinidad

GRADO DE SALINIDAD		GRADO DE ALCALINIDAD	
	CE (mmhos/cm)		PSI
ligeramente salino	2-4	ligeramente alcalino	<20
moderadamente salino	4-8	moderadamente alcalino	20-50
fuertemente salino	8-15	fuertemente alcalino	>50
muy fuertemente salino	>15		

PSI = porcentaje de sodio intercambiable. CE = conductividad eléctrica

El sodio tiene una baja afinidad de adsorción y no compete seriamente por los sitios de intercambio con el Ca^{2+} y Mg^{2+} , a menos que su concentración exceda a la de estos dos cationes juntos, o sea, si la relación $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > 1$. Cuando hay acumulación de sales solubles en el suelo, el contenido de Na^+ intercambiable tiende a incrementarse. En el cuadro B.6, se observa que para una concentración de 15 meq/L (suma de los tres cationes), la variación en la relación $\text{Na}^+(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ fluctuaría desde 1/1 a 14/1, causando que el porcentaje de Na^+ intercambiable (PSI) incremente de 4 a 22. Es notorio, sin embargo, que aunque la concentración de Na^+ exceda hasta por un factor de 14, ocuparía menos de 1/4 de los sitios de intercambio en el suelo. Sin embargo, la cantidad de Na^+ presente puede causar efectos adversos sobre las propiedades del suelo importantes para el crecimiento vegetal.

El Na^+ puede ser el ion dominante en la solución del suelo, dependiendo de la cantidad y composición de otras sales, o bien por la eventual precipitación de sales de Ca^{2+} y Mg^{2+} (en forma de SO_4^{2-} y CO_3^{2-}). Esta precipitación se favorece debido a la absorción de agua por las plantas y por la evaporación, que incrementan la concentración en solución de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y otros iones solubles involucrados en la formación de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y cal (CaCO_3).

Cuadro B.6. Efecto de la variación en la relación de $\text{Na}/(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ solubles sobre el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) (modificado de Aguirre, 1993)

TOTAL: Na + Ca + Mg (meq/L)	Na (meq/L)	Ca + Mg (meq/L)	RELACIÓN Na/(Ca + Mg)	PSI
15	7.5	7.5	1	4.2
15	10.0	5.0	2	7.4
15	12.0	3.0	4	11.7
15	14.0	1.0	14	22.0

PSI = por ciento de sodio intercambiable

Otra propiedad de la solución relacionada con el daño que produce el sodio en aguas de riego, es la concentración de bicarbonato. La toxicidad por carbonato que tienen algunas aguas provoca deficiencias de hierro y otros micronutrientes causados por un aumento de pH. Al precipitar el carbonato de calcio de dichas aguas, disminuye la concentración del calcio disuelto y aumenta la RAS y el nivel de sodio intercambiable del suelo (Bohn, 1993).

Por otro lado, deben ser mencionados los efectos tóxicos que tiene ciertos aniones cuando superan el límite tolerable de muchas plantas, como es el caso de los boratos (BO_3^-), cloruros (Cl^-) y sulfato de sodio y magnesio (Iturbe, 1986). En el caso especial de los suelos alcalinos (suelos con altos valores de pH), la presencia de carbonatos disueltos afecta fuertemente la solubilidad de muchos otros iones (ciertos micronutrientes y el fósforo).

Para rehabilitar suelos afectados por sales es necesario que pase una cantidad suficiente de agua por la zona donde se encuentra la raíz, con el fin de reducir la concentración de sal hasta valores aceptables. La remoción del 80% de sales solubles es posible si pasa 1 m^3 de agua lixivante por cada metro de profundidad del suelo en condiciones tales que el agua forme encharcamientos. Si la lixiviación se lleva a cabo en condiciones de insaturación, como las que se tienen con el riego por aspersión o el encharcamiento intermitente, esta cantidad de agua puede disminuir de tres a cinco veces (Bohn, op. cit.).

B.2.4. Salinización en vertisoles

En este tipo de suelos, los efectos adversos de salinización tienden a minimizarse bajo ciertas circunstancias, debido a los fuertes procesos de expansión y agrietamiento. Pequeñas cantidades de sales acumuladas por el agua de riego en la superficie del suelo durante varios periodos de cultivo, pueden ser inmovilizadas por la siguiente secuencia de procesos. Durante el periodo de reposo del suelo, su superficie normalmente se agrieta y se parte en pequeños bloques ("peds"). Los horizontes profundos se desecan más lentamente desarrollando grietas de 1 a 1.5 m de profundidad y formando elementos estructurales prismáticos de textura gruesa. Durante el tiempo de riego o por acción de la lluvia, inmediatamente después del periodo de barbecho, el suelo acarreará sales disueltas al subsuelo; al incorporarse, el elemento prismático se expande. Como resultado, una parte apreciable de las sales se acumulará bajo la zona de enraizamiento (a más de 30 cm de profundidad). De esta forma, los vertisoles pueden acumular grandes cantidades de sales sin dañar los cultivos. Estas propiedades se combinan para dar a los vertisoles valores de pH en el rango de 6.0 a 8.5. Sin embargo, el valor de este parámetro aumenta a medida que el Na satura el

complejo de intercambio y, por lo tanto, los suelos se intergradan con Solonchaks o Solonetz (Aguirre, 1993 y FitzPatrick, 1984)

B.2.5 Nitrógeno

El nitrógeno es un macronutriente del cual depende la productividad de la mayoría de los cultivos. En las áreas agrícolas puede estar presente en alguna de las siguientes formas:

- a) como constituyente de hojas, tallos y raíces del cultivo
- b) como constituyentes del suelo en formas orgánicas e inorgánicas
- c) inmovilizado en células microbianas como resultado de la degradación de residuos vegetales
- d) en forma de N_2 o como N_2O después de la desnitrificación, con lo que se devuelve a la atmósfera

De la cantidad total de N en la superficie del suelo, una gran proporción son compuestos orgánicos, ya que puede representar un 90% del total. Algunos subsuelos pueden tener una parte considerable de N total (30-40%) como amonio fijado. Las plantas lo utilizan en sus formas inorgánicas, aunque también puede absorber ciertos compuestos orgánicos como los aminoácidos.

Las formas inorgánicas de nitrógeno en el suelo son:

- a) NH_4^+ y NO_3^- son las formas disponibles para las plantas
- b) NO_2^- , N_2O , NO, N_2 y NO_2 , que se presentan durante periodo de tiempo muy corto y bajo condiciones muy especiales como intermediarios en procesos de transformaciones microbiológicas
- c) un grupo nuevo importante en procesos microbiológicos: hidroxilamina (NH_2OH) y nitoamida ($H_2N_2O_2$), son químicamente inestables y se presentan en estado transitorio.

La entrada natural del nitrógeno al suelo se debe principalmente a los procesos de mineralización de la materia orgánica, por el agua de lluvia que contenga NO_3^- como resultado de la oxidación de N_2 durante los relámpagos y como gas N_2 que es asimilado por bacterias. La aplicación de fertilizantes nitrogenados y las adiciones por estiércol son una fuente en campos de cultivo.

A pesar de que es uno de los principales elementos que determinan la productividad de los cultivos agrícolas, en algunas ocasiones, el nitrógeno también puede convertirse en un problema ambiental. Puede encontrarse un exceso de N por las actividades industriales; por ejemplo las emisiones de óxidos de N al aire posteriormente pueden reaccionar con el suelo y el agua de lluvia. Por otro lado, los sistemas de disposición de desechos puede conducir a una cantidad local en exceso de compuestos de N.

El exceso de nitratos provoca problemas ambientales y de salud. En el agua se produce una eutroficación, lo que significa un enriquecimiento con nutrientes que puede causar un desarrollo rápido de plantas acuáticas. Los más conocidos son los crecimientos acelerados del fitoplankton. La eutroficación es un proceso natural que se acelera con las actividades humanas tales como descargas de aguas domésticas e industriales, efluentes de plantas de tratamiento y lixiviados de campos de cultivo fertilizados.

Sobre la salud, induce metahemoglobinemia en infantes y/o cianosis por ingestión diaria. El ganado presenta, además, deficiencia de vitamina A, dificultades reproductoras y pérdida de producción de leche. En Estados Unidos y Noruega, se mencionan que las concentraciones máximas permisibles en el agua es de 45 y 100 mg NO_3^-/L .

Por lo tanto, un exceso de nitrógeno en el suelo (principalmente por NO_3^-) que se reciben en las capas superficiales, pueden llegar a las aguas superficiales y profundas, causando tarde o temprano los efectos ya descritos. Aunque el suelo puede retenerlos temporalmente, no es capaz de almacenarlos como a los compuestos orgánicos.

B.2.6. Fósforo

El contenido de fósforo en la mayoría de los suelos varía de 0.02 a 0.5% con un promedio general de 0.05%. Casi la mitad está combinado con la materia orgánica de la superficie del suelo y el resto en formas inorgánicas. Es un constituyente esencial de toda célula viviente, donde participa con los ácidos nucleicos en la reproducción, con los compuestos estructurales y con la conservación y transformación de la energía en las reacciones metabólicas que se llevan a cabo (Ortiz, 1986).

La mayor parte del fósforo que llega al suelo proviene de compuestos orgánicos de residuos animales y vegetales, de productos de síntesis microbiana y de compuestos inorgánicos en los que el fósforo está combinado con Ca, Mg, Fe, Al y arcillas. El suministro de fósforo para el crecimiento de las plantas, depende de los fosfatos inorgánicos solubles tales como el PO_4^{3-} , el H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} dependiendo del pH.

Los casos de mal funcionamiento del suelo como medio de soporte para las plantas y otras formas de vida, por exceso de fósforo, no es muy bien conocida. Se dice que sobre las plantas ejerce una acción indirecta. Por ejemplo los síntomas de deficiencia de zinc se deben a altos niveles de fósforo, pero sólo cuando se presentan fosfatos solubles.

La presencia de PO_4^{3-} en las aguas superficiales favorece el desarrollo del fitoplankton. Así que, la acción contaminante de los PO_4^{3-} es por eutroficación. Para su prevención, es deseable que los niveles de fósforo en el agua se mantengan abajo de 10 ppm. Esto es imposible no sólo en áreas agrícolas, sino también en las naturales.

Por lo tanto el impacto ambiental del fósforo se debe principalmente a su influencia en la eutroficación de aguas superficiales. Por otro lado, muchos suelos poseen una gran capacidad para almacenar fosfatos y esta situación se presenta cuando se disponen al suelo aguas negras.

B.3. Tratamiento de aguas residuales

Desde principios de siglo ha existido una preocupación por el continuo desarrollo de los métodos para el tratamiento de aguas residuales. Inicialmente, el objetivo del tratamiento fue acelerar los procesos naturales de depuración, bajo condiciones controladas, para lograr la remoción de material flotante y suspendido, de la materia orgánica biodegradable y la eliminación de

microorganismos patógenos. Actualmente, el grado de purificación del agua requerido para diferentes usos ha aumentado, por lo que se han establecido nuevos procedimientos (Hilleboe, 1986).

El tratamiento de aguas residuales se define de la siguiente manera: "es el proceso o serie de procesos a los que se someten las aguas residuales, con el objeto de disminuir o eliminar características perjudiciales de los contaminantes que éstas contienen" (Metcalf y Eddy, 1987).

Los procesos requeridos para el tratamiento de aguas residuales, dependen de las características que presenten dichas aguas. Los tipos de tratamiento pueden clasificarse como sigue:

B.3.1. Tratamiento primario

Es un tratamiento físico que implica un proceso de sedimentación para remover los sólidos suspendidos cuya densidad es mayor que la del agua. En esta etapa no se pueden quitar todos los sólidos, debido a la velocidad de sedimentación, relacionada al tamaño o a la gravedad específica de las partículas.

La mayoría de las plantas de tratamiento incorporan tanques de sedimentación que operan mecánicamente, de forma rectangular o circular, con flujos horizontales y radiales, respectivamente. Los tanques horizontales requieren menos área de terreno que los circulares, especialmente si se utilizan muchos de ellos.

La remoción de metales pesados en el tratamiento primario es importante por dos razones: primero, reduce la carga de metales sobre los microorganismos que intervienen en el tratamiento biológico, reduciendo la posibilidad de dañar la eficiencia de tratamiento como resultado de toxicidad por metales. Segundo, contribuye a la eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento, reduciendo la contaminación de aguas superficiales a las que se descargan los efluentes finales (Barth *et al*, 1965).

La remoción de metales durante la sedimentación primaria es un proceso físico, que depende de la estabilidad del metal precipitado o de la asociación de metales con la materia orgánica. La remoción mínima de los metales disueltos, se presenta durante este proceso y la proporción de ellos con respecto a los totales, se incrementa en el efluente. Aunque los factores determinantes para la remoción de metales durante la sedimentación primaria son la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos y la especie química del metal (soluble o insoluble), estos dos factores son influenciados por varios otros (Lester, 1987a).

La remoción de metales está determinado por:

- a) diseño de la planta de tratamiento
- b) flujo de agua, estación seca o época de lluvias
- c) concentración de sólidos suspendidos en el influente.

Las especies químicas de los metales dependen de (Lester, 1987a):

- a) concentraciones de los metales en el influente
- b) demanda química de oxígeno del influente
- c) dureza, alcalinidad y pH de las aguas residuales.

De esta manera, la remoción de metales durante el proceso de sedimentación primaria, varía ampliamente.

B.3.2. Tratamiento secundario

El propósito del tratamiento secundario es remover la materia orgánica biodegradable medida como demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBO_5) que escapa al tratamiento primario y remover sólidos suspendidos adicionales. Los factores esenciales para un buen tratamiento secundario son: disponibilidad de un gran número de microorganismos, buen contacto entre ellos y la materia orgánica, disponibilidad de oxígeno, condiciones ambientales favorables (por ejemplo, temperatura y tiempo) y ausencia de compuestos tóxicos.

El tratamiento biológico es un proceso de transformación en el que los organismos aerobios y facultativos y los sólidos orgánicos solubles de las aguas, se mezclan íntimamente en un medio favorable para la descomposición de los sólidos y la generación de nuevas células microbianas. El medio está formado por las mismas aguas a tratar, por lo que la eficacia de tratamiento depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto durante todo el proceso y una proporción adecuada de microorganismos.

Las aguas residuales contienen microorganismos, pero su número no es suficiente para que puedan llevar a cabo la degradación requerida, por lo que es necesario agregarlos y distribuirlos homogéneamente en las aguas, antes de que proceso de lodos activados pueda funcionar con eficacia.

Entre los sistemas de tratamiento biológicos, se encuentra el conocido como de lodos activados, el cual se emplea después de una operación de sedimentación simple. Las aguas residuales contienen sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire forman núcleos sobre los cuales se desarrollan los microorganismos. Gradualmente forman partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados. En consecuencia, estos lodos están formados por flóculos parduscos que contienen materia orgánica procedente de las aguas y gran cantidad de bacterias (Metcalf y Eddy, 1987).

La generación de lodos activados es un proceso lento, de manera que la cantidad que se forma en cualquier volumen de aguas negras durante el periodo de tratamiento, no es suficiente para lograr un tratamiento rápido y eficaz. Con el objeto de lograr una mayor concentración, se recolectan lodos ya producidos en anteriores operaciones y se usan nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes. Este es un proceso acumulativo por lo que es necesario retirar continuamente el exceso de lodos activados.

Los lodos activados sobrantes se mezclan con los sólidos de las rejillas y de los tanques de sedimentación primaria y, conjuntamente, forman el desecho final del proceso de tratamiento (lodos residuales).

La eficiencia de remoción de elementos contaminantes por las plantas de tratamiento de lodos activados es muy variable, ya que depende de las condiciones de cada planta. En algunas, es muy alta y en otras muy baja, ya que difieren las relaciones entre las concentraciones de ellos y su inclusión en los flóculos de lodos activados; de esta forma se ha observado un alto grado de eficiencia para hierro, cobre, cromo y zinc. En cambio, para níquel, manganeso, calcio y magnesio, la eficiencia ha sido baja.

La remoción de metales durante el tratamiento biológico se ha estudiado extensivamente, sobre todo para las plantas de tratamiento que utilizan el proceso de lodos activados. La adsorción de metales pesados por flóculos de lodos activados no es diferente a los procesos de película biológica en un filtro percolador que absorbe metales.

La remoción de metales contenidos en las aguas residuales parece ocurrir en dos etapas: primero, durante la sedimentación primaria en la que los metales insolubles o los metales adsorbidos a partículas son sedimentados. Segundo, durante el tratamiento biológico los metales disueltos se adsorben a floculantes biológicos y se depositan en el sedimentador secundario. En un estudio realizado por Neufeld y Herman (1975), añadieron zinc, mercurio y cadmio en el influente y para dosis mayores de 300 ppm se removieron aproximadamente el 90% de mercurio, 75% de cadmio y 55% de zinc. Con dosis de 1000 ppm, el porcentaje de zinc y cadmio se redujo; sin embargo, estas concentraciones son mucho más altas que las que se presentan en aguas residuales. Los autores sugieren que la remoción inicial de metales pesados no es un fenómeno biológico, pero que debe estar relacionado con las propiedades físicas y químicas, y -probablemente- con la superficie de la masa biológica.

De acuerdo a Lester (1987b), se ha observado que son muchos los factores que afectan la remoción de elementos contaminantes en el proceso biológico de lodos activados y pueden ser divididos en operación de la planta y factores físicos, químicos y biológicos. Dentro de los parámetros de operación se incluyen la edad del lodo, remoción de sólidos suspendidos, concentración de sólidos suspendidos, concentración de oxígeno disuelto y tiempo de sedimentación. Los factores físicos y químicos que afectan la remoción son temperatura, pH, concentración del metal, solubilidad, valencia, concentración de agentes quelatantes y tamaño de partícula. El factor biológico principal es la concentración de polímeros extracelulares, siguiéndole otros productos microbianos que incluyen a metabolitos intermediarios y materiales liberados como resultado de lisis.

Un **filtro percolador** es un lecho de oxidación biológica formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual escurre el agua residual. El medio de empaque o soporte consiste generalmente de piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm de diámetro; la profundidad varía de 0.9 a 2.4 m con una profundidad media de 1.8 m. El agua se distribuye por encima del lecho por medio de un distribuidor giratorio y cada filtro posee un sistema de saneamiento inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se

hayan separado del medio. La materia orgánica se adsorbe sobre la película biológica adherida al medio y se degrada por la acción de los microorganismos aerobios.

Un **estanque de estabilización** es una masa de agua relativamente poco profunda, tienen bajos costos de construcción y pueden ser utilizados para dar tratamiento a las aguas residuales industriales o a la mezcla de industriales-domésticas que sean susceptibles de tratamiento biológico. El oxígeno para los microorganismos se suministra mediante la aireación superficial natural y por la fotosíntesis de las algas; también puede suministrarse aireación artificial, la que además sirve para mezclar el contenido del estanque y así evitar la sedimentación de sólidos suspendidos.

B.3.3. Tratamiento terciario

Aunque el proceso de tratamiento secundario remueve el 85% de la DBO_5 , la **DQO** soluble y los sólidos suspendidos, sólo remueve una pequeña parte de otras sustancias tales como nitrógeno, fósforo, y metales pesados. El tratamiento terciario da una calidad del efluente adecuada para la mayoría de los propósitos de reuso.

En este tipo de tratamiento, la remoción o conversión de contaminantes se lleva a cabo por la adición de sustancias químicas o por el desarrollo de reacciones químicas. Los procesos comúnmente usados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales son: precipitación química, transferencia de gases, adsorción, neutralización, reacciones de óxido-reducción e intercambio iónico (SEDUE, 1988; Davis y Cornwell, 1991).

B.4. Uso de aguas residuales en riego agrícola

La aplicación de aguas residuales a suelos agrícolas es una práctica que se ha utilizado desde 1872 en los Estados Unidos de América. Es una alternativa de tratamiento de dichas aguas, importante por dos factores: por la necesidad de disponer efluentes en algún sitio seguro y por la gran demanda de agua para riego agrícola (Badger y Thomason, 1987).

La utilización de aguas residuales en suelos agrícolas puede tener efectos benéficos, ya que es una forma de remover bacterias y detergentes del efluente, provee al suelo de nutrimentos, y materia orgánica y es una fuente de agua para el suelo y mantos freáticos. No obstante, en algunos casos esta práctica ha causado contaminación con metales pesados, sales y bacterias patógenas, lo cual ha bajado la productividad agrícola del suelo, ha contaminado los acuíferos y ha provocado problemas de salud pública (Gutiérrez, 1982).

Herrera (1980), define al agua residual como un líquido de composición variada, proveniente del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original. Señala además que la calidad de las aguas se modifica sustancialmente si han sido empleadas con fines industriales y que para proteger las tierras de cultivo y los productos agrícolas, es necesario que las aguas que se utilicen satisfagan determinadas normas de calidad, en lo que respecta principalmente a su contenido salino.

Las relaciones complejas que existen entre el agua, el suelo y el cultivo, dan lugar a la existencia de un equilibrio, mismo que puede ser alterado significativamente si el agua utilizada para riego no reúne las condiciones de calidad adecuadas. Los cambios físicos, químicos y microbiológicos del suelo pueden aumentar o disminuir considerablemente su producción y pueden deberse a cualquiera de los siguientes factores:

1. Si presentan cierta concentración de sales solubles, pueden acumularse en los suelos y provocar presiones osmóticas altas en las raíces de las plantas, provocando un mal crecimiento y consecuentemente la pérdida total o parcial de las cosechas.
2. Para el buen crecimiento de cualquier vegetal, existen elementos esenciales, de los cuales, algunos se necesitan en concentraciones muy bajas (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co). Las aguas residuales industriales utilizadas para riego agrícola pueden contener, elementos que son potencialmente tóxicos para las plantas, aún en pequeñas cantidades. Los que pueden presentarse son: boro, cromo, plomo, níquel, cadmio, zinc y cobalto.
3. Pueden adicionarse elementos potencialmente tóxicos, los cuales no son esenciales para las plantas y sustituir a otros en sus funciones dentro de ellas, lo cual repercutiría en su crecimiento. Por otro lado, puede reducir la disponibilidad de otros elementos esenciales, causando con ello una deficiencia.
4. La presencia de altas cantidades de sodio en el agua de riego, provoca que este elemento se acumule paulatinamente en el suelo, sustituyendo a otros cationes divalentes en el complejo de intercambio, como al calcio y magnesio lo que ocasiona un desequilibrio eléctrico en los coloides del suelo. Esto provoca cargas negativas residuales, por lo que las partículas se repelen y consecuentemente el suelo se flocula y pierde su estructura, favoreciendo la formación de costras e impidiendo el desarrollo de las plantas.
5. Cualquiera de los anteriores, incrementa la susceptibilidad de los vegetales al ataque de plagas y enfermedades.
6. Los elementos tóxicos presentes en el agua, y que llegan al suelo, pueden presentar infiltración, lixiviación y/o percolación a través de él, provocando con ello la contaminación de mantos freáticos.

La productividad agrícola de un tipo de suelo, depende en gran medida de sus características físicas y químicas, la alteración de éstas se reflejará en la disminución del rendimiento de las especies cultivadas.

Las aguas residuales, dependiendo del volumen, composición y condiciones del lugar se pueden utilizar para irrigación. La aplicación de las aguas residuales a la agricultura puede considerarse como un reuso del agua ya que la mayoría de los casos se necesita un pretratamiento. En México se cuenta con más de medio siglo en usar las aguas residuales en irrigación agrícola, sin conocerse con precisión los efectos de este tipo de agua en los diferentes cultivos (*Herrera op cit*).

Cámara *et al.* (1992), señala que el valor de “el recurso de segunda mano” o agua residual, constituirá en el mañana una riqueza real y no un problema, si aprendemos a aprovechar e implementar medidas de protección para lograr un uso integral del recurso. Actualmente, cerca de 6 millones de hectáreas se encuentran bajo riego, estimándose que el volumen anual de agua requerido es de 70,000 millones de m³. Debe considerarse una cantidad suplementaria al sobrieriego para reducir los posibles problemas de salinidad durante los periodos críticos de crecimiento y desarrollo de los cultivos. El agua para riego con un valor de 750 µmhos de conductividad eléctrica (CE) se considera como de segunda clase (Richards, 1954, citado por Cámara *et al.*, 1992). Por ello se deben establecer cultivos moderadamente tolerantes a la salinidad, tales como: algodón, cártamo, cebada y trigo; siempre y cuando se efectúe un cierto grado de lavado de los suelos donde será aplicada.

Si las aguas contienen una concentración de sodio superior a la del calcio y magnesio, provocan un incremento en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y por consecuencia, podría llegar a ocasionar una de floculación y dispersión de los coloides del suelo, reduciendo con ello su permeabilidad. Asimismo las aguas de desecho contienen un número muy elevado de microorganismos inofensivos, pero junto con estos se encuentran algunos de origen fecal que son un riesgo de salud pública. Si los valores encontrados de coliformes totales rebasan las normas mexicanas para su utilización en la agricultura, deben tomarse medidas estrictas de manejo al aplicar el riego en hortalizas y otros cultivos que se consumen crudos o que tengan contacto directo con el agua.

Finalmente señala que el reuso queda condicionado a los siguientes puntos: a) cultivos en que va a emplearse, b) suelos en que va a emplearse, c) prácticas de manejo integral (agua, suelo, cultivo) y d) condiciones climatológicas.

Cámara *et al.* (1992) citando a Cervera (1990) menciona que estudió el efecto de la aplicación de diferentes láminas de riego con agua residual en el cultivo de espárrago en un suelo salino. El cultivo mostró buen ajuste osmótico al desarrollarse en suelos con exceso de sales. Sin embargo, el desarrollo del grosor de los tallos fue menor a los requeridos comercialmente, mientras que la altura de los tallos fue la adecuada. De igual forma al citar a Bojorquez (1990) señala que al estudiar el comportamiento de dos plantas halófitas (pasta salado y salicornia), no se logró la germinación de las semillas. Justificando lo anterior por los altos valores de C.E. (>150 mmhos cm⁻¹), que imposibilitan la germinación de cualquier especie vegetal.

El mismo efecto se observó sobre la germinación de nueve variedades de trigo y cinco de cebada, sólo que con valores de salinidad entre 11 y 53 mmhos cm⁻¹, causando efectos drásticos en los rendimientos.

Luna y Bórquez (1991) evaluaron el grado de rehabilitación del suelo mediante la aplicación de diferentes fraccionamientos de lámina de lavado, el suelo fue rehabilitado con decremento en la salinidad de 77 a 85%.

Ruiz (1992) reporta que las especies que se adaptan mejor a las condiciones adversas de suelo-agua, han sido las gramíneas forrajeras (Bermuda cruzada, Zacate Alicia, Estrella Sto. Domingo,

Zacate bahía y Zacate salado) estableciéndose satisfactoriamente desde el primer año de manejo, observándose un a reducción en la CE del suelo en un promedio de hasta 63%.

Valenzuela y Uvalle (1992) señalan que en México el uso del agua residual en la agricultura registra 2,445 millones de metros cúbicos para el riego de 185,000 hectáreas. Su uso indiscriminado tarde o temprano daña las propiedades físico-químicas del suelo, lo cual afecta posteriormente la capacidad para producir buenas cosechas, si no se establece un manejo adecuado de estas aguas. Mencionan que para el empleo del agua con fines de riego, generalmente se toma como base las características químicas del agua, las propiedades de los suelos, la tolerancia de los cultivos a las sales, con condiciones de manejo del suelo y cultivo, las condiciones de drenaje interno y superficial del suelo. Además, para conocer las posibilidades de uso de las aguas residuales, su peligrosidad, su utilidad para riego y su capacidad de fertilidad, es preciso conocer las características de los efluentes.

Considerando las actuales condiciones sociales y económicas de México, el reuso de aguas residuales para irrigar suelos agrícolas es una opción práctica, debido a los siguientes datos Gutiérrez *et al.* 1995):

- en el país se generan 184 m³/s de aguas residuales (105 m³/s de fuentes domésticas y 79 m³/s de industriales)
- las autoridades municipales de México se enfrentan con problemas en el manejo de efluentes, prácticamente sin inversiones para tal fin, debido a que el costo es elevado.
- el potencial agrícola de México es bajo, debido a sus condiciones topográficas y a sus condiciones climáticas
- el costo de fertilizantes es elevado y el apoyo técnico para su utilización es muy limitado

El agua residual sufre un tratamiento natural que se completa después de haber atravesado de 0.6 a 1.5 m del suelo, según el tipo de suelo de que se trate. Cuando el riego se efectúa sobre suelos francos con abundante materia orgánica, el fósforo, los metales pesados y los virus, son retenidos por diversos mecanismos, como adsorción, la formación de complejos, o la transformación de productos inertes (Valenzuela y Uvalle, 1992)

El deterioro de los suelos de cultivo puede ocurrir por causas debidas a la naturaleza misma o bien por intervención humana a través de la contaminación del ambiente, particularmente de los suelos, ya sea alterando la composición del agua de riego, no devolviendo los nutrientes extraídos por las cosechas, alterando los microorganismos del suelo o bien cualquier otro factor que exceda los límites de los parámetros, nitrógeno, calcio, fósforo, azufre, magnesio, boro, cloruros y sodio (Herrera *op. cit.*).

El Laboratorio de Salinidad de los E.U.A.(1982) señala que las características más importantes que determinan la calidad del agua para riego son: a) la concentración total de sales solubles, b) la concentración de sodio intercambiable a otros cationes, c) la concentración de boro y otros elementos tóxicos y d) la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio y magnesio bajo ciertas condiciones.

Las aguas cuya conductividad eléctrica varía entre 750 y 2,250 $\mu\text{mhos/cm}$ son comúnmente utilizadas, obteniéndose con ellas crecimiento adecuado de las plantas siempre y cuando haya buen manejo de la tierra y drenaje suficiente. Es necesario hacer lavados para suelos en que no existe precipitación de sales, que está directamente relacionado con la conductividad eléctrica del agua de riego (Herrera *op. cit.*).

La necesidad de lavado se define como la fracción del agua de riego que debe percolarse a través de la zona de raíces para controlar la salinidad a un determinado nivel. Las necesidades específicas de lavado para valores de conductividad eléctrica de aguas de riego y aguas de drenaje, se muestran en el cuadro B.3.1.

Cuadro B.7. Necesidad de lavado de acuerdo al valor máximo de conductividad eléctrica (Herrera, 1980)

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE AGUA PARA RIEGO $\mu\text{mhos/cm}$	NECESIDAD DE LAVADO PARA LOS VALORES MÁXIMOS INDICADOS EN LA C.E. DEL AGUA DE DRENAJE EN LA PARTE INFERIOR DE LA ZONA RADICULAR DEL CULTIVO $\mu\text{mhos/cm}$			
	2.5	1.2	0.8	0.6
100	6.2	3.1	2.1	1.6
250	18.8	9.4	6.2	4.7
750	56.2	28.1	18.8	14.1
2250	---	62.5	41.7	31.2

Los contenidos de sales en solución en las aguas y su constante participación en los procesos de evapotranspiración, favorece la acumulación de sales en las capas superiores del suelo. Para esto se deben establecer técnicas de manejo adecuado, que contemplen el subsoleo, barbecho profundo, nivelación del terreno así como métodos adecuados para riego y prácticas de sobreriego, para evitar altos esfuerzos de humedad en el suelo (Valenzuela y Uvalle, 1992)

APÉNDICE C

LEGISLACIÓN AMBIENTAL QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PARA AGUAS DE RIEGO AGRÍCOLA

Cuadro C.1. Criterios Ecológicos de la Calidad del agua. Uso para riego agrícola

PARÁMETRO	NIVELES MÁXIMOS EN mg/L, A MENOS QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD
Cadmio	0.01
Cloruros	147.50
Cobre	0.20
Coliformes fecales	1000.00 NMP/100 mL
Conductividad eléctrica	1.00 mmhos/cm
Cr hexavalente	1.00
Hierro	5.00
Níquel	0.20
pH	5.00-9.00
Plomo	5.00
Sulfatos	130.00
Zinc	2.00
Sólidos disueltos	500.00
Sólidos suspendidos	50.00
RAS	< 18 meq/L

RAS. relación de adsorción de sodio

Cuadro C.2. Parámetros de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-CCA-031-ECOL/1993 y NOM-CCA-032-ECOL/1993 aplicados al presente trabajo, no contemplados en los Criterios Ecológicos de la Calidad del agua para riego agrícola.

PARÁMETRO	NORMA	NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLE EN mg/L
Grasas y aceite	031	100
SAAM	031	30
DBO ₅	032	120

SAAM. sustancias activas al azul de metileno. DBO₅ demanda bioquímica de oxígeno

APÉNDICE D: RESULTADOS ANALÍTICOS

D.1. Resultados de los análisis de aguas

Cuadro D.1. Resultados de los análisis de agua en la estación I a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	28.00	28.50	27.00	27.50	33.00	29.66	27.66	29.66	29.00	27.00	25.00	26.00
temp del agua (°C)	31.00	32.50	29.00	31.35	33.60	31.28	26.16	30.73	30.80	29.30	26.05	32.00
pH	8.40	8.80	8.40	8.60	7.50	7.25	8.17	8.21	12.93	8.67	9.05	8.50
CE (µmhos/cm)	1840.00	2010.00	2240.00	3168.00	1853.00	1671.30	965.66	1088.33	1989.00	2350.00	1897.00	1484.00
sólidos sedimentables (mg/L)	4.00	4.50	4.50	16.00	2.05	1.60	5.66	2.66	3.33	3.25	6.55	4.70
sólidos totales (mg/L)	2118.00	2068.00	1190.00	1654.00	1736.00	2100.66	1349.60	1857.30	1857.00	860.50	198.50	1517.40
sólidos suspendidos (mg/L)	340.00	268.00	232.00	70.00	148.00	614.00	661.30	664.00	626.66	392.00	245.00	240.00
DKO (mg/L)	2680.00	800.00	2240.00	1520.00	1973.50	2373.30	1633.00	4603.30	7066.60	5206.00	6000.00	5580.00
DIX ₂ (mg/L)	502.00	421.00	791.85	607.50	699.68	408.00	461.83	1247.80	453.50	361.50	741.00	733.10
ODI (mg/L)	0.50	0.40	0.50	0.40	0.45	0.39	0.16	0.41	0.55	0.37	0.40	0.45
grasas y aceites (mg/L)	656.00	714.60	896.50	776.40	702.98	774.06	683.64	637.91	656.53	337.30	414.80	358.40
alcalinidad (mg/L)	1500.00	2300.00	2420.00	1900.00	3150.00	665.60	475.33	425.33	363.30	512.00	391.00	450.00
dureza (mg/L)	1238.00	484.80	10992.00	11688.00	4956.00	160.00	361.60	419.20	483.60	240.00	782.40	403.20
cloruros (mg/L)	600.00	850.00	345.00	500.00	475.00	350.00	172.13	239.61	233.66	301.00	633.59	165.00
SAAM (mg/L)	400.00	335.00	210.00	305.00	165.20	405.00	330.00	345.00	275.00	320.00	195.00	312.00
sulfatos (mg/L)	1682.00	2591.00	2951.80	1682.70	2142.30	19942.03	2545.30	2681.10	2945.60	3564.60	1963.20	3309.20
coliformes totales (NMP/100mL) (X10 ¹¹)	24.00	2400.00	240.00	0.12	0.24	24.00	91.60	240.00	850.00	2400.00	6050.00	240.00
coliformes fecales (NMP/100mL) (X10 ¹⁰)	2.10	72.00	0.02	0.002	0.025	0.28	0.11	1.10	14.00	120.00	110.00	1.30
nitratos (mg/L)	6.30	6.30	6.88	2.13	6.35	2.29	2.83	1.40	3.06	9.53	6.15	4.37
N orgánico (mg/L)	106.40	106.40	89.70	149.90	84.15	67.85	38.25	115.76	72.40	59.01	75.53	90.72
N amoniacal (mg/L)	111.50	111.25	140.00	151.75	107.05	21.00	74.25	65.85	51.46	173.95	63.37	86.61
Fósforo total (mg/L)	89.30	89.30	50.00	82.20	25.00	83.50	7.76	33.90	40.00	39.25	23.25	33.50
RAS (mg/L)	3.36	3.75	3.02	3.91	3.21	2.07	3.03	1.03	3.37	0.52	2.53	4.40
Calcio (ppm)	160.72	99.10	80.36	87.06	221.98	113.63	83.14	64.70	109.20	153.15	131.48	52.96
Magnesio (ppm)	14.20	9.25	7.10	9.25	54.90	10.60	11.66	5.50	3.91	9.00	13.00	18.15
Sodio (ppm)	167.30	145.90	174.60	144.30	206.75	86.83	111.60	32.23	131.86	24.85	113.95	145.90
Potasio (ppm)	17.50	11.40	9.90	19.60	4.95	11.70	3.91	30.80	10.52	24.50	21.00	21.20
Cobre (ppm)	0.13	0.21	0.74	0.54	0.48	0.04	0.24	0.19	0.38	0.31	0.17	0.48
Hierro (ppm)	4.64	5.95	2.32	2.71	5.40	3.33	5.93	2.27	6.53	2.75	3.91	4.95
Manganeso (ppm)	0.46	0.25	0.23	0.37	0.83	0.46	0.28	0.22	0.19	0.21	0.24	0.45
Zinc (ppm)	0.82	0.43	0.62	0.31	0.76	0.42	0.87	0.63	1.05	1.70	0.90	1.39
Níquel (ppm)	0.21	0.12	0.10	0.29	0.37	0.21	0.17	0.08	0.19	0.10	0.02	0.29

Cu, Pb, Cd y Cr no se detectaron

Cuadro D.2. Resultados de los análisis de agua en la estación II a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	29.00	29.00	31.00	34.50	32.50	26.50	27.33	27.66	28.33	26.00	22.50	26.00
temp.del agua (°C)	26.00	27.00	28.20	28.75	30.55	28.23	27.10	29.53	26.66	26.35	27.45	25.00
pH	7.20	7.10	7.20	7.30	7.15	7.98	7.98	8.52	7.30	7.57	8.00	7.30
CE (µmhos/cm)	2040.00	1490.00	1335.00	1687.50	1635.50	1423.67	987.00	644.50	1843.66	1915.00	1129.50	1293.00
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10	0.154	0.12	0.25	0.10	0.10	0.17	0.10	0.10	0.10	0.65	0.20
sólidos totales (mg/L)	1324.00	1194.00	1097.00	1588.50	1259.00	1149.00	812.67	1128.00	1219.00	1046.50	1435.00	1310.00
sólidos suspendidos (mg/L)	568.00	286.00	248.00	72.00	212.00	274.66	558.66	80.00	485.33	175.00	145.00	250.00
DQO (mg/L)	480.00	880.00	580.00	280.00	1120.00	346.66	440.00	3360.00	2200.00	4000.00	3200.00	1560.00
DBO ₅ (mg/L)	238.00	484.00	372.20	463.93	490.32	236.20	198.35	896.00	317.33	160.00	422.71	268.30
OD (mg/L)	0.40	0.50	0.31	0.42	0.45	0.51	0.40	0.39	0.37	0.40	0.42	0.44
grasas y aceites (mg/L)	290.00	531.50	262.00	381.05	410.78	675.36	499.94	357.70	407.61	70.38	89.40	128.00
alcalinidad (mg/L)	800.00	542.00	700.00	1400.00	3000.00	566.67	307.33	374.66	252.66	246.00	256.00	316.00
dureza (mg/L)	774.00	456.00	648.00	984.00	567.00	288.00	243.20	275.20	332.80	134.50	362.40	216.00
cloruros (mg/L)	400.00	550.00	451.00	276.23	375.00	400.00	149.45	170.82	140.33	110.00	249.00	63.00
SAAM (mg/L)	250.00	190.00	320.00	230.00	320.40	140.00	260.00	255.00	150.00	170.00	220.00	185.00
sulfatos (mg/L)	1618.00	1564.00	7715.30	5280.90	3595.50	10624.20	1991.82	1155.61	1137.67	1564.40	979.90	1707.30
coliformes totales (NMP/100mL) (X10 ¹¹)	2400.00	240.00	0.24	0.012	0.24	19.60	8.96	83.70	2400.00	1750.00	24000.00	240.00
coliformes fecales (NMP/100mL) (X10 ¹⁶)	910.00	52.00	0.002	.09	0.09	9.80	0.12	0.13	640.00	27.00	3400.00	130.00
nitratos (mg/L)	3.40	2.70	1.12	2.90	4.50	3.18	0.64	0.52	1.50	3.50	3.00	3.10
N orgánico (mg/L)	38.70	51.50	39.50	4.90	3.50	22.91	24.96	86.24	61.97	38.08	60.70	57.40
N amoniacal (mg/L)	60.00	78.70	69.80	100.20	87.40	24.24	49.75	46.46	40.26	61.22	40.93	49.18
Fósforo total (mg/L)	48.20	14.90	27.07	26.90	23.28	38.21	5.43	38.10	46.20	9.40	13.43	14.90
RAS (meq/L)	2.25	2.49	3.75	3.12	2.98	2.42	2.37	0.78	1.34	1.75	3.16	3.13
Calcio (ppm)	75.70	80.14	55.89	107.62	94.73	77.18	57.00	74.76	40.90	49.00	41.45	49.41
Magnesio (ppm)	12.27	17.30	6.13	11.74	18.15	20.34	8.50	7.43	12.71	17.30	12.60	14.80
Sodio (ppm)	79.40	94.11	110.60	127.90	120.75	92.83	72.87	26.46	38.33	56.30	90.25	97.90
Potasio (ppm)	34.70	47.97	48.70	6.63	24.35	1.66	21.90	31.10	1.66	26.80	26.30	6.13
Cobre (ppm)	0.54	0.23	0.13	0.54	0.21	0.04	0.15	0.82	0.12	0.45	0.10	0.41
Hierro (ppm)	3.05	4.43	1.52	2.91	1.84	8.17	1.38	2.90	3.86	0.78	0.68	0.60
Manganeso (ppm)	0.41	0.29	0.20	0.58	0.43	0.34	0.15	0.02	0.01	0.05	0.06	0.20
Zinc (ppm)	0.35	0.21	0.38	0.40	0.51	0.29	0.39	0.27	0.28	0.06	0.12	0.03
Níquel (ppm)	0.12	0.19	0.06	0.04	0.14	0.12	0.05	0.01	0.04	0.02	0.12	0.08

Co, Pb, Cd y Cr no se detectaron

Cuadro D.3. Resultados de los análisis de agua en la estación III a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	27.00	29.00	30.00	33.00	34.00	25.30	24.30	30.00	25.66	28.50	21.50	26.00
temp.del agua (°C)	22.00	21.00	22.50	22.65	26.95	23.56	25.13	24.80	22.30	21.30	20.05	20.00
pH	7.16	8.20	8.70	7.52	7.15	7.65	7.64	8.94	7.37	8.24	8.45	6.40
CE (µmhos/cm)	521.20	484.10	457.00	742.50	506.00	339.66	491.00	295.30	310.30	328.00	360.50	435.00
sólidos sedimentables (mg/L)	0.50	0.63	1.00	0.75	0.20	0.56	0.46	0.13	0.13	0.30	0.20	0.10
sólidos totales (mg/L)	277.00	323.00	309.00	424.00	476.00	301.33	242.66	240.60	282.60	218.50	245.00	298.00
sólidos suspendidos (mg/L)	214.21	138.90	120.08	90.00	113.00	692.33	265.30	84.00	196.00	22.60	0.43	208.11
DQO (mg/L)	1200.00	293.00	168.00	590.60	173.30	577.30	344.60	1232.00	2800.00	2000.00	1206.00	1092.00
DBO ₅ (mg/L)	305.60	369.40	57.57	606.89	129.06	270.00	256.60	127.66	527.86	188.60	337.53	1092.00
OD (mg/L)	3.22	3.27	3.21	3.23	3.41	4.97	5.00	2.86	3.24	4.87	2.02	3.07
grasas y aceites (mg/L)	522.70	116.78	912.00	735.50	569.42	519.90	485.27	177.81	311.28	153.50	216.15	364.80
alcalinidad (mg/L)	600.00	212.00	1600.00	1400.00	2400.00	566.60	235.30	106.00	98.66	96.00	210.00	128.00
dureza (mg/L)	139.20	120.00	86.40	360.00	322.00	40.00	162.40	121.60	197.00	120.00	89.60	81.00
cloruros (mg/L)	250.00	150.00	300.00	25.00	50.00	116.66	83.30	12.16	10.33	12.50	13.50	15.00
SAAM (mg/L)	275.00	240.00	265.20	350.20	200.30	235.00	320.00	250.00	272.00	246.00	325.00	286.00
sulfatos (mg/L)	213.50	943.90	2471.90	934.90	593.40	6254.46	1612.52	358.86	523.40	255.80	721.10	307.20
coliformes totales (NMP/100mL) (X10 ¹¹)	0.02	11000.00	0.00002	0.001	0.17	0.06	88.00	1.30	0.82	1.21	5500.00	1.50
coliformes fecales (NMP/100mL) (X10 ¹⁰)	0.0001	8.20	0.0002	0.01	0.005	0.0008	0.21	0.11	0.02	0.001	240.00	0.001
nitratos (mg/L)	3.18	4.60	1.07	0.81	0.41	0.35	0.35	0.40	1.54	5.94	3.40	1.80
N orgánica (mg/L)	7.70	5.40	16.10	15.16	7.25	9.24	5.83	5.80	4.51	3.36	6.58	5.60
N amoniacal (mg/L)	4.48	6.40	10.45	64.15	57.60	7.22	3.95	10.25	3.56	3.82	4.22	7.46
Fósforo total (mg/L)	12.40	7.20	7.22	3.30	25.03	36.33	2.40	2.93	12.00	7.65	9.05	16.50
RAS (meq/L)	1.80	1.36	2.35	7.73	0.53	0.98	0.57	2.00	0.66	2.41	1.14	2.03
Calcio (ppm)	46.00	38.00	51.82	41.58	61.11	74.38	30.16	50.30	26.21	72.65	21.06	30.01
Magnesio (ppm)	22.20	19.50	7.65	13.40	26.30	19.08	28.10	7.00	15.30	13.40	12.50	7.80
Sodio (ppm)	61.80	42.50	68.40	224.30	19.80	36.82	18.60	57.43	17.46	85.25	26.91	48.33
Potasio (ppm)	10.70	0.21	8.50	9.90	0.71	5.30	6.53	18.20	0.006	0.11	0.47	0.37
Cobre (ppm)	0.23	0.28	0.28	0.21	0.19	0.30	0.35	0.16	0.14	0.21	0.21	0.19
Hierro (ppm)	8.57	2.29	2.32	1.60	2.22	5.41	1.80	3.06	1.05	0.49	1.07	2.20
Manganeso (ppm)	0.34	0.25	0.93	0.21	0.39	0.60	0.16	0.08	0.46	0.33	0.12	0.28
Zinc (ppm)	0.16	0.36	0.25	0.16	0.35	0.37	0.17	0.19	0.10	0.27	0.12	0.37
Níquel (ppm)	0.05	0.03	0.10	0.07	0.05	0.04	0.01	0.07	0.03	0.02	0.04	0.02

Co, Pb, Cd y Cr no se detectaron

Cuadro D.4. Resultados de los análisis de agua en la estación IV a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	27.50	28.00	30.00	35.00	33.50	28.00	29.33	28.33	29.00	28.50	23.00	26.00
temp del agua (°C)	27.00	26.80	26.70	28.10	29.25	26.50	23.10	27.20	25.80	23.35	27.55	27.00
pH	8.20	8.90	9.00	6.47	7.72	7.95	8.30	8.44	7.29	7.92	8.55	7.80
CE (µmhos/cm)	1016.00	1095.00	1191.00	1341.00	1221.00	1795.00	823.00	967.00	942.00	1120.00	1227.00	1011.00
sólidos sedimentables (mg/L)	0.10	0.70	7.50	24.00	0.20	0.93	0.46	13.13	0.60	0.20	0.40	0.50
sólidos totales (mg/L)	510.00	690.00	1400.00	1330.50	1360.50	791.67	691.33	1084.33	711.00	613.50	600.00	796.00
sólidos suspendidos (mg/L)	217.00	391.00	420.00	100.00	220.00	672.00	1824.00	136.00	332.00	783.00	435.00	357.00
IXO (mg/L)	800.00	680.00	128.00	1066.16	1060.00	860.00	546.67	3826.67	4933.33	1600.00	3400.00	1172.00
DIÖ ₅ (mg/L)	401.50	324.50	71.42	636.38	814.52	560.00	198.40	456.83	624.36	321.35	710.00	451.60
ÖD (mg/L)	2.63	2.84	1.01	0.81	1.31	1.61	0.75	2.36	2.28	3.45	1.62	2.43
grasas y aceites (mg/L)	525.80	315.50	619.05	951.00	458.45	531.27	499.22	326.29	541.92	650.65	94.32	490.00
alcalinidad (mg/L)	800.00	306.00	1000.00	1600.00	8550.00	500.00	355.33	243.33	198.00	194.00	162.00	268.00
dureza (mg/L)	298.80	244.80	278.40	912.00	588.00	360.00	296.00	204.42	206.40	72.00	225.60	1368.00
cloruros (mg/L)	350.00	98.90	130.00	450.00	450.00	283.33	172.66	118.15	72.29	101.50	72.50	87.00
SAAM (mg/L)	329.00	470.00	310.40	560.40	751.00	410.00	389.00	357.00	425.00	326.00	382.00	432.00
sulfatos (mg/L)	2040.10	1570.30	6741.00	8314.00	3595.50	11060.77	2304.57	1766.77	2496.50	4498.80	4870.70	2051.80
coliformes totales (NMP/100mL) (X10 ¹¹)	0.0002	0.002	0.0002	1.20	0.24	19.60	88.50	240.00	808.00	1720.00	22500.00	240.00
coliformes fecales (NMP/100mL) (X10 ¹⁰)	0.0007	0.005	0.0002	0.47	0.06	0.03	0.52	7.10	0.49	87.00	9400.00	35.00
nitratos (mg/L)	13.20	16.90	5.60	16.90	13.20	5.03	1.27	0.83	8.47	18.05	11.60	13.80
N orgánico (mg/L)	51.07	36.60	52.08	33.15	30.80	34.72	68.97	32.10	27.08	33.55	44.73	39.60
N amoniacal (mg/L)	133.00	118.50	20.16	134.16	100.25	26.66	21.31	36.07	21.93	27.81	36.86	38.50
Fósforo total (mg/L)	27.50	19.70	12.10	27.10	30.60	41.10	35.50	18.33	19.40	19.55	25.00	23.90
RAS (mcq/L)	3.54	4.64	2.51	4.60	6.12	2.45	1.36	2.37	0.32	1.59	1.61	3.57
Calcio (ppm)	138.90	99.92	119.45	70.76	92.26	73.37	153.02	64.13	82.70	129.90	101.51	58.24
Magnesio (ppm)	16.90	9.70	19.55	17.90	12.02	9.94	8.06	3.70	2.27	9.89	6.15	9.30
Sodio (ppm)	167.30	181.20	112.15	167.3	235.45	74.30	64.10	72.00	11.13	69.95	62.27	111.14
Potasio (ppm)	89.90	60.55	44.95	165.00	36.60	12.20	37.23	55.07	48.70	32.95	17.20	53.90
Cobre (ppm)	0.39	0.33	0.44	0.86	0.28	0.14	0.18	0.16	0.22	0.27	0.40	0.36
Hierro (ppm)	8.39	7.60	3.94	8.43	2.19	4.37	3.06	6.63	5.50	3.78	1.81	2.28
Manganeso (ppm)	0.83	0.36	0.41	0.62	0.33	0.26	0.24	0.24	0.05	0.06	0.34	0.57
Zinc (ppm)	0.58	0.47	0.94	0.92	0.36	0.62	0.37	0.15	0.75	0.66	0.96	1.13
Niquel (ppm)	0.12	0.21	0.29	0.12	0.25	0.05	0.04	0.53	0.11	0.04	0.02	0.29

Co, Pb, Cd y Cr no se detectaron

Cuadro D.5. Resultados de los análisis de agua en la estación V a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	27.00	29.50	30.00	32.00	33.50	29.50	27.00	27.50	28.60	27.20	25.00	26.00
temp. del agua (°C)	20.50	19.40	23.40	26.20	27.80	28.20	27.10	26.30	25.40	24.70	20.20	19.40
pH	7.90	7.20	7.00	6.90	6.80	7.50	7.40	7.70	7.10	7.40	7.10	7.30
Cl: (µmhos/cm)	1344.00	452.00	162.00	1823.00	1315.00	917.33	336.00	671.33	906.66	1020.00	898.06	1891.00
sólidos sedimentables (mg/L)	0.27	1.11	0.11	0.14	0.13	17.50	9.72	0.10	0.12	0.11	0.21	0.25
sólidos totales (mg/L)	729.00	867.00	923.00	931.00	820.00	1645.00	879.00	712.00	727.00	840.00	923.00	897.00
sólidos suspendidos (mg/L)	141.00	237.00	65.00	102.00	77.00	723.00	295.00	73.00	71.00	84.00	96.00	124.00
DOO (mg/L)	434.00	495.00	387.00	561.00	387.00	1197.00	466.00	255.00	199.00	220.00	347.00	418.00
DBO ₅ (mg/L)	239.00	229.00	254.00	241.00	197.00	756.00	119.00	98.00	83.00	94.00	112.00	217.00
OD (mg/L)	1.11	1.12	2.10	2.13	1.27	1.22	2.17	2.92	1.23	2.51	1.19	1.29
grasas y aceites (mg/L)	297.50	299.00	37.30	31.20	326.80	118.20	24.10	5.60	12.16	443.50	37.20	199.10
alcalinidad (mg/L)	1800.00	1300.00	2100.00	530.50	325.00	110.00	959.00	97.00	214.00	127.00	680.00	320.00
dureza (mg/L)	197.50	243.70	233.40	229.60	217.80	321.20	198.20	214.10	211.00	204.20	221.00	194.00
cloruros (mg/L)	84.00	77.00	87.00	93.40	72.00	127.20	53.00	143.00	640.00	91.20	88.00	101.90
SAAM (mg/L)	250.00	240.00	284.00	275.00	320.00	360.00	190.00	255.00	220.00	195.00	278.00	210.00
sulfatos (mg/L)	1221.00	994.40	1126.20	897.45	1214.71	945.32	1143.21	449.84	1227.24	893.95	1010.32	774.92
coliformes totales (NMP/100ml.) (X10 ¹¹)	0.01	0.24	68.00	170.00	22.50	24.00	820.00	5500.0	12.10	83.00	0.01	0.42
coliformes fecales (NMP/100ml.) (X10 ¹⁰)	0.002	0.22	0.64	81.00	7.20	38.00	91.00	710.00	2.40	0.47	0.23	0.06
nitratos (mg/L)	0.34	0.43	0.002	0.10	0.25	0.08	0.36	0.18	0.01	0.21	0.06	0.38
N orgánico (mg/L)	16.14	14.12	13.27	16.14	11.32	49.31	27.05	12.21	14.22	13.14	17.75	12.14
N amoniacal (mg/L)	20.14	26.32	25.17	31.21	27.32	49.35	12.90	21.27	18.36	17.05	32.27	22.90
fósforo total (mg/L)	17.22	13.23	24.01	32.33	6.41	4.93	12.80	17.66	9.14	26.54	14.80	8.30
RAS (mcq/L)	2.45	0.72	1.65	1.97	3.92	1.94	1.61	0.98	2.40	1.75	2.53	1.94
Calcio (ppm)	117.13	77.73	102.61	55.30	88.60	60.01	130.90	75.83	79.18	51.40	131.48	35.83
Magnesio (ppm)	21.60	11.49	7.14	12.01	10.25	37.80	11.89	20.81	21.34	19.60	13.50	12.81
Sodio (ppm)	110.17	76.21	64.26	62.34	146.30	78.30	71.95	37.28	93.38	58.28	114.40	53.28
Potasio (ppm)	39.50	83.90	42.60	21.20	23.37	55.55	47.80	27.20	59.30	47.37	35.60	30.80
Cobre (ppm)	0.47	0.68	0.27	0.48	0.38	0.16	0.41	0.39	0.19	0.23	0.31	0.12
Hierro (ppm)	1.61	2.13	1.13	1.50	1.61	2.82	1.38	2.32	2.22	1.07	2.50	1.91
Manganeso (ppm)	0.23	0.21	0.16	0.12	0.27	0.34	0.04	0.41	0.19	0.15	0.21	0.12
Zinc (ppm)	0.10	0.17	0.12	0.15	0.36	0.16	0.19	0.24	0.37	0.41	0.11	0.22
Níquel (ppm)	0.11	0.05	0.12	0.04	0.027	0.14	0.06	0.02	0.27	0.11	0.06	0.14

Co, Pb, Cd y Cr no se detectaron

Cuadro D.6. Resultados de los análisis de agua en la estación VI a lo largo del año

Parámetro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
temp. ambiente (°C)	26.00	29.00	29.50	31.00	32.00	29.50	25.50	28.00	28.50	27.00	26.00	25.50
temp. del agua (°C)	17.50	19.50	24.90	25.00	27.00	26.50	27.00	27.50	23.00	25.00	22.00	20.00
pH	7.90	7.30	7.40	7.60	7.50	7.60	7.80	7.40	7.30	7.10	7.40	7.50
CE (umhos/cm)	945.00	1062.00	1035.00	1275.00	1496.00	873.00	1010.00	985.00	925.00	940.00	1205.00	1120.00
sólidos sedimentables (mg/L)	0.17	0.71	0.10	1.02	2.14	0.32	0.45	0.33	0.08	0.7	0.18	0.14
sólidos totales (mg/L)	725.00	811.00	797.00	824.00	745.00	1012.00	697.00	758.00	714.00	659.00	927.00	895.00
sólidos suspendidos (mg/L)	134.00	175.00	77.00	68.00	215.00	165.00	98.00	87.00	117.00	46.00	63.00	104.00
DXO (mg/L)	452.00	407.00	423.00	321.00	452.00	254.00	320.00	317.00	241.00	155.00	243.00	403.00
DBO ₅ (mg/L)	127.00	214.00	332.00	165.00	170.00	160.00	156.00	169.00	43.00	39.00	113.00	142.00
OD (mg/L)	0.87	1.02	1.34	1.61	2.23	2.28	3.18	1.74	2.34	1.46	2.63	1.24
grasas y aceites (mg/L)	248.00	197.00	39.00	27.00	118.00	94.00	17.50	7.00	36.00	42.00	45.00	120.00
alcalinidad (mg/L)	1200.00	1350.00	1600.00	475.00	355.00	96.00	153.00	89.00	337.00	162.00	521.00	268.00
dureza (mg/L)	207.00	225.00	229.00	244.00	269.00	208.00	217.00	224.00	204.00	222.00	279.00	199.00
cloruros (mg/L)	87.00	72.00	86.00	95.00	77.00	111.00	47.00	85.00	70.00	79.00	45.00	83.00
SAAM (mg/L)	260.00	275.00	350.00	270.00	340.00	170.00	185.00	240.00	190.00	210.00	216.00	212.00
sulfatos (mg/L)	1250.20	1120.50	970.30	857.50	1121.40	923.70	1110.00	420.70	1115.10	714.60	997.50	612.60
coliformes totales (NMP/100ml) (X10 ⁴)	0.0002	0.0018	0.15	0.017	1.20	22.00	0.24	2.40	13.00	12.10	0.24	0.12
coliformes fecales (NMP/100ml) (X10 ⁶)	0.00051	0.0086	0.54	0.021	6.50	0.48	0.91	1.10	0.34	72.00	1.30	0.14
nitratos (mg/L)	0.27	0.36	0.001	0.10	0.07	0.04	0.27	0.12	0.001	0.02	0.46	0.24
N orgánico (mg/L)	12.30	12.40	11.90	13.10	36.60	19.50	9.40	6.40	12.70	12.60	12.10	11.20
N amoniacal (mg/L)	19.60	16.10	25.60	18.30	26.10	25.30	17.20	11.90	12.20	25.00	21.60	20.10
Fósforo total (mg/L)	13.70	11.50	18.40	13.60	2.40	12.60	11.30	13.40	17.80	16.20	21.50	4.60
RAS (mcg/L)	2.02	1.80	1.30	2.62	3.19	2.22	1.70	1.98	2.13	1.55	1.80	1.89
Calcio (ppm)	72.20	61.80	81.10	95.80	50.60	70.10	45.10	91.60	50.40	41.60	75.80	32.70
Magnesio (ppm)	18.60	9.91	5.12	9.10	8.52	27.80	6.40	11.98	10.43	17.60	8.91	9.11
Sodio (ppm)	69.71	56.12	44.62	52.40	94.21	87.30	46.20	75.86	63.83	47.81	62.40	47.64
Potasio (ppm)	27.40	63.90	32.40	19.10	17.70	41.50	37.80	16.80	32.30	23.70	26.80	17.80
Cobre (ppm)	0.32	0.46	0.19	0.37	0.27	0.19	0.32	0.27	0.18	0.32	0.42	0.14
Hierro (ppm)	1.19	2.23	1.90	1.40	1.31	1.95	1.11	2.40	2.10	1.21	2.11	1.32
Manganeso (ppm)	0.22	0.17	0.14	0.11	0.29	0.31	0.22	0.17	0.11	0.16	0.34	0.19
Zinc (ppm)	0.12	0.10	0.15	0.11	0.10	0.14	0.17	0.19	0.24	0.37	0.12	0.24
Niquel (ppm)	0.10	0.02	0.11	0.02	0.19	0.12	0.04	0.01	0.01	0.10	0.07	0.27

Co, Pb, Cd y Cr no se detectaron

D.2. Resultados de los análisis de suelos

Cuadro D.7. Resultados de los parámetros de los suelos de temporal (municipio de E.Zapata) y regados con aguas del manantial "Las Fuentes" (municipio de Jiutepec)

PARÁMETRO	SUELOS DE TEMPORAL	SUELOS REGADOS CON AGUA DEL MANANTIAL "LAS FUENTES"
densidad aparente (g/cm)	1.25	1.32
densidad real (g/cm)	2.29	2.29
% arena	25.00	28.00
% arcilla	40.00	38.00
% limo	35.00	34.00
clase textural	migajon arcilloso	migajon arcilloso
% de porosidad	45.41	42.35
C.E. (mmohos/cm)	0.48	0.20
pH	6.42	6.80
% materia orgánica	1.40	1.67
carbonatos (meq/L)	0.0	0.0
bicarbonatos (meq/L)	1.30	0.80
cloruros (meq/L)	0.75	0.75
sulfatos (meq/L)	1.37	1.42
cationes intercambiables:		
Ca (meq/100 g)	20.47	29.00
Mg (meq/100 g)	12.15	14.00
Na (meq/100 g)	0.56	1.52
K (meq/100 g)	0.74	0.77
C.I.C. (meq/ 100 g)	45.00	43.00
metales totales:		
Cu (ppm)	33.00	20.00
Ni (ppm)	41.80	38.80
Co (ppm)	25.6	30.20
Zn (ppm)	54.20	36.10
Cr (ppm)	25.00	19.00
Pb (ppm)	ND	ND
Cd (ppm)	ND	ND
metales disponibles:		
Cu (ppm)	10.70	8.30
Ni (ppm)	3.00	3.80
Co (ppm)	ND	ND
Zn (ppm)	3.80	3.00
Cr (ppm)	ND	ND
Pb (ppm)	ND	ND
Cd (ppm)	ND	ND
PSB (meq/100 g suelos seco)	75.00	105
PSI (meq/L)	1.65	3.35

Cuadro D.8. Resultados de los parámetros de los suelos del municipio de Jiutepec, regados con aguas de la barranca "Puente Blanco"

PARÁMETRO	P. 1*	P. 2*	P. 3*	P. 4*	P. 5*	P. 6*	P. 7*
densidad aparente (g/cm)	1.22	1.22	1.35	1.31	1.20	1.20	1.20
densidad real (g/cm)	2.86	2.44	2.65	2.26	2.25	2.25	2.44
C.E. (mmhos/cm)	1.12	1.02	0.41	0.41	0.55	0.46	0.82
pH	7.50	7.50	7.70	7.60	6.20	5.90	5.10
% arena	35.28	27.28	39.28	33.28	26.28	27.28	25.28
% arcilla	44.44	51.44	35.52	39.44	49.44	49.44	46.44
% limo	20.28	21.28	25.20	27.28	24.28	23.28	28.28
clase textural	arcilla	arcilla	fco-arcil.	fco-arcil	arcilla	arcilla	arcilla
% de porosidad	57.34	50.00	49.05	42.03	46.66	46.66	47.54
% materia orgánica	1.17	1.45	1.10	1.98	2.34	2.34	2.99
carbonatos (meq/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
bicarbonatos (meq/L)	1.50	1.50	2.50	1.50	1.00	1.00	1.00
cloruros (meq/L)	1.12	1.40	1.12	1.12	1.40	1.40	1.12
sulfatos (meq/L)	6.80	6.34	1.66	2.63	3.76	2.32	4.48
cationes intercambiables:							
Cu (meq/100 g)	18.72	26.05	14.18	18.70	17.50	16.87	18.20
Mg (meq/100 g)	3.06	6.02	4.99	3.16	8.45	8.45	12.63
Na (meq/100 g)	0.49	1.02	0.47	0.67	0.75	0.77	0.49
K (meq/100 g)	2.82	3.47	3.20	0.78	3.86	2.55	4.12
C.I.C. (meq/100 g)	54.00	40.00	35.00	52.00	56.00	51.00	65.00
metales totales:							
Cu (ppm)	36.51	41.55	36.51	31.47	31.47	36.51	21.39
Ni (ppm)	42.62	58.28	42.62	50.45	31.87	41.32	93.53
Co (ppm)	22.00	32.00	16.00	19.00	12.60	20.00	39.00
Zn (ppm)	91.75	67.99	91.74	102.97	35.64	24.42	114.19
Cr (ppm)	12.00	19.00	12.00	16.70	5.50	12.00	34.50
Pb (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
metales disponibles:							
Cu (ppm)	4.60	3.09	0.57	0.57	10.40	8.80	4.65
Ni (ppm)	4.29	4.29	1.36	1.75	14.66	ND	10.75
Co (ppm)	2.35	2.35	0.55	0.65	8.00	10.95	11.85
Zn (ppm)	1.36	0.99	0.18	1.67	2.20	1.36	1.50
Cr (ppm)	0.45	0.50	0.35	0.52	0.47	0.40	0.37
Pb (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PSB (meq/100 g suelos seco)	46.00	91.00	65.00	44.00	61.00	56.00	54.00
PSI (meq/L)	1.95	2.70	2.05	2.87	2.40	2.68	1.30

* parcelas pertenecientes al ejido de Jiutepec.

Cuadro D.9. Resultados de los parámetros de los suelos del municipio de E. Zapata, regados con aguas de la barranca "Puente Blanco"

PARÁMETRO	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9	C 10	C 11	C 12
densidad aparente (g/cm)	1.25	1.28	1.35	1.20	1.13	1.25	1.21	1.20	1.23	1.28	1.21	1.28
densidad real (g/cm)	2.38	2.69	2.59	2.19	2.69	2.84	2.23	2.75	2.84	2.61	2.38	2.88
C.E. (mmohos/cm)	2.10	1.72	0.75	1.56	1.87	0.32	0.40	0.44	0.17	1.55	0.36	0.23
pH	7.40	6.70	5.80	6.00	6.50	6.30	6.20	6.30	6.10	7.50	7.60	6.30
% arena	31.28	13.28	39.28	20.28	23.28	20.28	13.28	15.28	15.28	23.28	24.28	18.28
% arcilla	35.44	60.44	29.44	45.44	45.44	57.44	66.44	58.44	60.44	51.44	47.44	61.44
% limo	33.28	26.28	31.28	34.28	31.28	22.28	20.28	26.28	24.28	25.25	28.28	20.28
clase textural	fco-ar	arci.	fco-ar	arci.								
% de porosidad	47.47	52.41	47.87	45.20	57.99	55.98	45.73	56.36	56.69	50.95	49.15	55.55
% materia orgánica	4.73	2.24	2.36	4.46	3.67	1.43	1.39	2.29	2.10	2.18	2.21	3.09
carbonatos (meq/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
bicarbonatos (meq/L)	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	2.00	1.00	1.50	2.00	1.00
cloruros (meq/L)	1.12	5.60	1.12	1.40	5.60	1.12	1.12	1.12	0.84	1.68	0.84	1.12
sulfatos (meq/L)	9.48	7.48	4.48	9.92	7.48	2.16	2.16	2.16	2.70	12.66	2.44	4.30
cationes intercambiables:												
Ca (meq/100 g)	27.90	16.10	10.31	19.73	15.75	19.88	19.33	22.85	10.22	12.85	14.26	13.81
Mg (meq/100 g)	5.20	8.97	2.47	5.80	13.25	1.89	12.60	12.85	5.20	5.30	3.87	12.84
Na (meq/100 g)	0.72	1.62	0.98	0.43	1.56	0.22	0.95	0.22	0.69	1.40	0.53	0.90
K (meq/ 100 g)	3.34	4.90	0.92	1.30	0.67	4.25	0.37	0.67	0.42	1.28	0.66	0.67
CIC (meq/ 100 g)	60.00	47.00	57.00	62.00	56.00	63.00	61.00	68.00	65.00	50.00	35.00	71.00
metales totales:												
Cu (ppm)	66.75	31.47	76.84	41.55	36.51	21.39	21.39	36.51	41.55	36.51	41.55	41.55
Ni (ppm)	109.2	93.53	113.1	81.78	89.61	54.37	50.16	50.45	66.12	58.28	38.7	54.37
Co (ppm)	31.00	36.00	28.00	27.00	35.00	26.00	20.00	22.00	32.00	24.00	16.00	28.00
Zn (ppm)	276.9	114.2	338.6	209.6	153.5	63.70	18.81	49.00	59.10	79.86	55.74	51.25
Cr (ppm)	42.00	15.00	59.00	40.60	28.00	25.50	3.70	32.00	32.00	19.50	11.00	13.50
Pb (ppm)	42.37	2.09	56.64	18.57	ND	26.14						
Cd (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
metales disponibles:												
Cu (ppm)	14.93	6.87	21.49	14.93	8.13	3.34	3.84	6.87	7.62	6.80	11.91	7.37
Ni (ppm)	5.66	1.94	14.86	9.97	4.68	8.79	ND	10.95	10.55	2.73	2.33	3.51
Co (ppm)	0.60	2.75	4.60	7.15	5.75	8.15	10.35	7.55	9.25	1.00	1.05	4.90
Zn (ppm)	48.34	3.15	63.50	25.07	8.00	0.96	2.06	1.86	1.16	2.23	1.41	1.77
Cr (ppm)	0.60	0.22	0.80	0.60	0.37	0.50	0.50	0.50	0.50	0.95	0.55	0.90
Pb (ppm)	13.09	2.75	22.23	10.92	ND							
Cd (ppm)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
PSB (meq/100g suelos seco)	61.00	67.00	25.00	43.00	55.00	41.00	54.00	53.00	25.00	41.00	55.00	39.00
PSI (meq/L)	1.90	5.10	6.60	1.50	4.90	0.83	2.8	0.60	4.17	6.72	2.74	3.18

C 1. campo "Las compuertas". C 2. campo "La cienega". C 3. campo "San Gabriel". C 4. campo "Verde". C 5. campo "Tamalaca". C 6. campo "Amatitlan Tezoyuca". C 7. campo "El Callado Tezoyuca". C 8. campo "Chalma Tezoyuca". C 9. campo "San Valentin Tezoyuca". C 10. campo "Teacalita". C 11. campo "El Salto Tepetzingo". C 12. campo "Sayola Tepetzingo"

APENDICE E

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

E.1. ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS DOS SITIOS DE MUESTREO DE LA ECCACIV

Cuadro E.1. Análisis de varianza de temperatura ambiente por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.22815	1	0.22815	0.031387	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	159.9183	22	7.269014			
Total	160.1465	23				

Cuadro E.2. Análisis de varianza de temperatura ambiente a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	115.9997	11	10.54543	2.86647	2.717329	*
Dentro de los meses (error)	44.1467	12	3.678892			
Total	160.1465	23				

Cuadro E.3. Análisis de varianza de temperatura del agua por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	45.2376	1	45.2376	11.52005	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	86.39086	22	3.926857			
Total	131.6285	23				

Cuadro E.4. Análisis de varianza de temperatura del agua a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	51.43811	11	4.676192	0.699764	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	80.19035	12	6.682529			
Total	131.6285	23				

Cuadro E.5. Análisis de varianza de pH por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	8.027267	1	8.027267	7.170733	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	24.62787	22	1.119448			
Total	32.65513	23				

Cuadro E.6. Análisis de varianza de pHa través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	10.80663	11	0.982421	0.539582	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	21.8485	12	1.820708			
Total	32.65513	23				

Cuadro E.7. Análisis de varianza de conductividad eléctrica por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1097589	1	1097589	4.374342	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	5520137	22	250915.3			
Total	6617727	23				

Cuadro E.8. Análisis de varianza de conductividad eléctrica a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	4385713	11	398701.2	2.143542	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	2232013	12	186001.1			
Total	6617727	23				

Cuadro E.9. Análisis de varianza de sólidos sedimentables por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	133.7648	1	133.7648	18.72423	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	157.1668	22	7.143944			
Total	290.9316	23				

Cuadro E.10. Análisis de varianza de sólidos sedimentables a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	81.16108	11	7.37828	0.422077	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	209.7705	12	17.48088			
Total	290.9316	23				

Cuadro E.11. Análisis de varianza de sólidos totales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	648489	1	648489	3.542318	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	4027520	22	183069.1			
Total	4676009	23				

Cuadro E.12. Análisis de varianza de sólidos totales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1988850	11	180804.6	0.807416	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	2687159	12	223929.9			
Total	4676009	23				

Cuadro E.13. Análisis de varianza de sólidos suspendidos por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	54751.11	1	54751.11	1.467298	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	820913.3	22	37314.24			
Total	875664.4	23				

Cuadro E.14. Análisis de varianza de sólidos suspendidos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	575379.5	11	52307.23	2.090304	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	300284.9	12	25023.74			
Total	875664.4	23				

Cuadro E.15. Análisis de varianza de coliformes fecales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	9.79E+25	1	9.79E+25	2.029942	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.06E+27	22	4.82E+25			
Total	1.16E+27	23				

Cuadro E.16. Análisis de varianza de coliformes fecales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	5.56E+26	11	5.06E+25	1.005585	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	6.03E+26	12	5.03E+25			
Total	1.16E+27	23				

Cuadro E.17. Análisis de varianza de DQO por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	22483427	1	22483427	7.338261	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	67404986	22	3063863			
Total	89888413	23				

Cuadro E.18. Análisis de varianza de DQO a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	56846551	11	5167868	1.876844	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	33041862	12	2753488			
Total	89888413	23				

Cuadro E.19. Análisis de varianza de DBO por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	345676.8	1	345676.8	6.836466	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1112401	22	50563.67			
Total	1458078	23				

Cuadro E.20. Análisis de varianza de DBO a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1001807	11	91073.34	2.395244	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	456270.9	12	38022.58			
Total	1458078	23				

Cuadro E.21. Análisis de varianza de OD por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	3.75E-05	1	3.75E-05	0.00607	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	0.135925	22	0.006178			
Total	0.135963	23				

Cuadro E.22. Análisis de varianza de OD a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.054613	11	0.004965	0.732357	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	0.08135	12	0.006779			
Total	0.135963	23				

Cuadro E.23. Análisis de varianza de grasas y aceites por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	512109.7	1	512109.7	15.84913	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	710854	22	32311.55			
Total	1222964	23				

Cuadro E.24. Análisis de varianza de grasas y aceites a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	609849.2	11	55440.84	1.085099	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	613114.5	12	51092.88			
Total	1222964	23				

Cuadro E.25. Análisis de varianza de alcalinidad por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1397436	1	1397436	1.73566	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	17712914	22	805132.5			
Total	19110350	23				

Cuadro E.26. Análisis de varianza de alcalinidad a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	15624740	11	1420431	4.890154	2.717329	*
Dentro de los meses (error)	3485610	12	290467.5			
Total	19110350	23				

Cuadro E.27. Análisis de varianza de dureza por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	30212543	1	30212543	3.332914	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.99E+08	22	9064904			
Total	2.3E+08	23				

Cuadro E.28. Análisis de varianza de dureza a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1.09E+08	11	9905954	0.985055	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	1.21E+08	12	10056244			
Total	2.3E+08	23				

Cuadro E.29. Análisis de varianza de cloruros por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	96286.93	1	96286.93	2.797994	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	757082.5	22	34412.84			
Total	853369.4	23				

Cuadro E.30. Análisis de varianza de cloruros a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	647972.5	11	58906.59	3.441527	2.717329	*
Dentro de los meses (error)	205396.9	12	17116.41			
Total	853369.4	23				

Cuadro E.31. Análisis de varianza de SAAM por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	32032.43	1	32032.43	6.950257	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	101393.9	22	4608.812			
Total	133426.3	23				

Cuadro E.32. Análisis de varianza de SAAM a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	23955.77	11	2177.798	0.238727	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	109470.5	12	9122.543			
Total	133426.3	23				

Cuadro E.33. Análisis de varianza de sulfatos por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	3425452	1	3425452	0.195193	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	3.86E+08	22	17549037			
Total	3.9E+08	23				

Cuadro E.34. Análisis de varianza de sulfatos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	3.2E+08	11	29088284	5.020043	2.717329	*
Dentro de los meses (error)	69533148	12	5794429			
Total	3.9E+08	23				

Cuadro E.35. Análisis de varianza de coliformes totales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1.44E+29	1	1.44E+29	0.580001	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	5.46E+30	22	2.48E+29			
Total	5.6E+30	23				

Cuadro E.36. Análisis de varianza de coliformes totales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	3.92E+30	11	3.57E+29	2.552654	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	1.68E+30	12	1.4E+29			
Total	5.6E+30	23				

Cuadro E.37. Análisis de varianza de nitratos por sitio de muestreo

origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	22.75654	1	22.75654	5.673036	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	88.24973	22	4.011351			
Total	111.0063	23				

Cuadro E.38. Análisis de varianza de nitratos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	59.70171	11	5.427428	1.269461	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	51.30455	12	4.275379			
Total	111.0063	23				

Cuadro E.39. Análisis de varianza de nitrógeno orgánico por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	12109.98	1	12109.98	17.01451	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	15658.38	22	711.7446			
Total	27768.36	23				

Cuadro E.40. Análisis de varianza de nitrógeno orgánico a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	7579.214	11	689.0194	0.409538	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	20189.15	12	1682.429			
Total	27768.36	23				

Cuadro E.41. Análisis de varianza de nitrógeno amoniacal por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	8965.254	1	8965.254	7.12218	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	27693.15	22	1258.779			
Total	36658.4	23				

Cuadro E.42. Análisis de varianza de nitrógeno amoniacal a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	22403.7	11	2036.7	1.714551	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	14254.7	12	1187.892			
Total	36658.4	23				

Cuadro E.43. Análisis de varianza de fósforo total por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	2996.465	1	2996.465	6.541159	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	10078.06	22	458.0938			
Total	13074.53	23				

Cuadro E.44. Análisis de varianza de fósforo total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	7403.596	11	673.0542	1.424219	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	5670.932	12	472.5777			
Total	13074.53	23				

Cuadro E.45. Análisis de varianza de calcio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	12866.77	1	12866.77	9.463872	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	29910.48	22	1359.567			
Total	42777.25	23				

Cuadro E.46. Análisis de varianza de calcio a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	17429.77	11	1584.524	0.750145	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	25347.48	12	2112.29			
Total	42777.25	23				

Cuadro E.47. Análisis de varianza de magnesio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	2.190104	1	2.190104	0.021701	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	2220.282	22	100.9219			
Total	2222.472	23				

Cuadro E.48. Análisis de varianza de magnesio a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1376.211	11	125.1101	1.774065	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	846.2607	12	70.52173			
Total	2222.472	23				

Cuadro E.49. Análisis de varianza de sodio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	9534.911	1	9534.911	4.843283	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	43311.12	22	1968.687			
Total	52846.04	23				

Cuadro E.50. Análisis de varianza de sodio a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	34675.27	11	3152.297	2.081781	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	18170.77	12	1514.231			
Total	52846.04	23				

Cuadro E.51. Análisis de varianza de potasio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	344.511	1	344.511	2.042914	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	3710.015	22	168.637			
Total	4054.526	23				

Cuadro E.52. Análisis de varianza de potasio a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1830.789	11	166.4354	0.898139	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	2223.737	12	185.3114			
Total	4054.526	23				

Cuadro E.53. Análisis de varianza de cobre por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.001204	1	0.001204	0.024651	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.074658	22	0.48848			
Total	1.075863	23				

Cuadro E.54. Análisis de varianza de cobre a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.518113	11	0.047101	1.013382	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	0.55775	12	0.046479			
Total	1.075863	23				

Cuadro E.55. Análisis de varianza de hierro por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	14.36854	1	14.36854	4.126359	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	76.60696	22	3.482134			
Total	90.9755	23				

Cuadro E.56. Análisis de varianza de hierro a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	39.43435	11	3.584941	0.834659	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	51.54115	12	4.295096			
Total	90.9755	23				

Cuadro E.57. Análisis de varianza de manganeso por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.087604	1	0.087604	2.600729	4.300944	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	0.741058	22	0.033684			
Total	0.828663	23				

Cuadro E.58. Análisis de varianza de manganeso a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.612013	11	0.055638	3.081699	2.717329	*
Dentro de los meses (error)	0.21665	12	0.018054			
Total	0.828663	23				

Cuadro E.59. Análisis de varianza de zinc por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1.820504	1	1.820504	19.55437	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	2.048192	22	0.0931			
Total	3.868696	23				

Cuadro E.60. Análisis de varianza de zinc a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.611246	11	0.055568	0.204704	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	3.25745	12	0.271454			
Total	3.868696	23				

Cuadro E.61. Análisis de varianza de níquel por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.056067	1	0.056067	8.35022	4.300944	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	0.147717	22	0.006714			
Total	0.203783	23				

Cuadro E.62. Análisis de varianza de níquel a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.083583	11	0.007598	0.758584	2.717329	NS
Dentro de los meses (error)	0.1202	12	0.010017			
Total	0.203783	23				

E.2. ANÁLISIS DE VARIANZA DEL AGUA DE RIEGO**Cuadro E.63 Análisis de varianza de la temperatura ambiente por sitio de muestreo**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	7.071133	3	2.357044	0.280344	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	369.9381	44	8.407685			
Total	377.0093	47				

Cuadro E.64. Análisis de varianza de la temperatura ambiente a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	312.6367	11	28.42152	15.89458	2.066606	*
Dentro de los meses (error)	64.37255	36	1.788126			
Total	377.0093	47				

Cuadro E.65. Análisis de varianza de la temperatura del agua por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	95.24401	3	31.748	4.24727 2	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	328.8963	44	7.474916			
Total	424.1403	47				

Cuadro E.66. Análisis de varianza de la temperatura del agua a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	191.0952	11	17.37229	2.683611	2.066606	*
Dentro de los meses (error)	233.0451	36	6.473476			
Total	424.1403	47				

Cuadro E.67. Análisis de varianza del pH por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	4.111425	3	1.370475	4.61377	2.816464	**
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	13.06977	44	0.29704			
Total	17.18119	47				

Cuadro E.68. Análisis de varianza del pH a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	4.910042	11	0.446367	1.309513	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	12.27115	36	0.340865			
Total	17.18119	47				

Cuadro E.69. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	3699299	3	1233100	12.1291 3	2.816464	**
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	4473230	44	101664.3			
Total	8172529	47				

Cuadro E.70. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1685808	11	153255.2	0.850536	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	6486721	36	180186.7			
Total	8172529	47				

Cuadro E.71. Análisis de varianza de los sólidos sedimentables por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	110.8101	3	36.93668	1.724434	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	942.4623	44	21.4196			
Total	1053.272	47				

Cuadro E.72. Análisis de varianza de los sólidos sedimentables través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	197.3586	11	17.94169	0.754633	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	855.9138	36	23.77538			
Total	1053.272	47				

Cuadro E.73. Análisis de varianza de los sólidos totales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	2884016	3	961338.7	21.19783	2.816464	**
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1995435	44	45350.8			
Total	4879451	47				

Cuadro E.74. Análisis de varianza de los sólidos totales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	715045.4	11	65004.13	0.561941	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	4164406	36	115677.9			
Total	4879451	47				

Cuadro E.75. Análisis de varianza de los sólidos suspendidos por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1046076	3	348691.8	4.865096	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	3153574	44	71672.14			
Total	4199650	47				

Cuadro E.76. Análisis de varianza de los sólidos suspendidos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1289881	11	117261.9	1.450778	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	2909769	36	80826.92			
Total	4199650	47				

Cuadro E.77. Análisis de varianza de los coliformes fecales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	5.22E+26	3	1.74E+26	0.94169	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	8.13E+27	44	1.85E+26			
Total	8.65E+27	47				

Cuadro E.78. Análisis de varianza de los coliformes fecales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	2.1E+27	11	1.9E+26	1.045738	2.066666	NS
Dentro de los meses (error)	6.56E+27	36	1.82E+26			
Total	8.65E+27	47				

Cuadro E.79. Análisis de varianza de la DQO por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1.3465597	3	4488532	5.950235	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	33191196	44	754345.4			
Total	46656792	47				

Cuadro E.80. Análisis de varianza de la DQO a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	11248691	11	1022608	1.039703	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	35408101	36	983558.4			
Total	46656792	47				

Cuadro E.81. Análisis de varianza de la DBO₅ por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	698789.8	3	232929.9	5.640133	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1817141	44	41298.66			
Total	2515931	47				

Cuadro E.82. Análisis de varianza de la DBO₅ a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	481128.1	11	43738.92	0.773835	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	2034803	36	56522.29			
Total	2515931	47				

Cuadro E.83. Análisis de varianza del OD por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	26.87091	3	8.956969	14.28496	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	27.58893	44	0.627021			
Total	54.45983	47				

Cuadro E.84. Análisis de varianza del OD a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	6.577556	11	0.59796	0.449572	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	47.88228	36	1.330063			
Total	54.45983	47				

Cuadro E.85. Análisis de varianza de las grasas y aceites por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1488241	3	496080.3	14.90726	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1464221	44	33277.76			
Total	2952462	47				

Cuadro E.86. Análisis de varianza de las grasas y aceites a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	499236.5	11	45385.14	0.666007	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	2453226	36	68145.16			
Total	2952462	47				

Cuadro E.87. Análisis de varianza de la alcalinidad por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	2857265	3	952421.8	0.553027	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	75776689	44	1722197			
Total	78633954	47				

Cuadro E.88. Análisis de varianza de la alcalinidad a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	28904818	11	2627711	1.902257	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	49729136	36	1381365			
Total	78633954	47				

Cuadro E.89. Análisis de varianza de la dureza por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	476548.3	3	158849.4	4.294576	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1627489	44	36988.38			
Total	2104037	47				

Cuadro E.90. Análisis de varianza de la dureza a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	446459.7	11	40587.25	0.881492	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	1657577	36	46043.82			
Total	2104037	47				

Cuadro E.91. Análisis de varianza de los cloruros por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	111696.1	3	37232.02	2.615458	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	626356.3	44	14235.37			
Total	738052.4	47				

Cuadro E.92. Análisis de varianza de los cloruros a través del tiempo

Origen de las variaciones	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F	valor crítico para F	observaciones
Entre meses (tratamientos)	114958	11	10450.73	0.603803	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	623094.4	36	17308.18			
Total	738052.4	47				

Cuadro E.93. Análisis de varianza de las SAAM por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	278366.7	3	92788.91	16.95368	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	240815.6	44	5473.082			
Total	519182.4	47				

Cuadro E.94. Análisis de varianza de las SAAM a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	85616.92	11	7783.357	0.646271	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	433565.4	36	12043.48			
Total	519182.4	47				

Cuadro E.95. Análisis de varianza de los sulfatos por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	93600486	3	31200162	10.32484	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.33E+08	44	3021855			
Total	2.27E+08	47				

Cuadro E.96. Análisis de varianza de los sulfatos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	55551170	11	5050106	1.063112	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	1.71E+08	36	4750304			
Total	2.27E+08	47				

Cuadro E.97. Análisis de varianza de los coliformes totales por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	3.14E+29	3	1.05E+29	0.754656	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	6.11E+30	44	1.39E+29			
Total	6.42E+30	47				

Cuadro E.98. Análisis de varianza de los coliformes totales a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	1.86E+30	11	1.69E+29	1.332439	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	4.56E+30	36	1.27E+29			
Total	6.42E+30	47				

Cuadro E.99. Análisis de varianza de los nitratos por sitio de muestreo

origen de las variaciones	suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F	valor crítico para F	observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	858.5701	3	286.19	28.52836	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	441.398	44	10.03177			
Total	1299.968	47				

Cuadro E.100. Análisis de varianza de los nitratos a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	155.2147	11	14.11043	0.443742	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	1144.753	36	31.79871			
Total	1299.968	47				

Cuadro E.101. Análisis de varianza del nitrógeno orgánico por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	7242.42	3	2414.14	29.11252	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	3648.676	44	82.92445			
Total	10891.1	47				

Cuadro E.102. Análisis de varianza del nitrógeno orgánico a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	975.0123	11	88.63748	0.321795	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	9916.083	36	275.4468			
Total	10891.1	47				

Cuadro E.103. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	14587.68	3	4862.559	7.025925	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	30451.88	44	692.0882			
Total	45039.56	47				

Cuadro E.104. Análisis de varianza del nitrógeno amoniacal a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	11362.43	11	1032.948	1.104195	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	33677.13	36	935.4758			
Total	45039.56	47				

Cuadro E.105. Análisis de varianza del fósforo total por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1273.293	3	424.4311	6.381101	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	2926.606	44	66.51377			
Total	4199.899	47				

Cuadro E.106. Análisis de varianza del fósforo total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	412.6246	11	37.51132	0.356565	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	3787.275	36	105.2021			
Total	4199.899	47				

Cuadro E.107. Análisis de varianza de calcio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	19608.32	3	6536.107	9.856838	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	29176.57	44	663.1038			
Total	48784.89	47				

Cuadro E.108 Análisis de varianza del calcio total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	9778.409	11	888.9463	0.82043	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	39006.48	36	1083.513			
Total	48784.89	47				

Cuadro E.109. Análisis de varianza de magnesio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	334.6453	3	111.5484	2.366972	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	2073.59	44	47.12705			
Total	2408.235	47				

Cuadro E.110. Análisis de varianza del magnesio total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	769.1643	11	69.92402	1.535788	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	1639.071	36	45.52975			
Total	2408.235	47				

Cuadro E.111. Análisis de varianza de sodio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	20188.67	3	6729.556	3.146476	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	94105.42	44	2138.76			
Total	114294.1	47				

Cuadro E.112. Análisis de varianza del sodio total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	31271.18	11	2842.834	1.232696	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	83022.91	36	2306.192			
Total	114294.1	47				

Cuadro E.113. Análisis de varianza de potasio por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	16198.88	3	5399.628	10.01055	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	23733.33	44	539.394			
Total	39932.22	47				

Cuadro E.114. Análisis de varianza del potasio total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	5462.625	11	496.6023	0.518651	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	34469.59	36	957.4887			
Total	39932.22	47				

Cuadro E.115. Análisis de varianza de cobre por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.097819	3	0.032606	1.708798	2.816464	NS
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	0.839583	44	0.019081			
Total	0.937402	47				

Cuadro E.116. Análisis de varianza del cobre total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.377015	11	0.034274	2.201812	2.066606	*
Dentro de los meses (error)	0.560387	36	0.015566			
Total	0.937402	47				

Cuadro E.117. Análisis de varianza del hierro por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	75.37497	3	25.12499	8.798391	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	125.6479	44	2.855635			
Total	201.0229	47				

Cuadro E.118. Análisis de varianza del hierro a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	46.97867	11	4.270788	0.99808	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	154.0442	36	4.279006			
Total	201.0229	47				

Cuadro E.119. Análisis de varianza del manganeso por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.268092	3	0.089364	2.920172	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.3465	44	0.030602			
Total	1.614592	47				

Cuadro E.120. Análisis de varianza del manganeso a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.315992	11	0.028727	0.796361	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	1.2986	36	0.036072			
Total	1.614592	47				

Cuadro E.121. Análisis de varianza del zinc por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	1.853856	3	0.617952	21.65591	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	1.255542	44	0.028535			
Total	3.109398	47				

Cuadro E.122. Análisis de varianza del zinc total a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.316923	11	0.028811	0.371428	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	2.792475	36	0.077569			
Total	3.109398	47				

Cuadro E.123. Análisis de varianza del níquel por sitio de muestreo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre estaciones de muestreo (tratamientos)	0.103823	3	0.034608	3.839718	2.816464	*
Dentro de las estaciones de muestreo (error)	0.396575	44	0.009013			
Total	0.500398	47				

Cuadro E.124. Análisis de varianza del níquel a través del tiempo

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Valor crítico para F	Observaciones
Entre meses (tratamientos)	0.121373	11	0.011034	1.048006	2.066606	NS
Dentro de los meses (error)	0.379025	36	0.010528			
Total	0.500398	47				

E.3. PRUEBAS DE TUKEY

Cuadro E.125. Orden descendente de las medias del pH a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	8.05
1	7.79
4	7.48
3	7.28

VALOR DE TUKEY
W = 0.5962

Cuadro E.126. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_4	
$8.05 - 7.79 = 0.26$	NS	$7.79 - 7.48 = 0.31$	NS	$7.48 - 7.28 = 0.20$	NS
$8.05 - 7.48 = 0.57$	NS	$7.79 - 7.28 = 0.51$	NS		
$8.05 - 7.28 = 0.77$	*				

Cuadro E.127. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_4	X_3

Cuadro E.128. Orden descendente de las medias de la conductividad eléctrica a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	1145.75
4	1072.58
3	978.03
1	439.21

VALOR DE TUKEY
W = 348.84

Cuadro E.129. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
$1145.75 - 1072.58 = 73.17$	NS	$1072.58 - 978.03 = 94.55$	NS	$978.03 - 439.21 = 538.82$	*
$1145.75 - 978.03 = 167.72$	NS	$1072.58 - 439.21 = 633.39$	*		
$1145.75 - 439.21 = 706.54$	*				

Cuadro E.130. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.131. Orden descendente de las medias de los sólidos totales a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
3	907.75
2	881.57
4	777.5
1	303.97

VALOR DE TUKEY
W = 232.99

Cuadro E.132. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_3		X_2		X_4	
907.75 - 881.57 = 26.18	NS	881.57 - 777.5 = 104.07	NS	777.5 - 303.97 = 473.53	*
907.75 - 777.5 = 130.25	NS	881.57 - 303.97 = 577.60	*		
907.75 - 303.97 = 603.78	*				

Cuadro E.133. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_3	X_2	X_4	X_1

Cuadro E.134. Orden descendente de las medias de los sólidos suspendidos a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	490.58
1	178.75
3	174.00
4	112.42

VALOR DE TUKEY
W = 292.90

Cuadro E.135. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
490.58 - 178.75 = 311.83	*	178.75 - 174.00 = 4.75	NS	174.00 - 112.42 = 61.58	NS
490.58 - 174.00 = 316.58	*	178.75 - 112.42 = 66.33	NS		
490.58 - 112.42 = 378.16	*				

Cuadro E.136. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.137. Orden descendente de las medias de los DQO a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	1672.74
1	973.07
3	447.17
4	332.33

VALOR DE TUKEY
W = 950.24

Cuadro E.138. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
1672.74 - 973.07 = 699.67	NS	973.07 - 447.17 = 523.90	NS	447.17 - 332.33 = 114.84	NS
1672.74 - 447.17 = 1225.57	*	973.07 - 332.33 = 640.85	NS		
1672.74 - 332.33 = 1340.41	*				

Cuadro E.139. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.140. Orden descendente de las medias de los DBO₅ a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	464.23
1	355.73
3	219.92
4	152.50

VALOR DE TUKEY
W = 222.34

Cuadro E.141. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X ₂		X ₁		X ₃	
464.23 - 355.73 = 108.5	NS	355.73 - 219.92 = 135.81	NS	219.92 - 152.50 = 67.42	NS
464.23 - 219.92 = 244.31	*	355.73 - 152.50 = 203.23	NS		
464.23 - 152.50 = 311.73	*				

Cuadro E.142. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X ₂	X ₁	X ₃	X ₄
—————			

Cuadro E.143. Orden descendente de las medias de los OD a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
1	3.53
2	1.91
4	1.83
3	1.69

VALOR DE TUKEY
W = 0.866

Cuadro E.144. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X ₁		X ₂		X ₄	
3.53 - 1.91 = 1.62	*	1.91 - 1.83 = 0.08	NS	1.83 - 1.69 = 0.14	NS
3.53 - 1.83 = 1.70	*	1.91 - 1.69 = 0.22	NS		
3.53 - 1.69 = 1.84	*				

Cuadro E.145. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X ₁	X ₂	X ₄	X ₃
—————			

Cuadro E.146. Orden descendente de las medias de las grasas y aceites a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	500.29
1	423.76
3	152.64
4	82.54

VALOR DE TUKEY
W = 199.58

Cuadro E.147. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
500.29 - 423.76 = 76.53	NS	423.76 - 152.64 = 271.12	*	152.64 - 82.54 = 70.10	NS
500.29 - 152.64 = 347.65	*	423.76 - 82.54 = 341.22	*		
500.29 - 82.54 = 417.75	*				

Cuadro E.148. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.149. Orden descendente de las medias de la dureza a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	421.20
4	227.25
3	223.74
1	153.27

VALOR DE TUKEY
W = 210.42

Cuadro E.150. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
421.20 - 227.25 = 193.95	NS	227.25 - 223.74 = 3.51	NS	223.74 - 153.27 = 70.47	NS
421.20 - 223.74 = 197.46	NS	227.25 - 153.27 = 73.98	NS		
421.20 - 153.27 = 267.93	*				

Cuadro E.151. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_4	X_3	X_1

Cuadro E.152. Orden descendente de las medias de las SAAM a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	428.48
1	272.06
3	248.08
4	243.17

VALOR DE TUKEY
W = 80.94

Cuadro E.153. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
428.48 - 272.06 = 156.42	*	272.06 - 248.08 = 23.98	NS	248.08 - 243.17 = 4.91	NS
428.48 - 248.08 = 180.40	*	272.06 - 243.17 = 28.89	NS		
428.48 - 243.17 = 185.31	*				

Cuadro E.154. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.155. Orden descendente de las medias de los sulfatos a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	4524.17
1	1265.91
3	991.56
4	934.51

VALOR DE TUKEY
W = 2384.56

Cuadro E.156. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
$4524.17 - 1265.91 = 3258.26$	*	$1265.91 - 991.56 = 274.35$	NS	$991.56 - 934.51 = 57.05$	NS
$4524.17 - 991.56 = 3532.61$	*	$1265.91 - 934.51 = 334.40$	NS		
$4524.17 - 934.51 = 3589.66$	*				

Cuadro E.157. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.158. Orden descendente de las medias de los nitratos a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	10.40
1	1.99
3	0.21
4	0.16

VALOR DE TUKEY
W = 3.46

Cuadro E.159. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
$10.40 - 1.99 = 8.41$	*	$1.99 - 0.21 = 1.78$	NS	$0.21 - 0.16 = 0.05$	NS
$10.40 - 0.21 = 10.19$	*	$1.99 - 0.16 = 1.83$	NS		
$10.40 - 0.16 = 10.24$	0				

Cuadro E.160. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.161. Orden descendente de las medias del nitrógeno orgánico a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	40.37
3	18.07
4	14.17
1	7.71

VALOR DE TUKEY
W = 9.96

Cuadro E.162. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2	*	X_3	NS	X_4	NS
40.37 - 18.07 = 22.30	*	18.07 - 14.17 = 3.90	NS	14.17 - 7.71 = 6.46	NS
40.37 - 14.17 = 26.20	*	18.07 - 7.71 = 10.36	*		
40.37 - 7.71 = 32.66	*				

Cuadro E.163. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.164. Orden descendente de las medias del nitrógeno amoniacal a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	59.60
3	25.36
4	19.92
1	15.30

VALOR DE TUKEY
W = 28.78

Cuadro E.165. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2	*	X_3	NS	X_4	NS
59.60 - 25.36 = 32.24	*	25.36 - 19.92 = 5.44	NS	19.92 - 15.30 = 4.62	NS
59.60 - 19.92 = 39.68	*	25.36 - 15.30 = 10.08	NS		
59.60 - 15.30 = 44.30	*				

Cuadro E.166. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.167. Orden descendente de las medias del fósforo total a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	24.98
3	15.61
4	13.08
1	11.83

VALOR DE TUKEY
W = 8.92

Cuadro E.168 Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2	*	X_3	NS	X_4	NS
24.98 - 15.61 = 9.37	*	15.61 - 13.08 = 2.53	NS	13.08 - 11.83 = 1.25	NS
24.98 - 13.08 = 11.90	*	15.61 - 11.83 = 3.78	NS		
24.98 - 11.83 = 13.15	*				

Cuadro E.169. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.170. Orden descendente de las medias del calcio a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	98.85
3	83.83
4	64.07
1	45.27

VALOR DE TUKEY
W = 28.17

Cuadro E.171. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
98.85 - 83.83 = 15.02	NS	83.83 - 64.07 = 19.76	NS	64.07 - 45.27 = 18.8	NS
98.85 - 64.07 = 34.78	*	83.83 - 45.27 = 38.56	*		
98.85 - 45.27 = 53.58	*				

Cuadro E.172. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.173. Orden descendente de las medias del sodio a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	110.69
3	80.51
4	62.34
1	58.97

VALOR DE TUKEY
W = 50.59

Cuadro E.174. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
110.69 - 80.51 = 30.18	NS	80.51 - 62.34 = 18.17	NS	62.34 - 58.97 = 3.37	NS
110.69 - 62.34 = 48.35	NS	80.51 - 58.97 = 21.54	NS		
110.69 - 58.97 = 51.72	*				

Cuadro E.175. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.176. Orden descendente de las medias del potasio a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	54.52
3	42.85
4	29.77
1	5.08

VALOR DE TUKEY
W = 25.40

Cuadro E.177. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
$54.52 - 42.85 = 11.67$	NS	$42.85 - 29.77 = 13.08$	NS	$29.77 - 5.08 = 24.69$	NS
$54.52 - 29.77 = 24.75$	NS	$42.85 - 5.08 = 37.77$	*		
$54.52 - 5.08 = 49.44$	*				

Cuadro E.178. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.179. Orden descendente de las medias del hierro a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	4.83
1	2.67
3	1.85
4	1.69

VALOR DE TUKEY
W = 1.85

Cuadro E.180. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
$4.83 - 2.67 = 2.26$	*	$2.67 - 1.85 = 0.82$	NS	$1.85 - 1.69 = 0.16$	NS
$4.83 - 1.85 = 2.98$	*	$2.67 - 1.69 = 0.98$	NS		
$4.83 - 1.69 = 3.14$	*				

Cuadro E.181. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.182. Orden descendente de las medias del manganeso a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	0.36
1	0.34
3	0.20
4	0.20

VALOR DE TUKEY
W = 0.19

Cuadro E.183. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
$0.36 - 0.34 = 0.02$	NS	$0.34 - 0.20 = 0.14$	NS	$0.20 - 0.20 = 0$	NS
$0.36 - 0.20 = 0.16$	NS	$0.34 - 0.20 = 0.14$	NS		
$0.36 - 0.20 = 0.16$	NS				

Cuadro E.184. Orden descendente de las medias del zinc a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	0.66
1	0.24
3	0.22
4	0.17

VALOR DE TUKEY
W = 0.18

Cuadro E.185. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_1		X_3	
$0.66 - 0.24 = 0.42$	*	$0.24 - 0.22 = 0.02$	NS	$0.22 - 0.17 = 0.05$	NS
$0.66 - 0.22 = 0.44$	*	$0.24 - 0.17 = 0.07$	NS		
$0.66 - 0.17 = 0.49$	*				

Cuadro E.186. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_1	X_3	X_4

Cuadro E.187. Orden descendente de las medias del níquel a través de las estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
2	0.17
3	0.12
4	0.09
1	0.04

VALOR DE TUKEY
W = 0.1

Cuadro E.188. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_2		X_3		X_4	
$0.17 - 0.12 = 0.05$	NS	$0.12 - 0.09 = 0.03$	NS	$0.09 - 0.04 = 0.05$	NS
$0.17 - 0.09 = 0.08$	NS	$0.12 - 0.04 = 0.08$	NS		
$0.17 - 0.04 = 0.13$	*				

Cuadro E.189. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_2	X_3	X_4	X_1

Cuadro E.190. Orden descendente de las medias del cobre a través del tiempo en cuatro estaciones de muestreo de la barranca "Puente Blanco"

ESTACIÓN	PROMEDIO
3	0.48
4	0.48
2	0.43
1	0.35
11	0.33
7	0.31
5	0.28
10	0.25
8	0.24
12	0.20
6	0.19
9	0.18

VALOR DE TUKEY
W = 0.30

Cuadro E.191. Comparación entre el valor del estadístico de Tukey y la diferencia de medias

X_1 v X_4		X_2		X_1	
0.48 - 0.48 = 0	NS	0.43 - 0.35 = 0.08	NS	0.35 - 0.33 = 0.02	NS
0.48 - 0.43 = 0.05	NS	0.43 - 0.33 = 0.1	NS	0.35 - 0.31 = 0.04	NS
0.48 - 0.35 = 0.13	NS	0.43 - 0.31 = 0.12	NS	0.35 - 0.28 = 0.07	NS
0.48 - 0.33 = 0.15	NS	0.43 - 0.28 = 0.15	NS	0.35 - 0.25 = 0.1	NS
0.48 - 0.31 = 0.17	NS	0.43 - 0.25 = 0.18	NS	0.35 - 0.24 = 0.11	NS
0.48 - 0.28 = 0.20	NS	0.43 - 0.24 = 0.19	NS	0.35 - 0.20 = 0.15	NS
0.48 - 0.25 = 0.23	NS	0.43 - 0.20 = 0.23	NS	0.35 - 0.19 = 0.16	NS
0.48 - 0.24 = 0.24	NS	0.43 - 0.19 = 0.24	NS	0.35 - 0.18 = 0.17	NS
0.48 - 0.20 = 0.28	NS	0.43 - 0.18 = 0.25	NS		
0.48 - 0.19 = 0.29	NS				
0.48 - 0.18 = 0.30	*				

Cuadro E.192. Comparación de medias de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

X_3	X_4	X_2	X_1	X_{11}	X_7	X_5	X_{10}	X_8	X_{12}	X_6	X_9

APÉNDICE E.4. PRUEBAS DE X² EN SUELOS AGRÍCOLAS

$$X^2 = \Sigma(O - E)^2/E$$

donde:

O = valores observados (cada una de las parcelas irrigadas con aguas residuales)

E = valores esperados (resultados de los suelos de temporal)

Cuadro E 193. Resultados del análisis de X² entre los valores de los parámetros de suelos de temporal (esperados) y los irrigados con aguas residuales (observados)

PARAMETRO	$\Sigma(O - E)^2/E$ (X ² CALCULADA)	X ² TABULADA ($\alpha = 0.01$)	OBSERVACIONES
densidad aparente	0.073	34.805	NS
densidad real	0.965	34.805	NS
C.E.	34.965	34.805	**
pH	1.643	34.805	NS
% de porosidad	28.798	34.805	NS
% materia orgánica	21.271	34.805	NS
bicarbonatos	4.902	34.805	NS
cloruros	67.980	34.805	**
sulfatos	310.202	34.805	**
cationes intercambiables:			
Ca	55.728	34.805	**
Mg	71.407	34.805	**
Na	4.032	34.805	NS
K	104.330	34.805	**
C.I.C.	97.954	34.805	**
metales totales:			
Cu	227.936	34.805	**
Ni	545.083	34.805	**
Co	39.178	34.805	**
Zn	4417.886	34.805	**
Cr	168.735	34.805	**
Pb	440.690	34.805	**
metales disponibles:			
Cu	58.842	34.805	**
Ni	157.222	34.805	**
Zn	1817.085	34.805	**
PSB	361.311	34.805	**
PSI	24.184	34.805	NS

Cd, Cr, Co y Pb no se detectaron en su forma disponible