

T-465

01149

5

DES 21.1

50

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE INGENIERIA

SECCION

INGENIERIA SANITARIA



236

APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRIA EN INGENIERIA

P R E S E N T A D A P O R :

ING. ENRIQUE GODINES ARREDONDO

Enero de 1977

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

DEDICATORIA

- . A los profesionistas en el campo ambiental como una aportación bibliográfica sobre el aprovechamiento de las aguas residuales.
- . A mis padres, esposa e hijos por el apoyo y cariño que brindan para conmigo.

CREDITOS:

**Personal de Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental,
S. A.**

**Personal del Centro de Investigación y Entrenamiento
para el Control de la Calidad del Agua, S. R. H.**

**Dependencias Gubernamentales y Compañías Consultoras
que permitieron mi desarrollo profesional a la fecha:**

Secretaría de Recursos Hidráulicos

Departamento del Distrito Federal

ICA, Ingenieros Civiles Asociados, S. A.

CIEPS, Ingenieros Proyectistas y Consultores, S. C.

SITA, Consultores en Ingeniería Ambiental, S. A.

**DHTA, Consultores en Ingeniería Hidráulica y
Ambiental, S. A.**

**Los temas incluidos en el presente trabajo de tesis, co
rresponden básicamente a experiencias adquiridas en el desarrollo
de los estudios elaborados por Diseños Hidráulicos y Tecnología
Ambiental, S. A., para la Dirección General de Usos del Agua y
Prevención de la Contaminación de la Secretaría de Recursos
Hidráulicos.**

INDICE

RESUMEN

ANTECEDENTES Y OBJETIVO

ALCANCES Y LIMITACIONES

APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

ESTUDIO PILOTO DE REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES

EN RIEGO AGRICOLA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

DESARROLLO DE LA TESIS

I.- GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA REPUBLICA
MEXICANA

Introducción

Generación de Aguas Residuales

Características de las Aguas Residuales

II - EVALUACION DEL AGUA RESIDUAL COMO RECURSO
HIDRAULICO

Usos del Agua Residual

Reuso en la Industria

Reuso en la Agricultura

Factibilidad Técnica y Económica del Reuso

III.- ESTUDIO PILOTO DE LA REUTILIZACION DE AGUAS

RESIDUALES EN EL DISTRITO DE RIEGO 03

Introducción

Descripción del Area Piloto

Disponibilidad de Aguas

Calidades de Aguas de Riego

Caracterización de Suelos

Caracterización de Cultivos y Rendimientos

Estudios Especificos Realizados

Conclusiones y Recomendaciones

IV. - REFERENCIAS

RELACION DE CUADROS

- I-1 HABITANTES TOTALES Y CON SERVICIOS DE
ALCANTARILLADO POR ENTIDAD Y RANGO DE
POBLACION
- I-2 DATOS ESTADISTICOS POR RANGO DE POBLACION
- I-3 GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR
DOMESTICO EN EL AÑO 1970
- I-4 POBLACION EQUIVALENTE A LAS DEMANDAS DE AGUA
INDUSTRIAL
- I-5 CARACTERISTICAS PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES
POR RANGO DE POBLACION
- I-5 CARACTERISTICAS PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES
MUNICIPALES
- I-6 APORTACIONES PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES
POR RANGO DE POBLACION
- I-6 APORTACION DE CONTAMINANTES DE ORIGEN
MUNICIPAL PERCAPITA
- II-1 CLASIFICACION DE AGUAS DE RIEGO POR CONDUCTIVI-
DAD ELECTRICA
- II-2 RANGOS DE CARBONATO DE SODIO RESIDUAL
- II-3 CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN EL
CONTENIDO DE BORO

- II-4 CONCENTRACIONES DE MANGANESO DAÑINAS A ALGUNOS CULTIVOS
- II-5 CLASIFICACION DE AGUAS DE RIEGO SEGUN EL CONTENIDO DE CLORUROS
- II-6 CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN SU SALINIDAD POTENCIAL
- II-7 CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN EL PORCIENTO DE SODIO POSIBLE
- II-8 CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS TOXICOS EN AGUAS DE RIEGO
- II-9 CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS DE RIEGO
- II-10 CLASIFICACION DE SUELOS EN FUNCION DE LA C. E. Y EL % Na
- II-11 CONCENTRACIONES DE MICRONUTRIENTES EN SUELOS
- II-12 EFECTO DE SODIO APLICADO COMO NUTRIENTE SOBRE DIFERENTES ESPECIES CULTIVADAS
- II-13 CONCENTRACIONES DE MICRONUTRIENTES EN CULTIVOS
- II-14 TOLERANCIA DE CULTIVOS A LOS CLORUROS EN EL EXTRACTO DE SATURACION DEL SUELO
- II-15 TOLERANCIA DE CULTIVOS AL PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE
- III-1 SITIOS DE MUESTREO DE AGUAS EN EL DISTRITO 03

- III-2 PROMEDIOS DE CONCENTRACION DE CARACTERISTICAS
POR SITIO DE MUESTREO DEL AGUA DE RIEGO
OBTENIDOS DURANTE EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-93
- III-3 SITIOS DE MUESTREO DE SUELOS EN EL DISTRITO 03
- III-4 PROMEDIOS DE CONCENTRACIONES DE
CARACTERISTICAS EN LOS SUELOS POR SECCION DE
PRODUCTIVIDAD Y CLASE DE AGUA DE RIEGO
OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03
- III-5 METALES PESADOS POR CULTIVO, SITIO Y CLASE DE
AGUA DE RIEGO
- III-6 CONCENTRACIONES PROMEDIO DE COLIFORMES
TOTALES Y FECALIS EN CULTIVOS
- III-7 RENDIMIENTOS AGRICOLAS EN EL DISTRITO 03
OBTENIDOS CON EL RIEGO DE DIFERENTES TIPOS DE
AGUA
- III-8 CANTIDADES DE NUTRIENTES POR TIPO DE AGUAS
- III-9 APORTACIONES ANUALES DE NUTRIENTES POR EL AGUA
DE RIEGO
- III-10 NUTRIENTES CONTENIDOS EN PARTE DEL CULTIVO
- III-11 CANTIDADES DE METALES PESADOS TOMADOS DEL SUELO
POR DIFERENTES CULTIVOS
- III-12 AREAS DE DISTRITO DE RIEGO 03 AFECTADAS POR SALES
- III-13 PROMEDIO DE CARACTERISTICAS POR TIPO DE AGUA

**III-14 CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS DE LAS AGUAS
DE RIEGO**

III-15 CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS DE LOS CULTIVOS

RELACION DE FIGURAS

- II-1 DIAGRAMA DE CLASIFICACION PARA AGUAS DE IRRIGACION
- II-2 CLASIFICACION DEL AGUA RESPECTO AL CONTENIDO DE SODIO Y SALES
- II-3 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL RAS Y EL PSI DEL SUELO
- III-1 INFLUENCIA DEL pH DEL SUELO EN EL APROVECHAMIENTO DE NUTRIENTES

RELACION DE PLANOS

- III-1 PLANO GENERAL DEL DISTRITO DE RIEGO 03
- III-2 CLASIFICACION POR CLASES DE AGUA DE RIEGO EN EPOCA DE LLUVIAS (HOJA 1 DE 2)
- III-2 CLASIFICACION POR CLASES DE AGUA DE RIEGO EN EPOCA DE ESTIAJE (HOJA 2 DE 2)
- III-3 SISTEMA DE DRENAJE DE LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA METROPOLITANA
- III-4 REDES DE MUESTREO DE AGUAS, SUELOS Y CULTIVOS

RESUMEN

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El crecimiento demográfico e industrial de nuestro país, experimentado en los últimos años, demanda en la misma proporción volúmenes crecientes de agua de primera calidad. Consecuentemente, la generación de aguas residuales se incrementa proporcionalmente, provocando con ello problemas sanitarios como son: requerimiento de redes de alcantarillado para la evacuación de las aguas, contaminación de lagos, esteros y bahías e inclusive de depresiones topográficas al utilizarse como cuerpos receptores para la disposición final de las aguas residuales, con el consecuente deterioro de la fauna y flora existentes y en general del ecosistema del país; además de presentarse un mayor número de enfermedades y defunciones de origen hídrico y condiciones insalubres por doquier. Ello, está en etapa de solución con la creación de dependencias gubernamentales e inclusive estatales descentralizadas cuyos fines son la prevención y control de la contaminación del agua. La etapa actual de desarrollo para cumplir con estos objetivos, es llevada a cabo bajo los siguientes marcos de referencia: (1) Recopilación y evaluación de la información disponible; (2) Caracterización de las aguas residuales; (3) Evaluación del grado de contaminación de los cuerpos receptores y su capacidad de asimilación; (4) Análisis de

los usos y demandas de agua en los principales sectores económicos y de población del país; (5) Estudio y análisis a escala piloto de tratamientos para prevenir y controlar la contaminación del agua tanto de origen doméstico como industrial, y (6) Estudio de la reutilización del agua. Sobre este último rubro se ha enfocado el desarrollo de la presente tesis, analizando el agua residual como un recurso hidráulico en función de la disposición de la misma y de su calidad fisicoquímica y bacteriológica para los diferentes usos en la industria y en la agricultura, con principal enfoque en este último para cumplir con el siguiente objetivo: Establecer con base en estudios experimentales en el campo y en el laboratorio, lineamientos y estrategias para promover a nivel nacional el aprovechamiento de las aguas residuales en la agricultura, a través de ingenieros sanitarios con la asistencia de grupos interdisciplinarios en diversas ramas como son: química, biología y agronomía.

Las reglamentaciones vigentes, las normas y recomendaciones dependientes de las características fisicoquímicas y bacteriológicas y las experiencias preliminares adquiridas en el estudio sobre el riego agrícola reutilizando las aguas provenientes de la Ciudad de México y el Área Metropolitana en el Distrito de Riego 03 del Estado de Hidalgo, constituyen la base de esta tesis.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Los alcances visualizados para el desarrollo de esta tesis se describen a continuación:

. Análisis de la generación de aguas residuales a nivel nacional en función del caudal y de las características según el rango de población.

. Definición de los diversos usos del agua residual y de las calidades requeridas.

. Recopilación bibliográfica de las reglamentaciones y normas relativas a la reutilización del agua en la agricultura.

. Presentación de las experiencias, resultados preliminares y conclusiones sobre el estudio de reutilización del agua proveniente de la Ciudad de México y el área metropolitana en el riego agrícola del Distrito 03 del Estado de Hidalgo.

Los estudios sobre el reuso del agua en nuestro país están en vías de desarrollo, por consiguiente, lo expuesto en esta tesis corresponde a lo reportado bibliográficamente sobre el uso del agua en los diferentes sectores industriales y las normas de calidad de aguas de riego, suelos y cultivos agrícolas. Los reglamentos anexos son los vigentes en otros países diferentes al nuestro; pero ello nos permite visualizar la imperiosa necesidad de establecer una reglamentación propia. Por último, se exponen los resultados preliminares de las características de las aguas de riego, sue-

los, cultivos y forrajes y rendimientos agrícolas así como el análisis de los mismos correspondientes al estudio piloto sobre el riego con aguas residuales mencionado anteriormente.

APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La evaluación de la disponibilidad y calidad de las aguas residuales municipales e industriales generadas en nuestro país y el conocimiento de las demandas, en función de los posibles usos y calidades requeridas por los mismos, permiten analizar la factibilidad técnica y económica del aprovechamiento de las aguas residuales como un recurso hidráulico y reforzar más su urgente reuso, ya que es imperiosa su necesidad, para no ver frenado el crecimiento industrial en algunas zonas por la falta de agua de primera calidad; abrir nuevas áreas a riego agrícola o cambiar las actuales de riego por temporal a riego seguro o bien, efectuar un canje del tipo de agua en las áreas industriales y utilizar la actual con fines de primordial necesidad, como es el agua de abastecimiento público. Este análisis en conjunto, está en vías de desarrollo en el país y lo aquí expuesto, corresponde a lo reportado bibliográficamente y antecedentes sobre el tema en otros países, con un principal enfoque en el reuso agrícola, y las experiencias y resultados obtenidos en el desarrollo de un estudio piloto, así como metodologías y resultados de los trabajos e interpretación de los mismos en una etapa

inicial para conocer las aguas residuales y su potencialidad de aprovechamiento en la industria, la agricultura y los municipios. Todo ello, conjugado en tres capítulos, definidos posteriormente en base a los objetivos incluidos en la primera sección, se presenta bajo los siguientes títulos:

- . Generación de aguas residuales en la República Mexicana
- . Evaluación del agua residual como recurso hidráulico

- . Estudio piloto de la reutilización de aguas residuales en el Distrito de Riego 03

A continuación se presenta un resumen del contenido de la tesis:

El procesamiento estadístico del Censo de Población del año 1970 de la República Mexicana y suposiciones de crecimiento al año 2000 (tasa de incremento 3.5% anual), permitieron visualizar la distribución de la población y la generación de caudales (aportación 100 a 240 lt/hab-día con servicios de alcantarillado al año 1970 y un 80% de la población servida al año 2000) entre rangos de 2500 a 100 000 hab; exceptuando el Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara.

Asimismo estudios realizados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos permiten estimar la población equivalente a la generación de caudales de agua residual, bajo la suposición de una

dotación de 200 lt/hab-dfa y un coeficiente de aportación de un 80%.
 En los Cuadros 1 y 2 se presentan los resultados de aportaciones
 domésticas e industriales.

CUADRO 1
GENERACION DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
POR RANGOS DE POBLACION

Rango de Población hab	Nº de Localidades	Gasto Medio lt/seg	Gasto Total miles m ³ /dfa
2 500 a 10 000	1500	3.3	432
10 000 a 50 000	250	2.3	501
50 000 a 100 000	30	110.0	285

CUADRO 2
GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN LOS
PRINCIPALES SECTORES INDUSTRIALES

Sector	Gastos Totales (miles m ³ /dfa)	
	Año 1973	Año 2000
Azucarera	1670	7328
Celulosa y Papel	194 96	1997 632
Hierro y Acero	154	1016
Hilados y Tejidos	74	566
Química	102	4893
S u m a s	2290	16432

La caracterización de las aguas residuales se ha iniciado recientemente, a partir de los objetivos de la SRH, para prevenir y controlar la contaminación, pudiendo establecerse que las concentraciones promedio de las aguas residuales municipales son las mostradas en el Cuadro 3; sin embargo, las características de las descargas industriales no ha sido posible agruparlas por sectores, por la gran diversidad de procesos productivos y características propias de cada industria. A la falta de éstas, se establece que las cuencas que presentan mayor contaminación de origen industrial, son en las que se ubican las siguientes ciudades: Tampico y Matamoros, Tamps., Toluca, Méx., Salvatierra, Acámbaro e Irapuato, Gto., Emiliano Zapata, Zacatepec y Jojutla, Mor., Puebla, Pue., Mendoza, Orizaba, Córdoba, Fortín de las Flores, Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver., Torreón Coah y Lerdo y Gómez Palacio, Dgo. La contaminación originada por el sector doméstico corresponde a las ciudades de Monterrey, N. L., Guadalajara, Jal y el Distrito Federal.

Los volúmenes de agua residual, 3.9×10^6 m³/dfa de origen doméstico y 2.7×10^6 m³/dfa de origen industrial para los principales sectores del país, son un recurso hidráulico de aprovecharse, de acuerdo a las siguientes ventajas:

- . Liberar volúmenes considerables de agua para otros usos
- . Incrementar las áreas de riego o bien cambiar zonas de temporal

CUADRO 3

CARACTERISTICAS PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

p H	7.2		
DBO (mg/l)	274		
DQO (mg/l)	655		
Sólidos Sedimentables (ml/l)	7		
Grasas y Aceites (mg/l)	60		
N- Total (mg/l)	42		
Fosfatos totales (mg/l)	21		
"Detergentes" (mg/l)	14		
Coliformes (NMP)	16 x 10 ⁸		
Sólidos (mg/l) :	Suspendidos	Disueltos	Suma
Volátiles	160	440	600
Fijos	100	670	770
Suma	260	1 110	1 370

a riego seguro

- . Disminuir los caudales a tratar por parte de las autoridades municipales
- . Promover la creación de áreas verdes y lagos recreativos sin hacer uso de volúmenes de agua de primera calidad

La reutilización del agua para obtener las ventajas descritas, requiere comparar las características del agua residual disponible con las calidades de agua establecidas en normas editadas para tal fin, resultados de la experiencia o bien de investigaciones y experimentos de campo y laboratorio.

En el presente trabajo se ha otorgado un mayor desarrollo al aprovechamiento de agua en la agricultura; iniciando éste con la descripción de los reglamentos actualmente vigentes y propuestos - Estado de California, EUA., Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas y Secretaría de Recursos Hidráulicos (CHCVM)* - mismos que coinciden en las siguientes normas:

1. - Efluentes de plantas de tratamiento primario pueden ser utilizados en el riego de forrajes, productos alimenticios que no se consumen crudos y jardines y plantas ornamentales con excepción del Estado de California, que requiere desinfección en el caso específico de campos de golf y jardines públicos y
 2. - Aguas negras oxidadas y desinfectadas pueden ser utilizadas en
- * Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México

el riego de otros productos agrícolas que se consumen crudos como zanahorias, rábanos, etc.

La cadena agua-suelo-cultivo presenta límites o normas referentes a los parámetros que la definen, respecto al comportamiento o a los efectos que producen sobre los suelos y cultivos las aguas de riego con concentraciones elevadas de cloruros, metales pesados, etc. Los límites permisibles y los parámetros más importantes a considerar para cada rubro resultan ser los siguientes:

Aguas: Conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio

Suelos: Textura, porcentaje de sodio intercambiable, conductividad eléctrica y elementos tóxicos

Cultivos: Sales y elementos tóxicos

ESTUDIO PILOTO DE REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES EN RIEGO AGRICOLA

De acuerdo a lo anterior, recientemente son motivo de preocupación, por parte de las autoridades, los efectos de la reutilización de las aguas residuales en la agricultura, avocándose a investigarlos a nivel de campo y laboratorio, mediante la previa selección de la zona piloto del Distrito de Riego 03; mismo que presenta las siguientes características:

Se localiza en el Estado de Hidalgo y ocupa 529 Km² de

los cuales 385 Km² son de riego seguro. además de la Unidad Taxquillo de 30 Km² y corresponde al asentamiento de 123 000 habitantes. Para la operación del distrito se cuenta con 24% de aguas blancas, aportadas por los ríos de la zona y 76% de aguas residuales a través del río Salado, provenientes de la Ciudad de México y el área metropolitana y el almacenamiento en las presas Requena y Endho, permite tener además agua mezclada en una proporción de 50% ± 15%, para el desarrollo de los siguientes cultivos: alfalfa, jitomate, calabacita, maíz, cebolla, ajo, chile y forrajes diversos como avena, trébol y cebada.

Las calidades promedio de aguas de riego, suelos y cultivos, se presentan en los Cuadros 4, 5 y 6 y en el Cuadro 7 los rendimientos de los cultivos por tipo de agua y ciclo agrícola. Estos resultados han sido la base para definir los estudios específicos de fertilización, salinidad, bacteriología y de metales pesados y su evaluación se ha llevado a cabo en la cadena agua-suelo cultivo, agrupándose los parámetros concernientes a cada aspecto, mismos que se resumen a continuación.

Fertilización

Los parámetros N-NH₃, N-org, N-NO₃, materia orgánica, P-PO₄, P-PO₄ orto, K y P, permiten definir la disponibilidad de nutrientes en las aguas de riego, la aportación de nutrientes a

CUADRO 4

CARACTERISTICAS PROMEDIO DE LAS AGUAS DE RIEGO

Característica	Valores Promedio por tipo de Agua		
	Negra	Blanca	Mezclada
pH	8.24	8.09	8.02
C.E	-	-	-
(μ mhos/cm)	1845	624	1766
Sólidos Disueltos (mg/l)	1129	393	1015
% Na	81	44.5	72.7
RAS	10.5	1.56	7.84
Na ₂ CO ₃ Res. (meq/l)	5.7	0.27	3.5
B (mg/l)	1.69	0.42	1.35
Na ⁺ (mg/l)	320	33	243
K ⁺ (mg/l)	70	11	63
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ (mg/l)	72	52	88
CO ₃ ⁼ (mg/l)	239	44	-
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	447	194	454
Cl ⁻ (mg/l)	267	43	243
SO ₄ ⁼ (mg/l)	49	21	51
CARACTERISTICAS BACTERIOLÓGICAS DE LAS AGUAS DE RIEGO			
Estación	Tipo de Agua	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	
Gran Canal del Desague (Km 0+000)	Negra	9.1x10 ⁶	
Túnel de Tequixquiac (DR-03)	Negra	6.3x10 ⁸	
Entrada Presa Endho	Blanca	4.6x10 ⁴	
Salida Presa Endho	Blanca	1.1x10 ⁶	
Entrada Presa Requena	Blanca	2.4x10 ⁵	
Salida Presa Requena	Blanca	1.1x10 ⁵	
Canal Principal Requena (DR-03)	Blanca	2.1x10 ³	
Promedio Agua Mezclada (DR-03)	Mezclada	4.0x10 ⁹	

CUADRO 5

CARACTERÍSTICAS PROMEDIO POR ESTRATO DE SUELO EN FUNCION
DEL TIPO DE AGUA DE RIEGO

Parámetro Estrato (cm)	Agua Negra			Agua Blanca			Agua Mezclada		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
C.E. milimhos/cm	0.84	0.80	0.90	0.66	0.60	0.48	0.88	0.76	0.87
pH	8.12	8.20	8.20	8.06	8.05	8.03	8.03	7.96	7.97
% Materia Orgánica	2.65	2.82	1.37	1.74	1.35	0.72	2.20	1.16	0.80
N-NO ₃ (Kg/Ha)	7.78	7.50	1.67	6.25	6.66	0	4.32	0.95	2.50
N-NH ₃ (Kg/Ha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fósforo (Kg/Ha)	93.06	87.50	70.83	100.00	83.30	87.50	96.72	77.40	62.50
Potasio (Kg/Ha)	208.33	358.3	361.11	300.00	400.00	275.00	400.00	400.00	400.00
Calcio (Kg/Ha)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Magnesio (Kg/Ha)	11.81	9.17	12.50	11.25	10.00	8.33	13.80	8.20	2.50
Manganeso	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ (meq/l)	5.17	4.36	4.17	5.40	5.00	4.00	5.37	4.07	3.44
Na ⁺ (meq/l)	3.62	3.52	4.28	2.24	1.09	0.80	2.93	3.25	3.36
K ⁺ (meq/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₃ - (meq/l)	1.25	1.83	0.33	0.40	0.25	0.33	0.79	0.47	0.08
HCO ₃ - (meq/l)	6.50	6.78	7.54	6.90	5.00	4.50	5.90	5.91	5.73
SO ₄ ⁼ (meq/l)	3.14	0.50	1.50	0.80	1.20	0.13	1.74	1.61	1.76
Cl ⁻ (meq/l)	2.33	0.33	0.33	0	0	0	1.36	0.23	0.03
Pb (mg/Kg)	3.08	2.36	1.61	1.95	1.63	1.00	1.90	1.31	1.33
Hg (mg/Kg)	0.027	0.036	0.029	0.05	0.06	0.07	0.03	0.54	0.11
Cd (mg/Kg)	0.354	0.283	0.343	0.267	0.333	0.300	0.408	0.299	0.236
Zn (mg/Kg)	2.975	2.067	1.142	4.480	4.625	1.133	12.470	2.380	5.922
Cu (mg/Kg)	0.767	0.308	0.292	0.620	0.500	0.433	0.555	0.375	0.305
Ni (mg/Kg)	4.672	2.452	1.042	1.900	1.450	1.367	1.653	1.545	1.283
Fe (mg/Kg)	8.446	2.217	2.242	11.760	7.950	2.667	10.960	3.160	3.688
Mn (mg/Kg)	34.090	3.242	3.542	25.600	9.300	4.233	22.470	20.030	10.198
Cr (mg/Kg)	0.602	0.342	0.375	0.280	0.300	0.233	0.493	0.393	0.311
Ca (mg/Kg)	3671	3164	2844	3748	2698	3010	4557	3921	3284
K (mg/Kg)	492	408	409	281	330	282	535	497	514
Na (mg/Kg)	693	805	994	593	397	500	764	789	783
B (mg/Kg)	0.365	0.490	0.190	0.090	0.270	0.120	0.548	0.675	0.407

CUADRO 6

CARACTERISTICAS PROMEDIO EN CULTIVOS POR TIPO DE AGUA EN ppm

Parámetro	Aguas Negras (Alfalfa)	Aguas Blancas		Aguas Mezcladas	
		(Alfalfa)	(Calabaza)	(Alfalfa)	(Jitomate)
Pb	19	13	-	25.75	-
Hg	0.06	0.32	0.02	0.15	-
Cd	1.53	1.50	1.50	2.04	-
Zn	29.92	28.00	26.50	44.86	22.83
Cu	13.25	10.75	5.00	9.50	5.00
Ni	5.00	5.00	2.00	9.04	8.50
Fe	254.67	176.25	75.00	265.00	184.00
Mn	45.17	27.25	12.50	29.90	22.30
Cr	2.42	2.25	2.00	3.76	1.83
Ca	22920	6650	2425	12158	3612
K	27722	25900	24735	17788	17417
Na	4101	2625	1225	2661	733

CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS DE LOS CULTIVOS

Características	Cultivo	Tipo de Riego	Coliformes Fecales	
			Lav. Sup.	Sin Lav.
Cultivos varios regados con las tres tipos de agua; riego reciente y sin lluvia (a)	Ajo	A. M.	16 NMP/10 gr	-
	Avena	A. M.	3000 NMP/10 gr	-
	Alfalfa	A. M.	93 NMP/10 gr	-
	Cebolla	A. N.	53 NMP/10 gr	-
Cultivos varios regados con los tres tipos de agua; último riego de 15 a 30 días antes del muestreo con lluvias recientes (b)	Jitomate	A. B.	3 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza
	Alfalfa	A. B.	3 NMP/10 gr	3 NMP/10 gr
	Jitomate	A. M.	3 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza
	Alfalfa	A. M.	15 NMP/10 gr	15 NMP/10 gr
	Alfalfa	A. N.	5 NMP/10 gr	3 NMP/10 gr
	Calabaza	A. N.	5 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza

(a) El lavado de los cultivos se efectuó en solución de cloro al 7% o fenol al 0.5% en un minuto

(b) El lavado de los cultivos se efectuó con agua en forma directa de un grifo

CUADRO 7

RENDIMIENTOS AGRICOLAS MEDIOS DE CULTIVOS (Ton/Ha) POR

CICLO AGRICOLA Y TIPO DE AGUA

Cultivo	Ciclo 70 - 71			Ciclo 71 - 72			Ciclo 72 - 73		
	Negra	Blanca	Mezclada	Negra	Blanca	Mezclada	Negra	Blanca	Mezclada
Alfalfa	90.99	94.68	97.19	88.04	93.63	90.45	84.88	84.56	89.38
Cebada	2.00	-	1.35	3.00	2.00	2.23	2.06	1.93	2.48
Frijol	0.75	-	2.15	4.13	1.31	2.84	-	-	-
Maíz	2.65	1.67	3.16	3.21	3.36	3.64	3.64	3.17	3.87
Trigo	1.99	1.50	2.22	2.91	2.01	2.40	-	-	-
Jitomate	-	-	-	-	-	-	11.10	18.50	23.26
Avena	-	-	-	14.61	10.28	17.80	19.06	17.59	21.01

partir de la aplicación de una lámina de riego y la cantidad de metales pesados tomados del suelo por los cultivos.

En el Cuadro 8 se presentan las aportaciones anuales expresadas en Kg de nutrientes/Ha-año. Estas no quedan permanentemente en el suelo, ya que el nitrógeno NH_3 y Org es pasado a nitratos con enormes pérdidas; parte de los nutrientes quedan fijos por la fracción orgánica o formando compuestos, aumentando así la reserva nutritiva del suelo para cubrir las pérdidas de nutrientes, tanto primarios como micronutrientes, que aprovechan en su crecimiento los cultivos. Las concentraciones de nutrientes incluidas en el Cuadro 5, específicamente los micronutrientes, cumplen con los requerimientos sin rebasar los límites de toxicidad, sin embargo, las aportaciones de nitrógeno del Cuadro 8 resultan deficientes, por lo que deben complementarse con fertilizantes comerciales.

Salinidad

La serie de parámetros C.E., Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, dureza, alcalinidad total, K, Na, pH, RAS, PSI, % ads. Na y textura de la cadena agua-suelo, permiten definir que las aguas disponibles en el distrito presentan condiciones alcalinas dentro de la clasificación siguiente:

C2-S₁ Aguas Blancas, CE. 624/μ mhos/cm, RAS 1.56

CUADRO 8
APORTACIONES ANUALES DE NUTRIENTES POR EL AGUA DE
RIEGO kg/Ha/año

Nutrientes	Aguas Negras	Aguas Mezcladas	Aguas Blancas
N-Norg	144.9	138.6	57.33
N-NH ₃	212.1	162.1	68.7
N-NO ₃	3.57	19.5	9.03
PO ₄ tot	551.04	290	124.5
K	1 082.55	939.5	243.6
Fe	57.75	55.65	15.5
Mn'	3.78	6.09	1.05
B	27.51	23.94	5.04
Cu	3.99	2.52	5.88
Zn	11.34	7.56	0.63
Cl	3 872.4	3 213	571.2

C₃-S₂ Aguas Mezcladas, CE. 1766 μ mhos/cm, RAS 7.84

C₃-S₃ Aguas Negras, CE. 1845 μ mhos/cm. RAS 10.5

Las aguas de riego resultan adecuadas en cuanto C.E. de tenerse drenajes eficientes y prácticas agrícolas de conservación periódicas. En función del RAS las aguas blancas resultan excelentes; las mezcladas, ligeramente riesgoso su uso y las negras, propiciadoras de condiciones salinas. Actualmente se tienen superficies afectadas en un 4% de la superficie total y ello es debido a que se localizan en zonas bajas en que el nivel freático es prácticamente superficial y presentan deficiencias en drenaje.

Los suelos presentan texturas arcillosas y migajón arcilloso, ligeramente alcalinos en su mayoría independientemente del tipo de agua de riego aplicado, no encontrándose relación alguna de causa-efecto entre ellos aunque los contenidos de materia orgánica y cationes-aniones son mayores en las aguas negras, siguiendo en orden los regados con mezcladas y blancas. La alcalinidad de los suelos es explicable por los contenidos de carbonatos y bicarbonatos naturales de los suelos, cuya solución podría ser la aplicación de sulfatos como yeso o ácido sulfúrico.

Las sales solubles presentan dos tipos de efecto en los cultivos en su crecimiento: iones perjudiciales a cada especie y el aumento de presión osmótica de la solución que rodea las raíces de la planta, pudiendo impedir la asimilación de fosfatos, hierro,

zinc y magnesio; pobre aereación y laboreo dificultoso. Sin embargo, aún que el contenido de las sales en los suelos es propiciado por el agua de riego, no presenta limitaciones al desarrollo de cultivos.

Aspectos Bacteriológicos

El aprovechamiento de las aguas residuales de la Ciudad de México y el área metropolitana en el riego agrícola del Distrito de Riego 03, hizo necesario incluir aspectos bacteriológicos dadas las altas cifras de concentración de coliformes fecales (10^8 NMP/100 ml) comparadas con el límite permisible de 1000 NMP/100 ml.

Sin embargo, la influencia de las aguas de riego en la contaminación de cultivos es de poca consideración, ya que las bacterias muestran un período corto de supervivencia en la superficie de cultivos, donde quedan adheridas logrando introducirse de tener grietas o contusiones que lo ocasionen. Se ha comprobado que la contaminación de cultivos es producida desde la recolección de los mismos durante el lavado para su empaque y en los propios centros de distribución.

Metales Pesados

Los metales contenidos en las aguas residuales tienen su origen en las descargas industriales de plantas de electrodepo-

sición e industrias metálicas, llegando a ser tóxicas para los cultivos. Se refiere como metales pesados al cadmio, zinc, cobre, hierro, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo y otros.

En las aguas de riego y suelos agrícolas del Distrito de Riego 03 se detectaron cantidades considerables de iones metálicos, evaluándose éstos con objeto de determinar el grado máximo que pudiera perjudicar la productividad de los cultivos por absorción en los tejidos vegetales. Determinándose que las concentraciones en las aguas de riego, aunque considerables no rebasan en ningún caso los límites permisibles para uso agrícola. Asimismo, las concentraciones en los suelos se encuentran en condiciones normales, pareciendo no tener una relación definida con los contenidos en las aguas de riego.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se estima que en la República Mexicana se generarán aproximadamente 26 millones de m^3 /día de aguas residuales en el año 2000, suponiendo que un 80% de la población contará con servicios de alcantarillado.
- Los sectores industriales: azucarero, celulosa y papel, hierro y acero, hilados y tejidos y químico, aportarán en el año 2000 un caudal de aguas residuales de 16 millones de m^3 /día lo

que representa una población equivalente de 103 millones de habitantes.

- . La demanda al año 2000 en la industria de la transformación se estima en 62 millones de m³/dfa
- . Las características promedio de las aguas residuales municipales (pH 7.2, sólidos sedimentables 7 ml/l y grasas y aceites 60 mg/l) del país, indican que los contenidos de sólidos sedimentables y material flotante rebasan los límites establecidos por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua:

1. - Sólidos sedimentables: valor máximo 1.0 ml/l
2. - Grasas y aceites: valor mínimo 70 mg/l
3. - Materia flotante: Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de claro libre cuadrado.
4. - Temperatura: valor máximo 35°C
5. - Potencial hidrógeno (pH): 4.5 a 10

Las siguientes conclusiones se derivan de los resultados del Estudio Piloto del Distrito de Riego 03:

La aplicación de aguas residuales en suelos agrícolas del Distrito de Riego 03 redonda en un incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en el contenido de los macronutrientes fósforo y potasio y de los micronutrientes boro, zinc, hierro, manganeso y cobre.

- . La calidad del agua de riego rebasa los límites permisibles para uso agrícola en el aspecto salinidad: sin embargo, los suelos no han sido mayormente afectados debido a que el manto de caliza es lo suficientemente poroso para permitir un drenaje adecuado. Las áreas afectadas se localizan en zonas con problemas tales como niveles freáticos elevados y deficiencias o falta de obras de drenaje.
- . Las aportaciones de materia orgánica a los suelos con la aplicación de aguas residuales en riego, han mejorado sensible aunque no significativamente la constitución del perfil laborable, dando origen a un cambio en la textura del suelo que permite una mayor facilidad de laboreo así como un incremento en la retención de elementos nutricios.
- . Las aportaciones de metales pesados a los suelos por el uso de aguas residuales al parecer no tienen una influencia notoria debido a la gran capacidad amortiguadora de los mismos: notándose en suelos con 60 años de riego, niveles que van de un décimo a un centésimo de los límites recomendables en suelos.
- . La calidad bacteriológica del agua de riego utilizada en el Distrito de Riego 03, rebasa los límites permisibles (1000 coliformes fecales y 5000 coliformes totales por 100 ml) cualesquiera que sea el tipo de agua: blanca, mezclada o negra.
- . Las concentraciones de coliformes fecales en los cultivos (3 a

15 NMP/10 gr) regados con los tres tipos de agua utilizados en el Distrito 03, permiten suponer que ésta no tiene influencia en la contaminación bacteriana de cultivos en el campo, o en su defecto, ésta es reducida por los efectos climáticos, pudiéndose presentar la contaminación en otras fases entre el campo y el consumidor, como lo son el transporte y su distribución hasta los centros de consumo.

No se localizan normas específicas sobre el contenido máximo de coliformes en cultivos; sin embargo como referencia, se tienen resultados recientes de experimentos efectuados en cultivos de tomate en el Valle de Ciudad Juárez, Chih., habiéndose determinado concentraciones de 900 coli/gr de cultivo y una vez lavado, de 1 a 5 coli/100 gr para tomates regados con agua residual con 30 mg/l de DBO. Los resultados preliminares obtenidos de coliformes fecales (3 a 15 NMP/10 gr) en el desarrollo del estudio, no son concluyentes por haberse presentado inclusive contaminación durante el lavado de las muestras.

No se observaron problemas de acumulación tóxica de boro en suelos utilizando aguas de riego negras y mezcladas en concentraciones de 1.31 y 1.14 mg/l de boro respectivamente.

Para suelos con texturas arcillosa y migajón arcilloso como los presentes en el Distrito, las concentraciones peligrosas de boro que oscilan alrededor de 2.5 ppm en el extracto de satu-

ración pueden ser prevenidas mediante la aplicación de láminas de soberrriego de 30 cm para cultivos con raíces bajo 20 cm y láminas de 50 cm para cultivos con raíces bajo 60 cm.

Recomendaciones

- . La mayoría de los estudios desarrollados en México sobre el reuso del agua, a la fecha son meramente enfocados a evaluar condiciones existentes, en función de reglamentaciones que en muchos casos no son aplicables a las situaciones particulares. Es necesario y apremiante el que se cubran bajo estudios de investigación en las condiciones del país, infinidad de aspectos en el amplio campo del reuso agrícola.
- . Uno de los aspectos que tienen prioridad es el de definir los mecanismos de contaminación bacteriológica de cultivos para consumo humano, dado que las enfermedades de origen hídrico ocupan el segundo lugar (Año 1971) como causa de defunción en el país. Es pues importante establecer medidas sanitarias y de control que incluyan el manejo y transporte hasta los centros de distribución de los productos vegetales.
- . En las zonas bajo riego con aguas residuales deberán prevenirse los problemas de salud pública por el peligro de infección del personal de campo y el ganado que abreva libremente en canales abiertos de agua negra. requiriendo además de campa-

fias de divulgación e instalación de centros de control.

- . La planeación de nuevas zonas de riego con aguas residuales deberá de tomar en cuenta estudios fisicoquímicos de suelos y de diseño parcelario ya que la integración de los constituyentes del agua y el suelo pueden seguir diferentes mecanismos, pudiendo en ciertos casos ocasionar problemas de saturación de sales, toxicidad o desplazamiento de ciertos constituyentes nutritivos y aún de hiperfertilización, o bien, prevenir éstos mediante la aplicación de técnicas tales como lixiviación periódica, adición de mejoradores químicos, etc.
- . Diseños parcelarios mal llevados ocasionan el desperdicio de volúmenes de agua residual que causan malos olores y encharcamientos que son fuentes de infección, si aunados a éstos se tienen problemas de drenaje agrícola, es muy probable que se presente ensalitramiento de suelos a corto plazo. Es por ello que es de vital importancia el tomar en cuenta estudios agronómicos.
- . Los anteriores aspectos pueden ser llevados a cabo a través de una reglamentación sobre el riego con aguas residuales que incluya los requerimientos y/o características (mínimas, adecuadas y óptimas) en aguas de riego, suelos y cultivos predominantes en el país, debiendo contemplar aspectos de control operacional y de salud pública.

CAPITULO I
GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA
REPUBLICA MEXICANA

INTRODUCCION

Con objeto de evaluar la disponibilidad y calidad de las aguas residuales generadas en el país, se han estimado en las siguientes secciones las aportaciones de agua municipal calculadas de acuerdo a la distribución de localidades por rangos de población y las correspondientes al sector industrial en función de la producción, demandas de agua e índices de descarga incluyendo además predicciones al año 2000 según los planes de expansión y la proyección a la fecha. Por otra parte, la calidad de las aguas para el sector doméstico es la resultante de las caracterizaciones en descargas de diversas poblaciones del país; para el sector industrial, desgraciadamente, en nuestro medio no han sido caracterizadas, presentándose solamente los principales parámetros indicativos del grado de contaminación de las aguas en las cuencas en que se localizan los núcleos urbanos más importantes del país obteniéndose con ello un panorama nacional de la calidad actual de las aguas que se destinan a diversos fines a través de los cauces y que conforme se aplique el reglamento vigente, deberán de mejorar en cuanto a calidad y por otra parte establecer cambios en los diferentes usos según las prioridades de cada caso en particu-

lar.

GENERACION DE AGUAS RESIDUALES

El censo del Año 1970 determinó que la población localizada en núcleos mayores de 2500 hab fué del orden de 28×10^6 hab incluyendo el Distrito Federal, Guadalajara, Jal y Monterrey, N.L., de los cuales 13×10^6 hab se encontraban distribuidos en la forma indicada en los Cuadros I-1 y I-2 para el rango de población entre 2500 y 100 000 hab.

Los datos censales del año 1970 revelan la existencia de más de 95 000 comunidades rurales con menos de 2500 hab cuyos sistemas de alcantarillado deben coleccionar aproximadamente $10 \text{ m}^3/\text{seg}$ con un gasto medio por población de 0.1 lt/seg. Las comunidades urbanas, que en el año 1970 sumaron más de 2200 con una población total de 28 millones de hab, presentan los caudales medios siguientes:

. Poblaciones entre 2500 y 10 000 hab: 1500 localidades con un gasto total de aguas residuales de $5 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un gasto medio por localidad de 3.3 lt/seg.

. Poblaciones entre 10 000 y 50 000 hab: 250 localidades con un gasto total de $5.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un gasto medio por localidad de 2.3 lt/seg.

. Poblaciones entre 50 000 y 100 000 hab: 30 localidades con un gasto total de $3.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ y un gasto medio por localidad de

CUADRO I-1

HABITANTES TOTALES Y CON SERVICIO DE ALCANTARILLADO POR ENTIDAD Y RANGO DE POBLACION

Entidad	Rangos de Población (Hab.) *								
	2 500 - 10 000			10 000 - 50 000			50 000 - 100 000		
	Total	Con Servicio	% Con Servicio	Total	Con Servicio	% Con Servicio	Total	Con Servicio	% Con Servicio
1 Aguascalientes	33 867	14 261	42.1	0	0	0	0	0	0
2 Baja California E.	57 519	13 223	23.0	14 736	8 172	55.4	127 781	61 215	47.9
3 Baja California T.	12 497	6 058	48.5	56 559	22 464	39.7	0	0	0
4 Campeche	56 366	6 636	11.8	34 636	15 820	45.6	69 508	34 239	49.3
5 Coahuila	87 685	23 613	26.9	264 087	111 289	41.8	78 134	38 346	48.9
6 Colima	45 462	12 044	26.5	63 018	29 121	46.2	58 450	50 321	86.1
7 Chiapas	180 713	56 641	31.3	127 130	57 287	45.1	127 471	94 741	73.9
8 Chihuahua	127 503	37 228	29.3	153 791	72 283	47.0	118 665	81 659	68.8
9 Durango	139 521	33 237	23.8	19 803	14 837	75.4	79 450	64 887	81.6
10 Guanajuato	217 848	61 240	28.1	113 868	183 816	161.6	141 016	105 640	74.9
11 Guerrero	275 697	55 189	20.0	138 331	79 239	56.9	0	0	0
12 Hidalgo	148 236	50 568	34.1	104 840	70 916	67.7	83 892	70 742	84.3
13 Jalisco	496 228	191 423	38.6	508 145	318 456	62.6	0	0	0
14 México	1 178 707	521 621	44.3	425 605	250 925	59.0	0	0	0
15 Michoacán	427 798	124 642	29.2	329 743	198 688	60.2	144 452	115 338	79.9
16 Morelos	227 641	54 181	23.8	69 610	43 859	63.0	0	0	0
17 Nayarit	99 157	23 766	23.9	83 374	27 069	32.5	87 540	47 384	54.1
18 Nuevo León	236 344	127 470	53.9	150 688	83 675	55.6	51 899	40 772	78.6
19 Oaxaca	313 187	58 611	18.7	191 080	71 404	37.4	99 508	54 242	54.5
20 Puebla	548 553	139 870	25.5	229 900	154 715	67.3	0	0	0
21 Querétaro	44 392	14 780	33.2	15 422	10 912	70.8	0	0	0
22 Quintana Roo	8 521	3 923	46.0	23 645	7 653	32.3	0	0	0
23 San Luis Potosí	113 820	28 374	24.9	155 913	65 183	41.8	0	0	0
24 Sinaloa	147 086	30 462	20.7	107 218	37 175	34.7	67 953	39 499	58.1
25 Sonora	170 949	71 041	41.6	218 312	109 748	50.3	109 600	67 428	61.6
26 Tabasco	83 396	32 945	39.5	74 379	40 218	54.1	99 265	67 136	67.4
27 Tamaulipas	95 160	22 522	23.7	78 709	31 495	39.9	226 674	147 640	65.1
28 Tlaxcala	127 808	30 609	23.9	81 490	41 635	51.1	0	0	0
29 Veracruz	540 334	172 136	31.9	465 090	274 217	58.8	309 162	211 641	68.5
30 Yucatán	193 832	37 338	19.3	86 146	28 651	33.3	0	0	0
31 Zacatecas	147 287	32 766	22.2	100 774	48 327	48.0	30 751	33 436	108.8
Totales:	6 357 684	2 088 171	32.8	4 772 587	2 508 938	52.6	2 122 570	1 422 804	67.0

CUADRO 1-2

DATOS ESTADISTICOS POR RANGOS DE POBLACION

Nº	Rango de Población	Nº de poblaciones	Población Total	Población con servicio de Alcantarillado	% con serv de Alcant.	Media aritmética	Desv. estándar	Comprend. 80% Pob Factor= \pm 1.3		Observaciones
								Límite superior	Límite inferior	
1	2 500- 10 000	1 474	6 557 604	2 086 171	31.8	4 449	2 500	2 500	7 750	Tomar 5 000 como la media aritmética y el rango de 2 500-7 500
2	10 000- 50 000	251	4 722 587	2 503 953	53.1	18 815	9 300	10 000	30 905	Tomar 10 000 como la media y el rango, de 10 000-30 000
3	50 000-100 000	30	2 122 570	1 422 601	67	70 752	15 500	50 602	90 902	Tomar 70 000 como la media y el rango, de 50 000-90 000

110 lt/seg.

Los caudales generados han sido estimados de acuerdo a las dotaciones promedio de 125 lt/hab-día hasta 300 lt/hab-día y una aportación del 80% dependiendo del rango de población como se observa en el Cuadro I-3.

El crecimiento anual de la República Mexicana es de 3.5%, lo que representa un incremento de población de 48.2 millones en el año 1970 a 135.4 millones en el año 2000. Suponiendo un 80% de población servida en este último año, se tendrán 108.3 millones de habitantes generando una descarga global de 25.5 millones de m³/día.

Por otra parte, una aportación adicional de aguas residuales es el sector industrial el cual genera volúmenes equivalentes a las magnitudes de población mostradas en el Cuadro I-4 (Ref. I-2). El volumen total que será descargado por los diversos sectores industriales aquí considerados y el sector doméstico ascenderá para el año 2000 a 42 millones de m³/día. Ello pone de manifiesto la problemática de controlar dichos caudales: primero para controlar la contaminación de los cuerpos receptores y de ser reutilizados éstos caudales, se obtendrán grandes beneficios; de aquí la importancia que tiene en nuestro país la reutilización del agua.

CUADRO 1-3

GENERACION DE AGUAS RESIDUALES EN EL SECTOR DOMESTICO EN EL AÑO 1970

Rango de Población	Número de Poblaciones	Población Total	% con Servicio de Alcantarillado	Población con Servicio de Alcantarillado	Dotación de Agua Potable (l/hab-dfa)	Gasto (80% R) (m ³ /dfa)
< 2 500		19 916 238	15.0	2 987 436	125	298 744
2 500- 10 000	1474	6 557 604	31.8	2 086 171	125	208 617
10 000- 50 000	251	4 722 587	53.1	2 508 958	175	351 214
50 000-100 000	30	2 122 570	67.0	1 422 601	250	284 520
100 000-800 000	28	5 974 576	69.8	4 170 254	300	1 000 860
Distrito Federal	1	6 874 165	85.0	5 843 040	300	1 402 330
Guadalajara	1	1 199 391	91.0	1 086 429	300	260 743
Monterrey	1	858 107	72.7	624 033	300	149 768
S u m a s		48 225 238		20 728 922		3 956 836

CUADRO I-4

POBLACION EQUIVALENTE A LAS DEMANDAS DE AGUA INDUSTRIAL (1)

Sector	Año 1973	Año 2000
	Nº de hab (Millones)	
Azucarera	10.44	45.80
Celulosa y Papel	1.21 0.60	12.48 3.95
Hierro y Acero	0.96	6.35 (2)
Hilados y Tejidos	0.46	3.54
Química	0.64 (2)	30.58 (2)
S u m a s	14.31	102.70

(1) Dotación 200 lt/hab-día

(2) Calculado en función de volúmenes de descarga.

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características de las aguas residuales han sido investigadas de la información de 61 comunidades (algunas de ellas con más de una descarga) para los rangos de población incluidos en el Cuadro I-1 y determinadas en la forma siguiente: (Ref. I-1)

Las descargas de seis comunidades fueron estudiadas por medio de estudios de campo y laboratorio; datos provenientes de los registros de aguas residuales (Formas PCA-2 de la S. R. H.) fueron utilizados en 43 poblaciones y la información consignada en previos estudios fue empleada en las restantes poblaciones. Las características de las aguas residuales municipales se ven afectadas por las posibles aportaciones de desechos industriales y por los consumos de agua potable, estos dos factores están a su vez ligados con el nivel de desarrollo de la población. Las características promedio de las aguas residuales de las 61 poblaciones investigadas son las incluidas en el Cuadro I-5.

Los datos anteriores del Cuadro I-5, sugieren algunas consideraciones que son de interés, como a continuación se indica: (1) La DBO es ligeramente más alta que la reportada en aguas residuales municipales de países desarrollados lo que puede explicarse por el menor consumo per-cápita de agua en las comunidades aquí consideradas, (2) la relación DBO/DQO es del orden de 0.42.

En 26 de las 61 poblaciones estudiadas fue posible esti-

CUADRO I-5 (Hoja 1 de 2)

CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES POR RANGOS DE POBLACION

	2 500 a 10 000 Habitantes			10 000 a 20 000 Habitantes			20 000 a 30 000 Habitantes			30 000 a 100 000 Habitantes		
	̄	S	CV	̄	S	CV	̄	S	CV	̄	S	CV
pH	7.43	0.47	6.3	6.40	0.41	6.2	6.94	0.55	7.9	7.26	0.24	3.3
Temperatura ° C	24.74	19.70	39	20.10	9.10	45	23.35	9.55	41	22.40	13.90	60
DRO (mg/l)	264.20	127.10	48	299	215	72	254	138	62	301	333	111
DQO (mg/l)	695.20	1436	206	719	407	57	699	363	92	430	352	81
Sólidos Sedimentables (ml/l)	9	14.70	163	4.61	5.02	110	7.90	14.31	18.1	2.81	0.99	32
Grasas y Aceites (mg/l)	55.70	42.40	76	44.30	28.70	65	65.30	52	80	96	146	170
N - amoniacal (mg/l)	26.60	16.40	62	28	18	64	14.40	12.90	84	11.70	11.30	97
N - orgánico (mg/l)	17.60	13	74	22.80	20	88	22.60	27.90	122	9.20	5.80	63
N - total (mg/l)	36.70	22.80	62	94.30	30.30	68	30	26	87	24.50	16	73
PO ₄ - fosforos (mg/l)	19.90	17	87	24.30	18.70	76	16	14	88	29	42	145
S.A.A.M. (mg/l)	13.50	9	67	11.40	9	79	17	6	35	17.10	10	58
Coliformes Totales (NMP x 100 ml) x 10 ⁻⁷	6.80	9.10	135	773	58	8	13.30	5.90	44	107	131.70	123
Sólidos Totales (mg/l)	1552	1676	108	1141	276	24	1391	643	49	912	265	29
Sólidos Totales Suspensivos (mg/l)	296	158	55	309	157	51	233	324	139	167	87	52
Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	1215	1658	137	830	309	37	1032	603	58	820	376	46
Sólidos Totales Volátiles (mg/l)	737	290	39	571	200	35	449	142	32	349	94	27
Sólidos Suspensivos Volátiles (mg/l)	184	106	58	202	137	68	266	132	54	109	65	60
Sólidos Disueltos Volátiles (mg/l)	514	1040	202	379	134	35	398	199	67	230	67	32
Sólidos Fijos Totales (mg/l)	851	807	95	565	309	55	770	561	73	602	342	57
Sólidos Fijos Suspensivos (mg/l)	106	81	76	110	65	59	98	107	109	69	53	77
Sólidos Fijos Disueltos	699	960	137	425	317	75	739	657	86	624	327	52

1-9

Simbología:

̄ Media

S Desviación Estándar.

CV = $\frac{S}{\bar{X}} \times 100$: coeficiente de variación

CUADRO 1-5 (Hoja 2 de 2)

CARACTERISTICAS PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

1-10

p H	7.2		
DBO (mg/l)	274		
DQO (mg/l)	655		
Sólidos Sedimentables (ml/l)	7		
Grasas y Aceites (mg/l)	60		
N- Total (mg/l)	42		
Fosfatos totales (mg/l)	21		
"Detergentes" (mg/l)	14		
Coliformes (NMP)	16 x 10 ⁸		
Sólidos (mg/l) :	Suspendidos	Disueltos	Suma
Volátiles	160	440	600
Fijos	100	670	770
Suma	260	1 110	1 370

mar las aportaciones per-cápita de contaminantes a partir de los datos de características de las aguas residuales, aforos de las descargas y poblaciones servidas. El promedio de los resultados como aportaciones es el incluido en el Cuadro I-6. Cabe aclarar que las aportaciones de sólidos incluyen también los sólidos presentes en el agua potable distribuida a la población, lo que es muy de tomarse en cuenta en lo que se refiere a sólidos fijos disueltos.

Desgraciadamente no se tiene conocimiento de las características de las aguas residuales generadas en los sectores industriales ya que los efluentes de un mismo sector varían en función del proceso, edad tecnológica del equipo, producto elaborado, etc. A la falta de éstas se establece, que las cuencas que presentan mayor contaminación de origen industrial, es donde se ubican las siguientes ciudades: Tampico y Madero, Tamps., Toluca, Méx., Salvatierra, Acámbaro e Irapuato, Gto., Emiliano Zapata, Zacatepec y Jojutla, Mor., Puebla, Pue., Mendoza, Orizaba, Córdoba, Fortín, de las Flores, Coatzacoalcos y Minatitlán, Ver., Torreón Coah y Lerdo y Gómez Palacio, Dgo. La contaminación originada por el sector doméstico corresponde a las ciudades de Monterrey, N. L., Guadalajara, Jal y el Distrito Federal.

Por otra parte para los sectores industriales principales, se estima que las características de las aguas que presentan o causan problemas son: Industria azucarera (sólidos suspendidos, pH

CUADRO I-6 (Hoja 1 de 2)

APORTACIONES PROMEDIO DE AGUAS RESIDUALES POR RANGO DE POBLACION

Característica (gr/hab/día)	2 500 a 10 000 Habitantes			10 000 a 20 000 Habitantes			20 000 a 50 000 Habitantes			50 000 a 100 000 Habitantes		
	\bar{x}	S	CV	\bar{x}	S	CV	\bar{x}	S	CV	\bar{x}	S	CV
DBO	48	18.15	38	40	17.3	43	52	35.3	68	35	10	29
DQO	102	82	80	79	25.5	32	136	122	90	107	43	40
N- Total	7	4.17	60	7	6.84	98	8	5.7	71	4	2.6	64
PO ₄ Totales	5	5.32	106	2	1.5	75	3	3.02	100	8	12.3	153
Sólidos Totales	240	155	64	239	271	113	249	251	100	245	130	53
Sólidos Suspendedos Totales	67	59	88	37	22	59	39	20	51	34	18.6	55
Sólidos Disueltos Totales	160	93	58	203	327	161	206	236	114	211	122	58
Sólidos Volátiles Totales	112	76	68	464	837	180	81	62	76	69	14	20
Sólidos Volátiles Suspendedos	33	27.5	83	53	80	150	26	9	35	20	5.8	29
Sólidos Volátiles Disueltos	66	35.3	53	72	52.4	73	59	61	103	49	17	35
Sólidos Fijos Totales	116	78.4	67.5	163	214	131	172	200	116	176	142	81
Sólidos Fijos Suspendedos	26	27	103	18	18.2	101	24	30	125	13	16.4	126
Sólidos Fijos Disueltos	101	61	60	153	228	149	141	200	142	164	120	73
Sólidos Sedimen- tables	3 639	2 167	59	1 340	2 264	169	2 732	2 069	76	564	113	20

I-12

Simbología

\bar{x} Media

S Desviación Estándar

CV = $\% \frac{S}{\bar{x}}$: Coeficiente de variación

CUADRO I-6 (Hoja 2 de 2)

APORTACIONES DE CONTAMINANTES DE ORIGEN MUNICIPAL PER CAPITA (gr/ha.xdia)

DBO	45		
DQO	110		
N ⁻ total	8		
Fosfatos totales	4.6		
Aportaciones de sólidos			
	Suspendidos	Disueltos	Suma
Volátiles	36	59	95
Fijos	16	132	148
Suma	52	191	293

DBO), celulosa y papel (sólidos suspendidos y sedimentables, DBO y color), del hierro y acero (sólidos suspendidos y sustancias como cianuros, fenoles, amoníaco y fluoruros), textiles (polvo, grasas, materia vegetal y productos químicos como son detergentes, colas, aceites y lubricantes para el ramo de fibras, grasas y DBO para procesadoras de lana y en textiles sintéticos, los contaminantes comunes a estas ramas textiles son sólidos y color, y por último el sector de química inorgánica (pH).

CAPITULO II
EVALUACION DEL AGUA RESIDUAL
COMO RECURSO HIDRAULICO

Los volúmenes de agua residual se ven incrementados proporcionalmente con la demanda de agua potable por los núcleos urbanos, o bien, por el crecimiento industrial; por consiguiente, de acuerdo al análisis presentado en el capítulo anterior, se tiene una generación de 3.9×10^6 m³/dfa de agua residual doméstica y 2.7×10^6 m³/dfa de descarga industrial en los sectores más importantes del país, mismos que se desperdician o son poco aprovechados durante su recorrido a través de los cauces que posteriormente drenan al mar, principal cuerpo receptor. Analizando las características de las aguas, se tiene que el agua residual municipal es bastante aceptable para considerarla un recurso hidráulico y para los desechos industriales deberán ser estudiados en forma particular, por lo que el enfoque y objetivos del presente estudio son básicamente al agua residual municipal, aunque se ha demostrado en efluentes combinados que sus características (dependiendo de la proporción doméstica industrial) son aceptables para considerarlas aprovechables. A continuación en las siguientes secciones, se presenta un análisis de los diversos usos, calidades requeridas, demandas de agua y la factibilidad técnica y económica de aprovechar las aguas resi-

duales como un recurso hidráulico y reforzar más su urgente reuso ya que es imperiosa su necesidad para no ver frenado el crecimiento industrial de algunas zonas del país por la falta de agua de primera calidad, abrir nuevas áreas al riego agrícola o bien efectuar un canje del tipo de agua en las áreas industriales y utilizar la actual en fines de primordial necesidad como lo es el agua de abastecimiento de las propias poblaciones, e inclusive abrir áreas nuevas al cultivo o pasar éstas de riego temporal a riego seguro. Estos conceptos y otros más se definen en las siguientes secciones, demostrando así que el agua residual es un recurso hidráulico muy valioso.

USOS DEL AGUA RESIDUAL

Reuso en la Industria

La necesidad de agua en la industria es cada día mayor en nuestro país para fines de enfriamiento, procesos, alimentación de calderas y de riego de áreas verdes. Por consiguiente, el reuso del agua dependiendo del uso y calidad requerida, presenta las ventajas siguientes: liberar volúmenes de agua de mejor calidad a la cual puede darse otro uso, disminuir los caudales a tratar por las autoridades municipales y un menor costo que el agua de primer uso. Sin embargo, se requiere investigar los efectos de su uso en los productos manejados por el hombre a fin de elaborar las medi-

das sanitarias correspondientes.

Reuso en los Municipios

El reuso en los municipios permite liberar volúmenes de agua de mejor calidad a la cual puede darse el uso de abastecimiento de agua potable creando así zonas de recreación con aprovechamiento en riego de jardines y llenado de lagos recreativos.

Recarga de Acufferos

En zonas densamente pobladas, las demandas de agua potable han provocado una sobre explotación de los acufferos subterráneos produciéndose con ello por la clase de suelo, hundimientos de las construcciones, dislocamientos en las redes de agua y drenajes, etc. y como más importante una disminución en la capacidad del acuffero; el reuso del agua en la recarga de acufferos se deberá efectuar según propósitos fijados previamente y en base a ellos llevar a cabo el tratamiento requerido y en forma estricta deberá tener un especial control de calidad, a fin de evitar enfermedades a los consumidores en las zonas adyacentes al acuffero recargado.

Reuso en la Agricultura

El reuso de las aguas en la agricultura presenta las ventajas siguientes: libera volúmenes considerables de agua de mejor calidad a la cual puede darse otro uso, como abastecimiento de

agua potable; permite incrementar el área de riego; fomenta el desarrollo pecuario y aumenta el valor de los terrenos al pasar a riego seguro. Para ello, se requiere investigar lo siguiente: (1) la calidad de las aguas de riego en sus aspectos físicoquímicos y bacteriológicos, (2) sus efectos en los suelos y cultivos en los aspectos de salinidad, contenido de sodio y concentraciones de boro y otros elementos o metales pesados y (3) la concentración de coliformes en los cultivos. Dichos aspectos están relacionados con la productividad agrícola y con los medios sanitarios a fin de evitar enfermedades en el ganado y al hombre.

Las mayores demandas de agua corresponden a la agricultura y a la industria y por lo tanto, presentan prioridad respecto al resto de los usos. Las calidades de agua requerida por ambas actividades, son las mencionadas a continuación.

REUSO EN LA INDUSTRIA

El agua utilizada en la industria debe de cumplir ciertos requisitos de calidad ya que de otra forma es causa de problemas o fallas en las instalaciones tales como las siguientes: (1) tratándose de contaminantes orgánicos en estado sólido o disuelto: fallas en los intercambiadores de calor, corrosión, espumas en calderas y torres de enfriamiento, envenenamiento de catalizadores, destrucción de resinas de intercambio iónico y contaminación de la produc-

ción, los poluyentes orgánicos también contribuyen al crecimiento biológico en las torres de enfriamiento y por lo tanto no sólo incrementan los problemas por fallas sino también deterioran el material de las torres (madera), (2) los contaminantes inorgánicos, usualmente en estado disuelto son costosos de remover, los cloruros contribuyen a la corrosión de los metales, el calcio, magnesio y fósforo causan formación de escamas en las calderas e intercambiadores de calor, los carbonatos aceleran la delignificación de la madera en las torres de enfriamiento y los nutrientes de las plantas, fosfatos y nitratos contribuyen a la formación de lama en las torres de enfriamiento.

REUSO EN LA AGRICULTURA

El agua utilizada en la agricultura debe cumplir ciertos requisitos de calidad, ya que de otra forma se presentarían problemas como los siguientes: (1) de aplicarse aguas altamente salinas en suelos de drenaje deficiente sin prácticas agrícolas adecuadas no se lograrán ni cultivos tolerantes a las sales, (2) el contenido de sodio en aguas de riego puede presentar un gran peligro en suelos de textura fina, (3) de exceder el boro de ciertos valores, se presentan problemas dependiendo del tipo de suelo, cultivo, método de labor y eficiencia de drenaje, (4) la presencia de metales pesados afecta a los cultivos y su concentración es función de la sensibilidad

de las plantas.

El aprovechamiento de las aguas negras con fines de riego agrícola ha sido practicado por muchos años en nuestro país. Los principales problemas que plantea el reuso de aguas residuales domésticas con fines agrícolas son por una parte de carácter sanitario y por otra parte de contaminación química de los suelos que puede afectar adversamente la productividad agrícola; ambos aspectos son cubiertos en la mayor parte de los reglamentos vigentes en el mundo. El Código Sanitario Mexicano, en su artículo 120 especifica que:

" Solo podrán ser utilizadas las aguas negras para usos agrícolas en los casos y bajo las condiciones que determine el Consejo de Salubridad General"

Un reglamento más específico ha sido propuesto por la Secretaría de Recursos Hídricos y coincide en los aspectos siguientes con los reglamentos del Estado de California en la Unión Americana y el reglamento provisional de la URSS:

1. - Efluentes de plantas de tratamiento primario pueden ser utilizados en el riego de forrajes, productos alimenticios que no se consumen crudos y jardines y plantas ornamentales con excepción del Estado de California, que requiere desinfección en el caso específico de campos de golf y jardines públicos y
2. - Aguas negras oxidadas y desinfectadas pueden ser utilizadas en

el riego de otros productos agrícolas que se consumen crudos como zanahorias, rábanos, etc.

La cadena agua-suelo-cultivo presenta límites o normas referentes a los parámetros que la definen, respecto al comportamiento o a los efectos que producen sobre los suelos y cultivos las aguas de riego con concentraciones elevadas de cloruros, metales pesados, etc. A continuación se presentan específicamente los límites permisibles y los parámetros más importantes a considerar para cada rubro como son los siguientes:

Aguas: Conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio

Suelos: Textura, porcentaje de sodio intercambiable, conductividad eléctrica y tóxicos

Cultivos: Sales y tóxicos

Aguas de Riego

La conductividad eléctrica que es una medida indirecta de la presión osmótica y la cantidad de sólidos totales disueltos en las aguas de riego, se ha clasificado según los efectos en los cultivos (Ref. II-1), como se muestra en el Cuadro II-1.

Cuando en el agua de riego el contenido de carbonatos y bicarbonatos es mayor que el calcio y magnesio, existe la posibilidad de que se forme carbonato de sodio y se calcula con el índice

CUADRO II-1

CLASIFICACION DE AGUAS DE RIEGO POR
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Respuesta del Cultivo	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Conductividad Eléctrica (Mmhos/cm)
Agua que no ocasiona efectos perjudiciales notablemente	5- 500	0.75
Agua que puede ser perjudicial en cultivos sensibles	500-1000	0.75-1.50
Agua que puede tener efectos adversos sobre varias cosechas y que requiere cuidado en las prácticas de manejo del suelo	1000-2000	1.50-3.00
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes a las sales con cuidadosa prácticas de manejo y sobre suelos permeables	2000-5000	3.00-7.50

CUADRO II-2

RANGOS DE CARBONATO DE SODIO RESIDUAL

Agua inadecuadas para irrigación	más de 2.50
Uso de aguas de riego con riegos	1.25 - 2.50
Agua adecuadas para irrigación	menores de 1.25

de carbonato de sodio residual $CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$ en meq/l y deberá de tener los rangos establecidos en el Cuadro II-2 (Ref. II-2).

Las aguas de riego, se han clasificado de acuerdo a su conductividad eléctrica y relación de adsorción de sodio. (Ref. II-2) y se presentan en forma gráfica en el Diagrama de Clasificación en la Fig. II-1 y a continuación, se transcribe la interpretación de dicha clasificación que toma en cuenta el uso del agua según la clase de suelo y proporciona los lineamientos de los perjuicios que puede tener el utilizar el agua de riego.

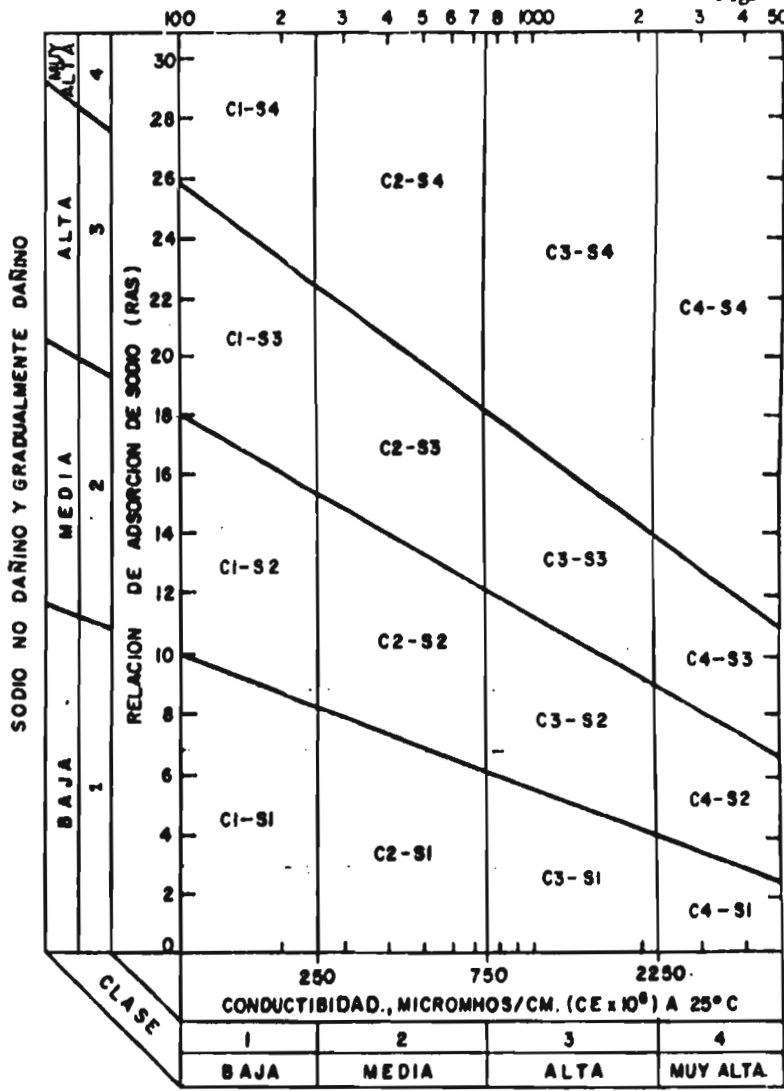
Clasificación por Salinidad:

Agua de baja salinidad (C1): Puede usarse para riego de la mayor parte de los cultivos, en casi cualquier tipo de suelo con muy poca probabilidad de que se desarrollen problemas de salinidad. Si el suelo necesitara algún lavado, éste se logra en condiciones normales de riego, excepto cuando se trata de suelos de muy baja permeabilidad.

Agua de salinidad media (C2): Puede usarse siempre y cuando haya un grado moderado de su uso. En casi todos los casos y sin necesidad de prácticas especiales de control de salinidad se pueden desarrollar las plantas moderadamente tolerantes a las sales.

Agua altamente salina (C3): No puede usarse en suelos

Fig. 11-1



SALINIDAD NO DAÑINA Y GRADUALMENTE DAÑINA

DIAGRAMA DE CLASIFICACION PARA AGUAS DE IRRIGACION

cuyo drenaje sea deficiente. Aún con drenaje adecuado pueden necesitar prácticas especiales de control de la salinidad, debiendo, por lo tanto, seleccionar únicamente aquellas especies vegetales muy tolerantes a las sales.

Agua de salinidad muy alta (C₄): No es propia para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado, debiendo aplicarse un exceso de agua para lograr un buen lavado, en este caso se deben seleccionar cultivos altamente tolerantes a las sales.

Agua baja en sodio (S₁): Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

Agua media en sodio (S₂): En suelos de textura fina el sodio representa un peligro considerable, más aún si dichos suelos poseen una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavado deficiente, a menos que el suelo contenga yeso. Estas aguas solo pueden usarse en suelos de textura gruesa o en suelos orgánicos de buena permeabilidad.

Agua alta en sodio (S₃): Puede producir niveles tóxicos de sodio intercambiables en la mayor parte de los suelos, por lo

que estos necesitarán prácticas especiales de manejo (buen drenaje, fácil lavado y adiciones de materia orgánica).

Agua muy alta en sodio (S4): es inadecuada para riego excepto cuando su salinidad es baja o media y cuando la disolución del calcio del suelo y/o la aplicación de yeso y otros mejoradores no hace antieconómico el empleo de esta clase de agua.

Respecto al contenido de boro en el agua de riego, estas se han clasificado desde excelentes a inadecuadas según el grado de tolerancia de los cultivos. (Ref. II-3, Cuadro II-3)

Concentraciones de metales pesados como el manganeso han sido dañinas en algunos cultivos (Ref. II-4), tales como los enlistados en el Cuadro II-4.

Concentraciones de mercurio de 1.0 mg/l en aguas de riego son aceptables y el cobre en concentraciones mayores de 0.5 mg/l es índice de contaminación por efluentes industriales (Ref. III-1).

El contenido de cloruros (Ref. II-5) es requerido para clasificar las aguas de riego de algunos cultivos como son: Limonero, mandarina, naranjo, frutales de hueso, aguacate, vid, zarzamora y fresa y su clasificación está especificada en el Cuadro II-5.

La clase dependerá de los valores que tengan los índices: es decir:

Buena, - Corresponde a aguas con menos de 20% de $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ y

CUADRO II-3

CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO SEGUN
EL CONTENIDO DE BORO

Clase de Agua de Riego	Sensibles				Semitolerantes				Tolerantes				
	B	o	r	o	(	m	g	/	l				
Excelentes	0,33				<	0,67				<	1,00		
Buena	0,33-0,67					0,67-1,33					1,00-2,00		
Permisible	0,67-1,00					1,33-2,00					2,00-3,00		
Dudosa	1,00-1,25					2,00-2,50					3,00-3,75		
Inadecuada	> 1,25					> 2,50					3,75		

CUADRO II-4

CONCENTRACIONES DE MANGANESO DAÑINAS
A ALGUNOS CULTIVOS

Cultivo	Concentración (mg/l)
Plantas	0,5-3,5
Legumbres	1,0-10,0
Simiente de naranja y mandarina	5,0
Tomate	5,0-10,0
Frijol soya	10,0-25,0
Lino	25,0-100,0
Avena	150,0-200,0

CUADRO II-5

CLASIFICACION DE AGUAS DE RIEGO SEGUN EL
CONTENIDO DE CLORUROS

Clase	Contenido de Cloruros me/l
Buena	menos de 1.0
Condicionada	de 1.0 a 5.0
No recomendable	más de 5.0

los valores son: clasificación C_1S_1 , $SP < 3$ me/l, $CSR < 1.25$ me/l, $B < 0.3$ ppm y $Cl < 1$ me/l. De ser aguas con más de 20% de CO_3+HCO_3 , los valores son: $CE < 250$ Mmhos/cm, $SP < 3$ me/l, $CSR < 1.25$ me/l, $PSP < 50\%$ $B < 0.3$ ppm y $Cl < 1$ me/l.

No recomendable. - El agua no se considera recomendable si uno o más índices rebasan los valores siguientes: aguas con menos de 20% de CO_3 y HCO_3 , clasificación C_4S_1 y/o C_1S_4 , $SP > 15$ me/l, $CSR > 2.5$ me/l, $B > 4$ ppm y $Cl > 5$ me/l. De ser aguas con más de 20% de CO_3 y HCO_3 , $SE > 15$ me/l, $SP > 15$ me/l, $CSR > 2.5$ me/l, $B > 4.0$ ppm y $Cl > 5$ me/l.

Condicionada: Cuando los valores anteriores de los índices están comprendidos entre los extremos señalados.

La clasificación del agua de riego según su SP, Salinidad Potencial, (Ref. II-5) índice que estima el peligro de las sales como cloruros y sulfatos, al quedar en solución a bajos niveles de humedad y por consiguiente aumentan la presión osmótica, es la mostrada en el Cuadro II-6 y este índice se calcula según la fórmula:
 $SP = Cl \times 1/2 SO_4^{\pm} (me/l)$.

El contenido de sodio y sales clasifica las aguas de riego en buena, dudosa e inadecuada (Ref. II-9), según se muestra en la Fig. II-2.

CUADRO II-6

CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO
SEGUN SU SALINIDAD POTENCIAL

Condición del Suelo	C l a s e		
	Primera	Segunda	Tercera
Textura pesada, baja velocidad de infiltración (0.5 cm/hra), nivel freático	< 3	3 a 5	> 5
Textura media, velocidad de infiltración (2 cm/hra) nivel freático poco profundo.	< 5	5 a 10	> 10
Textura ligera, velocidad de infiltración alta (> 2 cm/hra), nivel freático profundo.	< 7	7 a 15	> 15

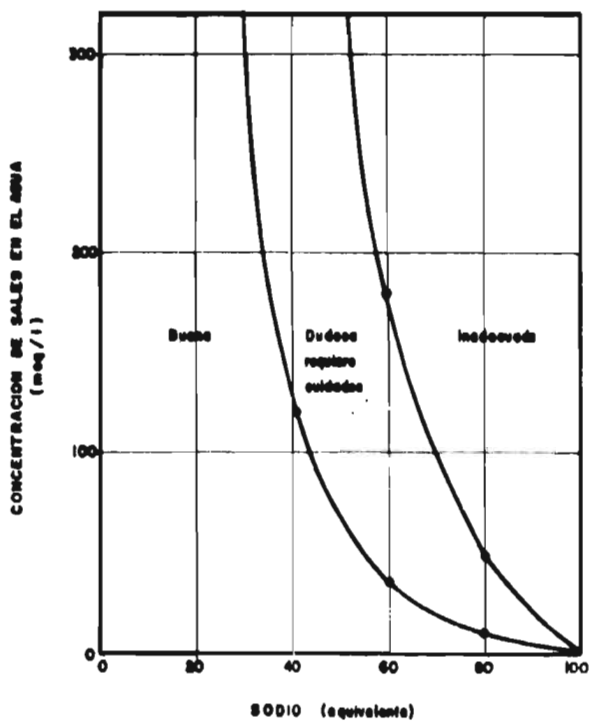
CUADRO II-7

CLASIFICACION DEL AGUA DE RIEGO
SEGUN EL PORCIENTO DE SODIO POSIBLE

Condición del Suelo	PSP	Clasificación
Cualquiera	< 50%	Buena para riego
Suelos orgánicos o de textura ligera.	< 50% ó > 50% pero con menos de 10 me/l de sodio	Buena para riego
Suelos minerales de texturas medias o pesadas con menos de 4% de CaCO ₃ + Mg CO ₃	> 50%, con más de 10 me/l de sodio	Peligro de sodificación.

Fig. II-2

CLASIFICACION DEL AGUA RESPECTO AL CONTENIDO
DE SODIO Y SALES



El peligro del desplazamiento de calcio y magnesio por el sodio, en el complejo de intercambio, empieza cuando el contenido de sodio en solución representa más de la mitad de los cationes disueltos, por consiguiente el porcentaje de sodio posible (PSP) (Ref. II-5), está referido a la salinidad efectiva y se calcula con la fórmula siguiente en donde Na y SE están en me/l (Cuadro II-7).

$$PSP = \frac{Na}{SE} \times 100$$

Las concentraciones máximas de elementos tóxicos en aguas de irrigación (Ref. II-6) según el tipo de suelo y el uso del agua son las mostradas en el Cuadro II-8.

Los límites de concentración de metales pesados en las aguas de riego dependen de la clase de uso, si es continuo o esporádico (Ref. II-4), como se muestra en el Cuadro II-9.

El reglamento del Estado de California para el riego agrícola con aguas residuales (Ref. II-7), incluye para riego por aspersión y en comestibles naturales que las aguas se consideran desinfectadas si la mediana de los resultados obtenidos de coliformes en los últimos siete días en que se han realizado los análisis de muestras en las tuberías de riego no excede a 2.2/100 ml en cultivos de comestibles que serán procesados por medios químicos.

Suelos

Composición del Suelo

CUADRO II-8

CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS TOXICOS EN AGUAS DE RIEGO

Elemento	Para agua usada continuamente en todo tipo de suelo mg/l	Para agua usada en suelo de textura fina mg/l
Arsénico	1.0	10.0
Berilio	0.5	1.0
Boro	0.75	2.0
Cadmio	0.05	0.05
Cromo	5.0	20.0
Cobalto	0.2	10.0
Cobre	0.2	5.0
Plomo	5.0	20.0
Litio	5.0	5.0
Molibdeno	0.005	0.05
Níquel	0.5	2.0
Vanadio	10.0	10.0
Zinc	5.0	10.0

Al

Mn

Seleto

1

2

0.05

20

20

0.05

CUADRO II-9

CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN AGUAS DE RIEGO

Elemento	Uso continuo mg/l	Uso esporádico mg/l
Aluminio	1	20
Arsénico	1	10
Berilio	0.5	1
Boro	0.75	2.1
Cadmio	0.005	0.05
Cromo	5	20
Cobalto	0.2	10
Cobre	0.2	5
Plomo	5.0	20
Manganeso	2.0	20
Níquel	0.005	0.05
Níquel	0.5	2
Selenio	0.05	0.05
Zinc	0.5	10

Los suelos generalmente constan de cuatro partes: (1) Materia mineral derivada de las rocas, pero más o menos alterada por descomposición directa o por la que sufren los productos de descomposición de otras partículas; (2) Carbonato de calcio, fosfatos y algunos compuestos orgánicos resistentes, derivados de plantas y organismos presentes en periodos anteriores; (3) Residuos de plantas y microorganismos recientemente incorporados al suelo y (4) Agua edáfica, que constituye una solución de las varias sales solubles y parcialmente solubles que existen en el suelo. Esto corresponde al suelo considerado como una masa de partículas, pero existe otro aspecto que es del suelo como medio para el crecimiento de las plantas y por consiguiente como medio para el desarrollo de las raíces. Bajo este aspecto el suelo es una red de canalículos llenos de aire y agua encuadrados por superficies sólidas; y sus propiedades dependen de la geometría de esta red interconexa, llamada espacio de poros, de las propiedades de las superficies que lo enmarcan y de los mecanismos que suministran elementos nutritivos a las plantas, tanto del agua como de las superficies sólidas.

Clasificación de los Suelos

La calidad de un suelo es función del por ciento de sodio intercambiable referido a su capacidad de intercambio y el del contenido de sales solubles totales, expresado en términos de conduc-

tividad eléctrica. Los suelos, se han clasificado en la forma siguiente (Ref. II-8).

A continuación se describen brevemente los suelos salinos, salinos sódicos y sódicos: Cuadro II-10.

Los suelos salinos son reconocidos fácilmente por la presencia de costras blancas de sal sobre la superficie. El sodio raras veces constituye más de la mitad de los cationes solubles, las cantidades relativas de calcio y magnesio que están presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio, varían considerablemente. El potasio intercambiable y el soluble son comunmente constituyentes de menor cuantía; sin embargo, en ocasiones pueden ser principales. Los aniones de mayor importancia son: cloruros, sulfatos y algunas veces nitratos, ocasionalmente pueden presentarse pequeñas cantidades de bicarbonatos. Los carbonatos solubles rara vez se encuentran; los suelos salinos además pueden contener sales poco solubles, tales como sulfato de calcio (yeso) y los carbonatos de calcio y magnesio (cal).

Los suelos salinos sódicos son el resultado de los procesos de salinización y sodificación combinados. La apariencia y las propiedades son semejantes a los suelos salinos; el pH puede ser mayor de 8.5 pero generalmente es menor. Por el exceso de sales, las partículas permanecen floculadas, si el exceso de sales se lixivia, las propiedades del suelo pueden cambiar marcadamente y vol-

CUADRO II - 10

CLASIFICACION DE SUELOS EN FUNCION
DE LA C.E. Y EL % Na

Clase de Suelo	Conductividad Eléctrica mmhos/cm	% Na Intercambiable
Normal	0 - 4	0 - 15
Salino	> 4	0 - 15
Sódico	0 - 4	> 15
Salino Sódico	> 4	> 15

CUADRO II - 11

CONCENTRACIONES DE MICRONUTRIENTES
EN SUELOS

Nutrientes	Contenido Total en Suelos
Fierro	1-5 %
Manganeso	100-4 000 ppm
Cobre	2-100 ppm
Zinc	10-30 ppm
Boro	2-100 ppm
Molibdeno	0.2-5 ppm
Cloruros	50-500 ppm

verse similares a los suelos sódicos. Algunas veces los suelos salinos-sódicos contienen yeso y cuando tales suelos se lixivian, el calcio se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable simultáneamente con la remoción de las sales en exceso.

Los suelos sódicos se encuentran en zonas áridas y semiáridas en pequeñas áreas irregulares (puntos lisos), sus pH varían entre 8.5 y 10, y si el yeso no se encuentra presente en estos suelos o en las aguas con que se va a irrigar, el drenaje y la lixiviación dan lugar a la formación de los suelos sódicos. El sodio intercambiable que se encuentra en este tipo de suelos tiene gran influencia en las propiedades físicas y químicas; volviéndose disperso a medida que la proporción de sodio intercambiable aumenta. Los aniones están presentes en grandes cantidades como son los cloruros, los sulfatos y los bicarbonatos.

Los cationes que comunmente se determinan en los suelos salinos y sódicos son: calcio, magnesio, sodio y potasio. Los aniones son: los carbonatos, sulfatos y cloruros, ocasionalmente nitratos y silicatos.

Boro

El boro soluble se encuentra en los extractos de los suelos salinos en concentraciones que oscilan de 2 a 100 mg/Kg. Es esencial para el crecimiento de las plantas y excesivamente tóxico

a concentraciones mayores. El contenido de boro es un factor decisivo para el diagnóstico de un suelo.

Relación de Adsorción de Sodio

Es una relación que se usa para expresar la actividad relativa de los iones de sodio en las reacciones de intercambio con el suelo. En la Fig. II-3, se presenta un nomograma para determinar el valor RAS de un extracto de saturación para estimar el valor correspondiente del porcentaje de sodio intercambiable del suelo, cuando está en equilibrio con el extracto, definiéndose el PSI como el grado de saturación con sodio que presenta el complejo de intercambio del suelo.

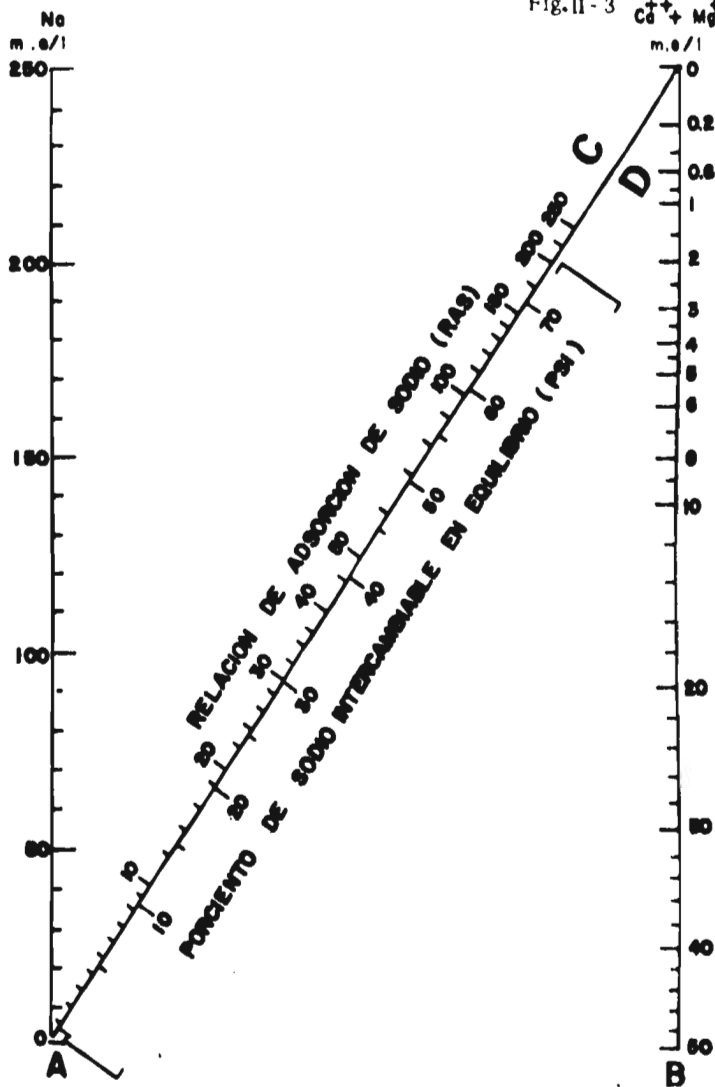
$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (\text{Concentraciones iónicas en me/l})$$

$$\text{PSI} = \frac{\text{Na intercambiable (me/100 gr suelo)}}{\text{Capacidad de Intercambio (me/100 gr suelo)}} \times 100$$

Micronutrientes

Esencialmente se requieren siete elementos en pequeñas cantidades por las plantas, y estos incluyen fierro, magnesio, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloruros, las concentraciones de estos nutrientes en el suelo, son las presentadas en el Cuadro II-11 (Ref. II-5)

Fig. II - 3 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$



Nomegrama para determinar el valor RAS de un extracto de saturación y para estimar el valor correspondiente del PSI del suelo, cuando está en equilibrio con el extracto.

Cultivos

Las necesidades de los elementos básicos como el nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, sodio, etc., son explicados a continuación:

Nitrógeno: Es esencial para el crecimiento de los vegetales, dado que es un constituyente de todas las proteínas y por consiguiente, de todos los protoplasmas. Cantidades excesivas dan hojas con células muy grandes y de pared delgada y son fácilmente atacadas por los insectos y hongos patógenos, así como por las condiciones climatológicas y en algunos cultivos como los cereales, elevadas cantidades de nitrógeno retrasan la maduración y estimulan el desarrollo de pajas con relación al grano. En cambio para otros como el maíz y el sorgo es un efecto contrario.

Fósforo: Como orto fósforo, desempeña un papel fundamental en un gran número de reacciones enzimáticas que dependen de la fosforización; por ello es un constituyente del núcleo celular, siendo esencial para la división de las células y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos. Un exceso de fósforo sobre la cantidad requerida por la cosecha disminuye algunas veces los rendimientos.

Azufre: Constituyente esencial de muchas proteínas, su deficiencia es reconocida como amarillez del té.

Potasio: Es esencial en la nutrición de las plantas y por lo general se encuentra en pequeñas cantidades, por lo que es agregado con

fertilización. De encontrarse en pequeñísimas dosis, las plantas son raquíticas y de hojas pequeñas, de color gris y presentan un marchitamiento prematuro. El exceso de potasio que se provoca con las aplicaciones demasiado fuertes de los correspondientes abonos, reducen la cantidad de otros cationes que puede absorber la cosecha.

Calcio: Es esencial para el crecimiento de los meristemas, y particularmente para el desarrollo y funcionamiento adecuados de los ápices de las raíces. La deficiencia del calcio se presenta en forma típica sobre los suelos muy ácidos, causa un desarrollo raquítico del sistema radicular y da una apariencia bastante característica a la hoja. Las cantidades grandes de calcio en un suelo no tienen efecto perjudicial directo en la mayoría de los cultivos, pero puede reprimir la absorción del magnesio y de potasio, requiriendo dosis fuertes de fertilizantes potásicos.

Magnesio: Es necesario en todas las plantas dado que es un constituyente de la clorofila y desempeña un papel importante en el transporte del fósforo, por lo cual puede aumentarse algunas veces la riqueza del fósforo agregando fertilizantes magnésicos. La deficiencia se presenta con frecuencia en suelos arenosos ácidos que son también deficientes en calcio.

Sodio: Parece no ser un elemento esencial pero ciertas especies se desarrollan mejor en presencia de sodio cumpliendo algunas funciones propias del potasio. Las especies cultivadas se han dividido en

cuatro grupos con arreglo a sus necesidades relativas del sodio, mismas que se presentan en el Cuadro II-12.

Cloruros: Se absorben por la mayor parte de las plantas de la solución del suelo y no hay prueba de que existan suelos en los que las cosechas se vean afectadas por falta de cloruros. No se tienen pruebas de que el ión tengan un efecto específico sobre el desarrollo vegetal, aunque algunas veces adelanta la maduración.

Hierro: La deficiencia del hierro se muestra como una clorosis típica, particularmente en suelos calizos. Esta deficiencia puede inducirse si se cultiva una especie sobre un suelo que contenga una concentración demasiado grande de muchos iones. Así el cobalto, cobre, cromo, zinc, manganeso y plomo pueden hacer que las plantas muestren los síntomas de deficiencias de hierro, lo mismo que los de la toxicidad específica de aquellos iones.

Manganeso: La deficiencia de éste elemento se presenta típicamente sobre suelos calizos, particularmente si el nivel freático es alto aunque puede presentarse también sobre suelos arenosos neutros y francos-ligeros. Su presencia en avena se refleja como la enfermedad moteada gris, en la remolacha azucarera una amarillez y en los guisantes como manchas negras. El principal factor que gobierna la accesibilidad del manganeso del suelo es el pH. Cuanto más ácido es el suelo, mayor es la accesibilidad del manganeso.

Zinc: Las enfermedades por deficiencia de zinc son de gran impor-

CUADRO 11-12

EFFECTO DEL SODIO APLICADO COMO NUTRIENTE SOBRE
DIFERENTES ESPECIES CULTIVADAS

Grado de Beneficio con Deficiencia de Potasio		Grado de Beneficio con Potasio Defluente	
1.- Ninguno a muy ligero	2.- Ligero a medio	3.- Ligero a	4.- Grande
Alforión	Cebada	Coles	Apio
Lechuga	Porécol	Col rizada	Remolacha forrajera
Mafz	Coles de Bruselas	Kohlrabi	semiazucarera
Patata	Zanahoria	Mostaza	Remolacha azucarera
Centeno	Algodón	Rábano	Remolacha comestible
Soya	Avena	Colza	Nabo
Espinaca	Guisante		
Fresa	Tomate		
Girasol	trigo		
Alubia blanca			

tancia en muchos suelos de los EE.UU., y aparecen típicamente en climas que tienen una elevada luminosidad, están frecuentemente restringidos a los suelos pesados o a los arenosos que contienen turba. Se ha encontrado que algunas malas hierbas contienen mayores cantidades de zinc que los cultivos; habiendo plantas que son extractoras de zinc como la alfalfa.

Cobre: Las funciones del cobre son dos y bastante diferentes: una relacionada directamente con la nutrición de las plantas y otra con los caracteres del suelo. La función como elemento nutritivo es el resultado de ser éste un constituyente de algunas enzimas. En los suelos en que aparecen como tal, es decir, donde solamente se requieren abonados poco intensos, es posible que exista una intracción entre las necesidades en zinc y cobre en el sentido de que los cultivos pueden responder al zinc si se les suministra también cobre, pero no si se les agrega este elemento.

Molibdeno: Es otro elemento que se ha reconocido últimamente como necesario para el crecimiento de las plantas, pero difiere de otros elementos en que las plantas tienen probabilidades de desarrollarse satisfactoriamente sin él. Las plantas en un medio sin molibdeno, en presencia de nitratos, los acumulan en sus tejidos, por lo que el molibdeno parece ser un elemento esencial para la enzima que facilita la reducción de los nitratos.

En el Cuadro II-13, se presentan los rangos de concen-

CUADRO II-13

CONCENTRACIONES DE MICRONUTRIENTES EN CULTIVOS

Nutriente	Concentración			Síntomas de Deficiencia
	Deficiente	Normal	Exceso	
Fierro ppm	10-80	30-150	No tóxico	Clorosis
Manganeso ppm	5-20	15-100	Depende de la relación Fe: Mn; pudiendo ser 1 000	Clorosis
Cobre ppm	3-5	5-15	> 20, depende de la relación Fe: Cu	Brotos de goma, corteza muy gruesa en los cítricos, muerte de las ramas del manzano, bajo tergor en las hojas.
Zinc ppm	15	10-50	200-500	Clorosis, reducción del tamaño de hojas, y las hojas en roseta.
Boro ppm	2-15	5-50	75-300	Clorosis, frecuentemente rojizo, cortos internodos, separación de flores, tejido corchoso y el corazón de la remolacha podrido.
Molibdeno ppm	0.1-0.3	1-100	Generalmente no tóxico en las plantas	Síntomas de deficiencia de N. en legumbres, manchas amarillas en las hojas de los cítricos.
Cloruros %	0-2	0.2-1.0	0.5-2.5	Raíces cortas y gruesas, marchitamiento de las plantas, algo de clorosis en hojas recientes.

tración para algunos de los micronutrientes (Ref. II-6), descritos y se anexan tres categorías como son: deficiente, normal y en exceso, así como las descripciones de los síntomas de deficiencias.

En el Cuadro II-14 se presentan algunas tolerancias referentes a la concentración de cloruros en el extracto de saturación del suelo (Ref. II-5) y la tolerancia de ciertos cultivos al porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es la mostrada en el Cuadro II-15, en función de la variación del PSI y la respuesta del cultivo (Ref. II-5).

FACTIBILIDAD TECNICA Y ECONOMICA DEL REUSO

La disponibilidad de aguas residuales generadas en nuestro país de 45.1 m³/seg de aguas municipales al año de 1970 y 28.6 m³/seg de desechos industriales al mismo año con una predicción al año 2000 de 295 m³/seg y 190.2 m³/seg respectivamente de origen doméstico e industrial, hace atractivo el reuso no nada más de las aguas municipales sino de recirculaciones dentro de los procesos industriales. Siendo el tema tratado tan extenso como su uso, el presente trabajo está enfocado al reuso de las aguas municipales o combinadas por contener materiales en suspensión y orgánicos degradables con tratamientos adecuados y presentan factibilidad de reuso variable para su empleo en la agricultura y en la industria bajo sistemas de entrega en bloque. Las ventajas técnicas que pre-

CUADRO II-14

TOLERANCIA DE CULTIVOS A LOS CLORUROS EN EL EXTRACTO
DE SATURACION DEL SUELO

C u l t i v o	Concentración me/l
Limonero	25
Mandarina	25
Naranja agrio	15
Naranja dulce	10
Frutales de hueso	7-25
Aguate	5-8
Vid sin semilla	25
Vid rosa negra	10
Zarzamora	10
Frambuesa	5
Fresa Larsen	3
Fresa Shasta	5

CUADRO 11-15

TOLERANCIA DE CULTIVOS AL PORCENTAJE
DE SODIO INTERCAMBIABLE

Variación de PSI que Afecta el Desarrollo	PSI	Cultivo	Respuesta en el Crecimiento bajo Condiciones de Campo
Extremadamente sensibles	2-10	Frutales, decídúos nuez, cítricos y aguacate	Síntoma de toxicidad de sodio a bajo PSI
Sensibles	10-20	Frijol	Desarrollo limitado a bajo PSI
Moderadamente sensibles	20-40	Trebol, avena, arroz	Desarrollo limitado por factores de nutrición
Tolerantes	40-60	Trigo, algodón, alfalfa, cebada, jitomate	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable

senta el reuso para cada uno de los rubros son:

Reuso en la Agricultura

- . Permite abrir nuevas áreas al cultivo
- . Establece un canje de aguas, en el caso de estar actualmente bajo riego por bombeo (agua subterránea) de mejor calidad que bien puede ser destinada a otros usos como son los de abastecimiento de agua potable.
- . Las áreas de temporal en las que se utilicen aguas residuales pasarán a ser áreas de riego seguro bajo este cambio de régimen aumentando su valor catastral.
- . Otras ventajas tratadas más adelante como son aspectos sobre fertilización, productividad agrícola, etc.
- . Los beneficios económicos que se derivan del uso de las tierras con riego seguro, un mayor número de cosechas, mejoramiento en cuanto a calidad y cantidad de los cultivos, aumento del valor de propiedad, disminución en los costos de bombeo en el caso de extracción de aguas de pozos profundos, etc.

Reuso en la Industria

- . La capacidad de los sistemas de alcantarillado y colectores de aguas negras no necesitará ser aumentada pues los caudales totales a manejar no se incrementarán en forma signi-

nificativa.

- . Se liberan para otros usos en su lugar de origen las aguas de primer uso que ya no habrá necesidad de traer de fuentes externas, evitándose así no solo problemas de tipo social y político sino también perturbaciones innecesarias a los sistemas hidrológicos del país.
- . La viabilidad inmediata de las obras que son necesarias para abastecer las demandas de agua para uso industrial crearan entre los industriales una nueva conciencia de lo que vale, lo que traerá como resultado un uso más racional del agua dentro de las industrias y una mayor recirculación interna.

Los beneficios económicos que representa la reutilización de aguas es que gran número de parques o ciudades industriales se abastecen de agua de primera calidad de las redes municipales o de pozos particulares, pagando por ello en el primer caso cuotas elevadas y en el segundo el consumo de energía eléctrica para elevar el agua a niveles aprovechables. Esto redundará en un mayor precio que el obtenido por tratamiento y distribución en bloque de aguas residuales tratadas para fines industriales.

Además de las ventajas que presenta el reuso en ambas actividades, se obtienen grandes beneficios en el aspecto de control de contaminación, ya que son de tomar en cuenta las siguientes ventajas: disminuir el volumen de agua que deba tratar una población

y por consiguiente las inversiones en este aspecto serán menores; al surtir una entidad municipal de agua residual a un área de riego o bien a un núcleo e inclusive recibir beneficios económicos como pago de la entrega de agua residual, llegándose inclusive a que la población entregue el total de su caudal generado y no requiera hacer inversión alguna para el tratamiento de sus aguas residuales.

CAPITULO III
ESTUDIO PILOTO DE LA REUTILIZACION DE AGUAS
RESIDUALES EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 (Ref. III-1)

INTRODUCCION

La factibilidad de aprovechar íntegramente los recursos hidráulicos con que el país cuenta, hacen necesario el contemplar los aspectos del reuso cíclico. Dichos conceptos presentan como aplicación el aprovechamiento de los efluentes en usos agrícolas, recuperando grandes volúmenes de agua de buena calidad que puede destinarse a otros fines, evitando al mismo tiempo la contaminación de los cauces naturales, estuarios y zonas costeras que reciben las descargas con el consecuente desequilibrio de su ecología. Para ello, actualmente se están desarrollando diversos estudios. La reutilización del agua en la agricultura plantea la interrogante acerca de la bondad de aplicabilidad, pues si bien los desechos puramente domésticos incrementan la fertilidad de los suelos y mejoran su perfil laborable, es posible que al mezclarse con desechos industriales dichas aguas cambien a tal grado sus características que afecten al suelo, propiciando problemas de salinidad, toxicidad de suelos por metales pesados ó que de alguna manera representen un riesgo al consumidor de los productos cosechados en suelos que propicien el acumulamiento de sustancias

tóxicas en sus tejidos.

De igual forma, los aspectos sanitarios inherentes al reuso de aguas residuales agrícolas, las cuales presentan elevadas concentraciones de microorganismos patógenos, muchos de ellos con largos tiempos de supervivencia, merecen atención ya que los riesgos de contaminación bacteriológica de productos cosechados así como del ganado que los consume son altos, representando así un serio peligro para el hombre. Dichos aspectos se contemplaron en nuestro país y a partir del año 1973 y hasta la fecha, la Secretaría de Recursos Hidráulicos inició y continúa el estudio sobre el Reuso del Agua en la Agricultura, la Industria, los Municipios y en la Recarga de Acuíferos con un objetivo específico en lo que respecta al reuso agrícola - estudiar los posibles efectos de la aplicación de aguas de desecho y combinadas (con aguas pluviales y/o superficiales) en el riego -; para esto, se tomó el Distrito de Riego 03 y su selección se llevó a cabo por las siguientes razones:

- . Utilización de diferentes clases de agua en riego (blancas, mezcladas y negras).
- . Su extensión de aproximadamente 50 000 hectáreas presenta diferentes cultivos y texturas de suelos.
- . Características climáticas de prácticas agrícolas similares.

- . Control técnico sobre aguas, suelos y productividad de cultivos mediante un laboratorio propio.
- . Ubicación relativamente próxima al Distrito Federal para su control.
- . La variedad de forrajes regados con diferentes clases de agua utilizados para la alimentación de ganado.

DESCRIPCION DEL AREA PILOTO

El Distrito de Riego 03 (Plano III-1), se localiza en el Estado de Hidalgo y ocupa una extensión aproximada de 52 000 Ha de las cuales en 1974 se aprovecharon 49 799 Ha en desarrollo de los siguientes cultivos: alfalfa, jitomate, calabacita, maíz, cebolla, ajo, chile y forrajes diversos como avena, trébol y cebada. Su producción alcanza cifras superiores a los 385 millones de pesos anuales incrementándose paulatinamente con la apertura de nuevas secciones de riego.

Para la operación del distrito se cuenta aproximadamente con 24% de aguas blancas aportadas por los ríos Tepejí, Tlautla y Rosas, y 76% de aguas negras aportadas por el río Salado.

La superficie de terrenos agrícolas con riego seguro es de 39 512 Ha más 3 037 de la Unidad Tasquillo. Los canales principales tienen una capacidad de: Tlamaco-Juandho 15 m³, Requena 10 m³ y Endho 10 m³ y una longitud de 203 km. Los canales la-

terales presentan una longitud de 207 Km.

Los centros de población más importantes que se encuentran repartidos en la zona de riego, así como el número de habitantes con que cuenta son: Tula 38 685, Tepejí del Rfo 24, 107, Mixquiahuala 22 484, Actopan 26 270, Tlaxcoapan 10 498.

DISPONIBILIDAD DE AGUAS

La principal fuente de abastecimiento de agua para riego son las aguas residuales combinadas de la ciudad de México y área metropolitana, conducidas por el Interceptor del Poniente y el Gran Canal del Desagüe, mismos que aportan 1 051 189 miles de m³ anuales. Estas aguas son derivadas a los diversos canales para su aprovechamiento directo en riego o bien combinándolas con aguas blancas de las presas Requena y Endho a fin de obtener agua mezclada en una proporción de un 50% + 15%. Los tres tipos de agua (negras, blancas y mezcladas) son empleados en distintas secciones definidas en láminas anuales promedio de 2.11 metros. Los riegos aplicados varían inclusive en la región en cuanto a calidad de agua, según sea época de lluvia o de estiaje como se muestra en los Planos III-2. Siendo los sistemas de drenaje los aportadores del agua residual, se presenta en el Plano III-3 el sistema general y a continuación una descripción de los mismos:

Gran Canal del Desagüe

Canal de 47.5 km de longitud que se inicia al oriente de la ciudad de México, siguiendo la serranía de Guadalupe, y cambiando de dirección en el km 20.0 hacia el noroeste para atravesar el Lago de San Cristóbal y terminar en la Laguna de Zumpango la que descarga al río Salado a través de los túneles de Tequixquiac. Su capacidad está limitada a 30.0 m³/seg, por ser la máxima que acepta el puente canal localizado en el km 9.5. Su aprovechamiento en el Distrito de Riego 03 se lleva a cabo mediante las presas derivadoras Salitrón, Salitrillo y Tlamaco.

Emisor del Puente

Interceptor de 4.0 m de diámetro en sección cerrada para 25.0 m³/seg con descarga al río Hondo para su posterior incorporación al Vaso del Cristo, mismo almacenamiento que regula las avenidas del río de los Remedios y el Emisor del Puente.

El río de Los Remedios continúa por la desviación combinada para descargar al Gran Canal del Desagüe o al Lago de Texcoco.

El Emisor del Puente recibe además las aportaciones de la zona tributaria al puente de dicho emisor. Su inicio en el Vaso del Cristo es en sección cerrada hasta el túnel de Barrientos, con capacidad entre 30 y 80 m³/seg y se incrementa a 130

m³/seg en sección abierta entre los km 25+000 a 32+000, sitio en que continúa a la Laguna de Zumpango o al rfo El Salto a través del tajo de Nochistongo.

Emisor Central

Ultimo sistema actualmente en operación formado por los interceptores profundos Central y Oriente y el Emisor Central (Ref. III-1).

Los interceptores profundos desalojan los caudales generados en la Ciudad de México para unirse en Amealco e iniciar el Emisor Central, mismo que descarga al rfo El Salto por una estructura de descarga y derivación para incrementar el riego del Distrito 03.

Las características geométricas e hidráulicas de las obras son las siguientes:

Interceptor Central:	longitud	25 km
	diámetro al inicio	4.00 m
	diámetro al final	4.00 m
	capacidad máxima	90 m ³ /seg
Interceptor Oriente:	longitud	27 km
	diámetro al inicio	4.00 m
	diámetro final	5.00 m
	capacidad máxima	110 m ³ /seg

Emisor Central:	longitud	50 km
	diámetro	6.5 m
	capacidad máxima	200 m ³ /seg
Estructura de descarga y derivación	capacidad de descarga al rfo El Salto	200 m ³ /seg
	gasto de derivación a riego	60 m ³ /seg

CALIDADES DE AGUAS DE RIEGO

Considerando los tres tipos de aguas, se seleccionaron los sitios de muestreo incluidos en el Cuadro III-1 referidos al Plano III-4 con objeto de tener bajo control la totalidad de las clases de agua utilizadas en el riego de las distintas zonas del distrito y aprovechar de ésta forma los antecedentes sobre la calidad del agua en años anteriores.

La calidad de las aguas negras y blancas no presenta variaciones de consideración, por lo que se concedió mayor importancia al estudio de las aguas mezcladas, ya que su calidad es función de la proporción de mezcla y ésta varía con la época del año por la disponibilidad de aguas blancas y algunas veces por las necesidades de riego en las distintas zonas del distrito.

Los muestreos correspondientes a las aguas de riego del distrito, se han llevado a cabo desde el año 1968 a 1973 con

CUADRO III-1

SITIOS DE MUESTREOS DE AGUAS EN EL DISTRITO 03

Sitio No.	D e s c r i p c i ó n	Clase de Agua
1	Túnel de Tequimulac K 0+000	Negra
2	Puente Amalia K 3+564	Negra
3	Canal Principal Requena (CNI)K 18+588	Blanca
4	Canal Principal Derriho K 7+046	Mezclada
5	Canal Principal Requena K 21+627	Mezclada
6	Canal Tepetitlán (Cancelado)	Blanca
7	Canal de Cadenas K 3+397	Mezclada
8	Canal Principal Endho K 18+564	Blanca
9	Canal Principal Requena (El Mexe) K 55+150	Mezclada
10	Canal Principal Requena (San Antonio) K 65+672	Mezclada
11	Canal Sublateral Requena K 2+284	Mezclada
12	Canal Principal Requena (Borcha) K 69+623	Mezclada
13	Canal Principal Requena (Daxtha) K 72+043	Mezclada
14	Canal Principal Requena (Lagunillas) K 85+249	Blanca y Mezclada
15	Canal Principal Endho (San Miguel) K 44+876	Blanca y Mezclada

periodicidad mensual, los meses de diciembre de 1973 y enero de 1974 con frecuencia quincenal y de julio a diciembre del año 1975, en forma mensual. Esta periodicidad, adolece de que las calidades de agua obtenidas no corresponden necesariamente a las fechas de riego de las parcelas escogidas para estudiar sus suelos y cultivos; sin embargo, es una manera de conocer sus características promedio a lo largo del año. En el Cuadro III-2; se presentan los promedios de las características resultantes.

CARACTERIZACION DE SUELOS

El Distrito de Riego 03 cubre una extensión de aproximadamente 41 500 Ha, divididas para su control y manejo en cuatro zonas principales y subdivididas a su vez en secciones de productividad que suman un total de cincuenta y seis. Las autoridades del distrito, para el estudio sistemático de suelos, han fijado una serie de pozos de observación localizados en los vértices de una cuadrícula de 1 000 m de algunas zonas específicas que presentan problemas de drenaje, disponiéndose de información sobre las características físicoquímicas de los suelos. La forma o metodología de caracterizar el suelo de una zona presenta condiciones particulares, como son el tipo de agua de riego, las características físicas y químicas del suelo y los cultivos cosechados en cada uno de los sitios. Debido a que existen en la zona

CUA

PROMEDIOS DE CONCENTRACION DE CA DEL AGUA DE RIEGO OBTENI

P a r a m e t r o s	Concentraciones Promedio por								
	A g u a s N e g r a s			A g u a s		B l a n c a s			
	1	2	3	1**	2**	3**	4**	5**	
C.E.C	179	1660	176	411,6	943,3	1032,5	490	721,35	1104
S.T.	1,2	1552,6	2,36	1,27	180	1237,5	3,1	276,3	1,46
S.S.T.	1,2	116	8,27	93,33	30	90	54	66,33	24
S.D.T.	1,2	7,2	17,2	1,24	306	976	140	63,33	1,2
Coliformos Fecales (MMP/100 ml)	1,2	1,2	1,2	10	3	3	$2,3 \times 10^4$	$1,9 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$
D.B.O.	17	7,2	171	1,2	16,67	110,5	30,75	17,57	75,3
L.Q.O.	1,2	1,2	1,2	75,36	140	201,73	160	133,53	302
ARS	3	1,2	1,2	1,27	3,73	1,75	3,33	1,2	6,33
Nitro	1,2	1,2	1,27	1,19	4,50	4,03	0,1	7,67	2,69
Nitro am.	0,13	1,2	1,2	1,6	2,5	3,71	3,1	3,73	0,77
Nitro am.	0,1	0,17	0,17	0,1	0,09	1,12	0,1	0,1	0,1
F.F.O.	1,2	1,2	1,2	16,6	6,15	6,33	0,1	1,2	30,66
F.F.O. Orto.	0,1	1,2	1,2	3,33	4,35	4,79	7,1	1,2	9,27
Cl ⁻	150,4	1,2	1,2	7,3	146,33	137,6	5	1,2	106,3
SO ₄ ⁻²	106,3	1,2	1,2	1,35	37,33	103,3	4,2	30,17	106,3
Dureza total	4,250	0,1	1,2	1,2	216	312,90	101,0	1,2	31,2
Alcalinidad Total	150,4	0,1	1,2	1,250	319	437,35	175,0	1,271	419,4
pH	7,67	7,23	7,71	8,76	7,5	7,63	7,50	7,73	7,7
Pb	0,171	0,17	0,17	0,047	0,006	0,113	0,076	0,047	0,03
Hg	0,0016	0,001	0,001	0,002	0,0013	0,0003	0,0001	0,0007	0,0007
Cd	0,001	0,001	0,001	0,0123	0,0130	1,2	0,006	0,101	0,01
Zn	0,674	0,016	0,016	0,1	0,03	0,040	0,00	0,033	0,04
Cu	0,114	0,150	0,15	1,2	0,030	0,030	0,030	0,15	0,133
Ni	0,0975	0,1075	0,105	0,075	0,10	0,030	0,000	0,0710	0,107
Fe	2,943	1,55	4,71	1,2	0,17	1,55	0,1	0,775	1,01
Mn	0,1740	0,17	0,175	0,16	0,040	0,01	0,00	0,019	0,180
Cr	0,156	0,156	0,145	0,17	0,04	1,2	0,01	0,075	0,16
K	51,42	51,2	51,35	13,33	14,0	6,2	10,5	11,17	41,33
Na	30,0	1,2	1,5	4,2	26,0	23,1	4,5	45,55	3,1
B	1,45	1,17	1,31	0,604	0,15	0,173	0,10	0,17	0,157

NOTAS

* Concentraciones expresadas en mg/l excepto el pH.

** Se usó como estándar en agua y en agua de lluvia.

CUADRO III-2

PROMEDIOS DE CONCENTRACION DE CARACTERISTICAS POR SITIO DE MUESTREO DEL AGUA DE RIEGO OBTENIDOS DURANTE EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03

Concentraciones Promedio por Sitio de Muestreo (p.p.m.)

Veredas	Procedimiento	Aguas Blancas					Aguas Negras					Mezcla de Aguas		
		3	3**	14**	15**	16**	4	5	7**	8**	9	10	11	12
0	17.6	421.6	943.3	1033.3	490.0	711.0	10.0	16.0	1.0	91.3	13.0	17.4	1.7	1.0
8,6	1804.0	594.7	0.0	1207.5	3.0	7.0	1.0	1.0	1.0	188.3	3.8	173.0	1.0	1.0
	301.67	93.33	30	90	34	6.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	1373.7	192.4	406	976	240	61.33	7.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	230.10	100	3	3	7.3 x 10 ⁻⁴	1.9 x 10 ⁻⁴	1.8 x 10 ⁻⁴	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	171.6	4.51	16.67	110.1	30.7	4.37	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0	435	75.40	143	291.73	39	13.67	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.19	1.77	2.73	1.75	3.30	1.0	6.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	16.13	0.19	4.30	4.04	0.1	1.0	7.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	6.80	1.69	2.5	3.71	3.4	3.73	0.77	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
8	0.17	0.30	0.09	1.32	0.1	0.41	0.70	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
7	26.3	10.6	6.15	6.99	0.0	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	0.7	3.51	4.35	4.39	3.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	154.3	27.30	146.33	137.6	2.0	1.0	7.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	1.10	81.86	37.35	102.3	41	39.17	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	171.3	143	216	312.93	101.0	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	1.0	11.70	319	437.35	175.0	1.0	41.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1	7.71	5.76	7.5	7.63	7.30	3.73	7.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
116	0.1611	0.0437	0.006	0.113	0.0.0	0.0.0	0.1	0.0.0	0.1.0	1.0.0	0.301	0.1.0	0.1.0	0.1.0
1	0.16.0	0.0007	0.0013	0.0009	0.06.1	0.000	1.0.1	1.0.0	1.0.0	1.0.0	1.0	0.0.	0.0.0	0.0.0
11	0.1.0	0.0112	0.0110	1.0	0.0.0	0.101	0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0
16	0.340	0.0.0	0.0.0	0.040	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.5.0	0.5.0	0.7.0	0.7.0	0.4	1.0	0.455
40	0.196	0.051	0.030	0.030	0.0.0	0.0.0	0.1	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1	1.0	0.1.0
175	0.10.5	0.05.5	0.15	0.030	0.0.0	0.0.0	0.1	1.0.0	1.0.0	0.1.0	1.0	0.1	1.0	0.1.0
54	2.781	0.773	0.37	1.55	0.4.0	0.77	0.0.0	0.8.4	1.4.0	1.7.0	0.7.0	1.0.4	1.0.0	0.7.0
0	0.1770	0.0.0	0.040	0.0.1	0.0.0	0.0.0	0.1.0	0.0.0	0.1.0	0.1.0	1.0.4	0.1.0	0.1.0	0.1.0
140	0.145	0.0.0	0.04	1.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.0.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0
13	51.55	13.91	14.0	6.7	10.5	11.17	0.1.0	0.1.0	0.1.0	0.1.0	51.72	51.30	5.0.0	0.1.0
	36.5	41.5	26.0	33.1	4.5	33.7	1.0	1.0	1.0	1.0	21.0	1.0.0	1.0.0	1.0.0
7	1.31	0.604	0.15	0.123	0.10	0.1.0	0.0.0	1.1.7	1.0	1.0	1.392	1.5.7	1.7.0	1.1.0

0.0 excepto en las abreviaturas.
 no figura en Blancas.

CUADRO III-2

ION DE CARACTERISTICAS POR SITIO DE MUESTREO
NO OBTENIDOS DURANTE EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03

a Promedio por sitio de Muestreo (mg/l)												
Sitio	Agosto				Meses de la Dada							Promedio
	4	5	6	8**	1	2	3	4	5	6	7	
1,35	1403	369	234	915.3	2573	179	1	1	27	1110	150	1499.6
1,7	1780.7	1172.7	1	1	185.23	1	1	1	1	1	1	1411
3	35	106.87	1	50	5	17	1	8	1	1	50	114.5
5,10	108.2	1142.1	1072	1	131.24	1	1	117	1	1	1	1300.8
104	1,965.0	2,755.1	1,877	1	1333.1	1077	1	1	1	1	1,330.7	6,053.10 ³
57	78.3	65.0	115	160	1	1	1	1	1	1	1	184
1,53	202	312.7	110.4	1	502.60	806.5	41	10.3	1	1	1	110
1	6.51	7.14	5.7	1	1	1	1	1	1	1.7	9.1	6.03
17	7.69	5.17	5.2	1.8	9.10	5.8	1	11	9.5	4.5	5.33	7.7
735	0.77	1	0.7	1	0.14	0.85	8.3	6.72	1	3.72	4.30	6.60
13	0.29	0.17	0.14	0.1	0.15	1.7	1.7	1	1	0.4	0.4	0.93
1	30.96	11.2	143	117	9.16	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	10.27	13.41
25	6.27	7.1	7.14	6.7	5	5.1	5.40	6.7	6.1	6	6	5.60
1,11	160	171.40	1	101	11.5	1	1	1	1	1	1	171.4
1,17	106.8	115.6	111.8	111	114.32	110.67	141.3	135.0	114.1	111	111	155
1,4	31.17	17.7	1	10	11.5	266	1	1	1	1	1	26.77
1,71	413.4	385	111.8	10	111.4	57.1	50	111.5	1	1	1	10
72	7.7	7.60	7.6	7.5	7.64	7.65	7.6	7.67	1	7.6	7.67	7.7
107	0.033	0.1033	0.1033	0.077	0.201	0.114	0.115	0.115	1	0.110	0.105	0.101
107	0.0016	0.0016	0.0016	0.0016	1.00	0.00	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0017
101	0.012	0.0303	0.0340	0.040	0.043	0.047	1.1	1.1	1.1	0.05	0.05	0.0390
1265	0.404	0.541	0.545	0.70	0.753	0.4	1.17	0.435	1.2	1.10	0.77	0.561
245	0.117	0.15	0.156	0.190	0.116	0.1	1	0.1	1	1	1	0.171
2719	0.1075	0.1075	0.1075	0.10	0.1	0.1	1.15	0.116	1	0.1	0.1	0.143
795	1.041	2.904	1.443	1.200	1.156	1.661	1.007	0.180	1.1	1.1	1.1	2.63
349	0.180	0.2940	0.156	0.16	1.14	0.15	1.1	1	0.17	1.1	0.1	0.29
1073	0.103	0.1030	0.103	0.1	0.103	0.103	0.110	0.107	0.103	0.1	0.10	0.109
17	41.33	30.80	47.26	41.7	51.71	51.30	51.30	45.10	41.5	39	44.74	
235	6.1	9.10	11.1	219.5	111.0	321.62	94.5	74.1	45.5	171.0	16	170.95
794	0.107	1.175	1.175	1.00	1.592	1.517	1.700	1	1.7	0.1	1.1	1.119

distintos manejos, se presenta a continuación la clase del agua de riego, además de aplicar diferentes láminas (17 cm suelos delgados y 25 cm suelos profundos):

Irrigación con agua blanca todo el año

Irrigación con agua negra todo el año

Irrigación con agua mezclada todo el año

Irrigación con agua blanca en estfo y

agua mezclada en época de lluvias

Se han seleccionado los sitios incluidos en el Cuadro III-3, mismos que se presentan en el Plano III-4.

En el muestreo de los sitios enlistados no se repitió la toma de muestra en un solo punto, sino que se procuró que estos estuvieran ubicados a lo largo de toda la sección, con el fin de tener una visión general de las condiciones promedio de los suelos de la misma.

Las muestras se obtuvieron con periodicidad mensual en sitios alejados 1 000 m aproximadamente dentro de una misma sección, procurando no alterar las condiciones naturales del perfil de los suelos, utilizándose para ello barrenas convencionales de acero. En el Cuadro III-4, se presentan los promedios de las caracterizaciones realizadas.

CUADRO III-3

SITIOS DE MUESTREO DE SUELOS EN EL DISTRITO 03

Sitio No.	Sección No.	Tipo de Agua de Riego	Del Sitio No.	Lámina de Riego cm.
1	8	Mezclada	12	25
2	9	Mezclada	11	25
3	12	Mezclada	10	25
4	7	Mezclada	13	25
5	4	Blanca en estfo y Mezclada en lluvias	15	25
6	3	Blanca en estfo y Mezclada en lluvias	14	25
7	39	Negra	2	17
8	36	Negra	2	17
9	38	Negra	2	17
10	52	Blanca	3	17
11	35	Mezclada	7	17
12	17	Mezclada	9	17
13	41	Mezclada	4	17

Parámetro	Sitio 1			Sitio 2			Sitio 3			
	(0-20)	(0-60)	(60-200)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	
Estrato cm.	0-20	0-60	60-200	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	90-200
C.E. Miliésimos	0,75	0,52	0,48	1,5	0,54	0,58	1,0	2	1,5	0,5
pH	5	8,05	7,53	8	7,93	7	5,5	7,7	7,5	7,0
Z.M. (mg O ₂ /l)	1,55	0,90	0,73	2,14	1,03	0,5	2,05	2,35		1,75
N ⁻ NO ₃ (kg/ha)	0	0	0	5	2,5	10	6	0	5	0,75
N ⁻ NH ₄ (0-100)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fósforo (0-50)	93,75	91,67	90	100	75	90	112,5	7	7	0,5
Potasio (0-10)	375	90,67	300	400	400	400	400	400	300	400
Calcio (kg/ha)	400	400	400	400	400	300	400	400	300	400
Magnésio (0-10)	16	5,67	0	17	10	0	11,5	7,5	5	16
Sodio (0-10)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (0-10)	4,0	5,7	3,0	0	4,5	5	4,8	7,5	7,8	3,94
Na ⁺ (0-10)	2,80	0,7	5	4	3	3	5,05	3,0	4,5	5,50
K ⁺ (0-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₃ ²⁻ (0-10)	0,5	1,7	0	0,67	0,5	0	0,50	0,75	0	0,50
HCO ₃ ⁻ (0-10)	7	7,13	6,7	7,33	6	7	7,13	6,67	5,0	6
SO ₄ ²⁻ (0-10)	7	7	2,25	1,67	0,5	0				2,5
Cl ⁻ (0-10)	0,35	0	0	1	0,5	0	0,75	0,33	0,0	0,60
Pb (mg/kg)	2,350	1,70	3,14	1,400	1,350	1,350	1,57	0,755	0,745	1,15
Hg (mg/kg)	0,017	0,0	0,007	0,007	0,009	0,0117	0,0130	0,0092	0,0180	0,01
Cd (mg/kg)	0,09	0,0	0,05	0,00	0,275	0,315	0,410	0,10	0,50	0,07
Zn (mg/kg)	47,58	5,07	2,60	15,37	2,300	1,500	6,18	3,890	2,86	7,300
Cu (mg/kg)	1,54	0,127	0,150	0,127	0,88	0,140	0,14	0,300	0,33	0,157
Ni (mg/kg)	2,00	0,540	1,55	1,17	0,560	1,17	1,140	1,00	1,50	1,000
Fe (mg/kg)	61,24	1,575	1,300	5,375	5,566	5,500	3,70	4,90	2,40	2,200
Mn (mg/kg)	40,14	5,35	9,80	9,80	4,43	13,71	8,0	5,10	9,10	7,500
Cr (mg/kg)	1,600	0,350	0,350	0,38	0,133	0,133	0,390	0,06	0	0,300
Cu (mg/kg)	80	1985	400	807	560	917	817	298	1,3	4714
K (mg/kg)	675,4	562,2	557,5	513,7	430	430	369	391	174	55
Na (mg/kg)	784	815	675	690,0	701,5	430	4	90	754	675
B (mg/kg)	0,746	0,556	0,604	0,590	0,400	0,400	0,17	0,180	0,38	0,100

CUADRO III-4 (Hoja 1 de 3)

PROMEDIOS DE CONCENTRACIONES Y CARACTERÍSTICAS EN LOS SUELOS POR SECCION DE PRODUCTIVIDAD Y CLASE DE AGUA DE RIEGO OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03

AGUAS MEZCLADAS														
Sitio 2			Sitio 3			Sitio 4			Sitio 11			Sitio 12		
(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	
1.3	0.54	0.98	1.6	0.97	1.49	0.66	0.78	1.08	0.77	0.73	0.65	1.07	1.0	
4	7.93	5	2.77	3.07	3.1	3.1	2.9	2.3	2.5	2.6	3.05	3.07	2.90	
2.14	1.03	0.55	1.97	1.3	1.1	1.7	1.8	0.7	1.7	1.7	1.7	1.95	1.10	
5	2.5	10	6.77	0	0	3.7	11.8	0	3	0	0	5	2.5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	75	50	112.5	7	0	11.8	33.5	7	53.5	50	0	112.5	66.67	
400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	
15	10	0	11.3	7.5	5	19.7	10	0	11.67	10	0	15	5	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	4.5	5	4.85	2.3	2.4	1.94	4.25	2.33	1.7	1.5	0	3.91	4.63	
4	3	3	3.35	3.0	4.1	3.50	3.0	0	3.1	1.5	0	2.90	5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.67	0.5	0	0.50	0.3	0	0.90	1.5	0.5	1.0	0.5	0	0.80	0.7	
2.34	6	7	2.13	0.67	3.0	4.0	1.3	5.5	4.75	0	0	5.90	4.63	
1.67	0.5	0	0.73	0.33	0.40	0.60	0	0	0.75	0	0	2.30	2.63	
1	0.5	0	0.73	0.33	0.40	0.60	0	0	0.75	0	0	3.30	0.73	
1.900	1.350	1.350	1.5	0.755	0.735	1.8	1.97	1.900	2.12	0.78	0.40	1.350	1.700	
0.036	0.069	0.1017	0.0730	0.069	0.0130	0.01	0.013	0.0107	0.01	0.11	0.30	0.0035	0.0026	
0.600	0.275	0.315	0.420	0.130	0.190	0.77	0.32	0.305	0.7	0.30	0	0.460	0.300	
15.37	2.200	1.800	6.106	3.890	3.860	2.808	2.330	3.300	3.000	3.300	11.40	2.900	1.035	
0.517	0.390	0.350	0.34	0.400	0.3	0.15	0.75	0.300	0.32	0.300	0.200	0.334	0.350	
1.375	0.800	1.490	1.180	1.300	1.500	1.030	2.075	0.930	2.000	1.950	0.40	1.500	0.675	
5.375	5.566	5.800	3.700	4.930	6.100	2.900	3.300	1.700	1.71	1.600	1.000	1.330	1.660	
9.90	1.43	13.75	54.0	3.160	9.260	25.000	2.266	4.400	2.550	5.300	5.800	13.44	16.00	
0.350	0.313	0.350	0.300	0.300	0.3	0.300	0.300	0.3	0.33	0.300	0.300	0.300	0.375	
5047	5050	3135	5173	292	1.30	4734	420	230	205	300	1910	3944	3435	
513.7	450	440	369	530	471	55	530	40	477	314	60	519	519	
690.0	703.3	480	40	250	2.1	670	230	480	600	50	1650	396	1101	
0.830	0.400	0.380	0.17	0.380	0.30	0.10	0.100	0.10	0.10	0.10	0.10	1.072	1.130	

1 de 3)

CELLOS POR SECCION DE PRODUCTIVIDAD

EL ESTUDIO PILOTO DEL DA-03

S110 - 11			S110 - 12			S110 - 13			Promedio		
(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)	(0-30)	(30-60)	(60-90)
0,75	0,4	0,65	1,07	1,0	-	0,90	0,77	0,77	0,87	0,76	0,97
2,9	2,0	2,15	4,07	7,90	-	5,14	8,0	2,5	7,0	7,96	7,97
3,75	1,75	-	1,95	1,10	-	2,40	0,0	-	2,6	1,16	0,9
5	0	-	5	2,5	-	-	0	-	4,32	0,57	2,6
0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0
53,8	50	-	112,3	60,67	-	87,5	100	-	96,7	77,4	62,5
40	40	40	400	400	-	400	400	-	400	400	400
400	400	400	4000	4000	-	4000	4000	4000	4000	4000	4000
11,67	10	-	15	5	-	11,25	0	-	13,9	8,2	2,5
5	5	-	5	5	-	5	5	-	5	5	5
5,75	4,5	-	5,91	4,63	-	5,8	3,5	4	5,27	4,07	3,44
5,10	1,5	-	2,90	5	-	1	2	3	2,92	1,25	1,36
0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0
1	0,5	0	0,30	0,5	-	0,5	0	0	0,74	0,17	0,08
4,75	7,5	7	5,90	4,61	-	5,70	6,7	6,77	5,90	5,91	5,73
1,5	0	0	2,30	2,61	-	0,7	0,32	0	1,74	1,61	1,76
1,75	0	0	1,20	0,75	-	0	0	0	1,36	0,23	0,08
2,15	0,78	0,40	1,230	1,700	-	2,0,5	0,400	0,400	1,904	1,312	1,350
0,2	0,13	0,10	0,0035	0,0026	-	0,049	0,16	0,10	0,0	0,542	0,1059
0,1	0,15	-	0,466	0,400	-	0,377	0,400	-	0,408	0,299	0,236
3,100	1,300	11,40	2,900	1,025	-	5,700	3,000	15,5	12,47	7,330	5,924
0,400	0,400	0,300	0,331	0,350	-	0,400	0,400	0,500	0,353	0,325	0,300
2,000	1,900	0,400	1,600	0,675	-	2,180	1,900	1,400	1,635	1,515	1,285
1,733	1,000	1,000	1,380	1,600	-	1,700	1,5	1,700	10,90	3,100	3,613
7,550	5,300	8,500	18,44	16,00	-	30,71	19,17	12,10	27,07	20,23	10,199
0,400	0,300	0,300	0,750	0,375	-	0,400	0,400	0,300	0,427	0,393	0,311
1905	3300	1910	3943	3435	-	4134	2919	3380	4577	3921	3286
4,5,7	13,1	6,0	5,19	5,19	-	117	1,8	5,0	5,7	497	514
500	500	1630	396	1101	-	135	165	370	704	759	783
0,75	-	-	1,072	1,140	-	0,00	-	-	0,513	0,675	0,407

CUADRO III-4 (Hoja 2 de 3)
PROMEDIOS DE CONCENTRACIONES DE CARACTERISTICAS EN LOS SUELOS
POR SECCIONES DE PRODUCTIVIDAD Y CLASE DE AGUA DE RIEGO
OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03

Fertilizante	A G U A M B O R A											
	Sitio 7			Sitio 8			Sitio 9			Promedios		
	0-20	20-40	00-60	0-20	20-40	00-60	0-20	20-40	00-60	0-20	20-40	00-60
Exceso am:												
C. E. mhos/cm	0.05	0.75	0.05	0.05	0.05	1.04	0.79	0.72	0.27	0.09	0.09	0.09
pH	7.49	6.89	6.20	6.20	6.20	7.00	6.20	6.20	6.40	6.11	6.20	6.20
S. Inorg. Orgánica	3.40	1.00	1.20	3.20	3.20	3.00	3.20	3.20	0	3.00	3.11	1.20
N ⁺ NO ₃ (kg/ha)	0.23	7.5	0	7.5	0	0	7.5	0	0	7.5	7.5	1.40
N ⁺ NH ₄ (kg/ha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fósforo (kg/ha)	07.20	200	07.20	04.07	000	00	000	00.20	70	10.00	07.20	10.00
Potasio (kg/ha)	270	000	203.3	200	000	000	204.07	070	000	200.20	203.3	200.20
Calcio (kg/ha)	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
Magnesio (kg/ha)	12.70	20	20	11.67	20	0	20	2.3	20	11.00	1.70	11.0
Meq ⁺ (meq/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C ⁺ (meq/l)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cl ⁻ (meq/l)	1.5	1.5	1	1	0	0	1.20	1	0	1.20	1.00	0.20
NO ₃ ⁻ (meq/l)	6	6.20	6.20	7.20	7.20	7.20	6.00	6.20	0	6.20	6.70	7.20
SO ₄ ⁻ (meq/l)	2.67	1.5	1.5	0	0	0	2.70	0	0	2.16	0.1	1.5
CO ₃ ⁻ (meq/l)	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1.00	0.20	0.20
PO ₄ ⁻ (meq/l)	1.90	1.07	0.90	0.90	0.00	0	0.90	0.00	3.3	3.00	3.00	1.000
Ng (mg/kg)	0.05	0.07	0.05	0.015	0.025	0.025	0.140	0.0007	0.0204	0.0200	0.000	0.000
Ca (mg/kg)	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	6.00	6.20	6.200	6.200
Zn (mg/kg)	3.16	3.20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.700	3.00	0.000	3.000	3.000	1.000
Cu (mg/kg)	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.700	0.000	0.700
Mn (mg/kg)	10.01	1.200	1.700	1.200	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	4.000	1.000	1.000
Pb (mg/kg)	4.10	1.000	2.000	2.000	1.000	1.000	10.00	10.00	1.000	0.400	1.200	2.000
Mg (mg/kg)	61.00	6.170	1.200	27.00	2.000	0.000	14.17	3.20	1.000	34.00	3.20	3.000
Cr (mg/kg)	0.24	0.220	0.220	0.220	0.000	0.000	1.120	0.200	0.000	0.000	0.241	0.070
Cd (mg/kg)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2727	2000	2000	2000	2000	2000
K (mg/kg)	497.4	293	204	070	070	070	217	200	070	497.4	070	497.4
Na (mg/kg)	11	1100	2002	000	040	200	720	200.0	1200	000.2	000.2	000
B (mg/kg)	0.47	0.20	0.24	0.04	.	.	0.200	0.200	0.20	0.200	0.400	0.200

CUADRO III - 4 (Hoja 3 de 3)
PROMEDIOS DE CONCENTRACIONES DE CARACTERISTICAS EN LOS SUELOS
POR SECCIONES DE PRODUCTIVIDAD Y CLASE DE AGUA DE RIEGO
OBTENIDOS EN EL ESTUDIO PILOTO DEL DR-03

Parámetro	AGUAS BLANCAS EN ESTO Y AGUAS MEDICADAS EN LUMPAI													
	Sitio 10						Sitio 8						Promedio	
	00-00	00-05	00-10	00-15	00-20	00-25	00-30	00-35	00-40	00-45	00-50	00-55	00-60	00-65
C. C. (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C. Cl. (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pH	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
Sulfato Orgánico	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N ^o NO ₃ (g/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N ^o NH ₄ (g/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Calcio (g/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Magnésio (g/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Temperatura (°C)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Humedad (%)	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
...

CARACTERIZACION DE CULTIVOS Y RENDIMIENTOS

En las mismas secciones de muestreo de suelos, se han llevado a cabo muestreos de los cultivos sembrados en las fechas correspondientes, como son alfalfa, calabaza y jitomate, a fin de analizar los contenidos de metales pesados y coliformes totales y fecales. En los Cuadros III-5 y III-6, se presentan los resultados respectivamente.

Los rendimientos agrícolas son de importancia para evaluar la influencia del tipo de agua de riego mediante análisis estadísticos, y por tal motivo se presentan además los parámetros estadísticos: media (\bar{x}) varianza (s^2) y desviación estándar (s) para N observaciones en el Cuadro III-7, para los últimos tres ciclos agrícolas dependiendo de la sección y cultivo: Alfalfa, cebada, frijol, maíz y trigo.

ESTUDIOS ESPECIFICOS REALIZADOS

El estudio sobre reutilización del agua en la agricultura se ha llevado a cabo a la fecha en dos etapas; fijándose previamente los objetivos por cubrir, tales como:

Objetivos por Etapas

Primera Etapa:

1. - Muestreos y análisis de las aguas del Gran Canal del Desagüe, Interceptor del Poniente y las almacenadas en las presas Re-

CUADRO III-5 (Hoja 1 de 2)

**METALES PESADOS POR CULTIVO, SITIO Y CLASE
DE AGUA DE RIEGO**

Parámetro	AGUAS NEGRAS				AGUAS BLANCAS		AGUAS BLANCAS EN ESTIO Y AGUAS MEZCLADAS EN LLUVIA					
	Sitio 7	Sitio 8	Sitio 9	Prom.	Sitio 10	10 calabaza	Sitio 5		Sitio 6		Promedio	
	alfalfa	alfalfa	alfalfa		alfalfa		alfalfa	jitomate	alfalfa	jitomate	alfalfa	jitomate
Pb (ppm)	18	14	25	19	13				30		30	
Hg (ppm)	0.07	0.07	0.03	0.06	0.32	0.02	0.05	0.13	0.27	0.2	0.16	0.17
Cd (ppm)	1.5	1.35	1.75	1.53	1.5	1.5			2.10		2.10	
Zn (ppm)	36	31.25	22.5	29.92	28	26.5	109.5	22.75	404.25	21.5	256.8	22
Cu (ppm)	14.75	6.25	18.75	13.25	10.75	5.0	4.5	6.75	13	7.5	8.75	5.9
Ni (ppm)	8.75	3.25	3.0	5.0	5.0	2.0	12.5	9.75	4.0	4.5	8.25	7.13
Fe (ppm)	282.5	289	192.5	254.67	176.25	75	193	70.25	146.5	30	169.75	50.13
Mn (ppm)	48.5	48.5	38.5	45.17	27.25	12.5	35	7.25	34.75	6.5	34.8	6.8
Cr (ppm)	2.75	2.0	2.5	2.42	2.25	2.0	2.5	1.75	3.25	1.0	2.88	1.38
Ca (ppm)	10350	48200	10425	22920	6850	2445	8100	695	12950	465	10525	580
K (ppm)	30250	30875	22042	27722	25900	24735	16000	25250	18300	10500	17150	17875
Na (ppm)	1950	7630	2702.5	4101	2625	1225	1250	825	2260	600	1755	713
B (ppm)								9.0		12		7.9

III-111

CUADRO III-5 (Hoja 2 de 2)

METALES PESADOS POR CULTIVO, SITIO Y CLASE

DE AGUA DE RIEGO

AGUAS MEZCLADAS

Parámetro	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3		Sitio 4	Sitio 11	Sitio 12	Sitio 13	Promedio	
	alfalfa	jitomate	alfalfa	jitomate	alfalfa	jitomate	alfalfa	alfalfa	alfalfa	alfalfa	alfalfa	jitomate
Pb (ppm)	38				23		30	12			25.75	
Hg (ppm)	0.12	0.6	0.02	0.2	0.16	0.05		0.08	0.10	0.225	0.15	
Cd (ppm)	3.0		1.2		3.0		3.0	1.35	1.2	1.5	2.04	
Zn (ppm)	70.50	13	28.5	27.5	45.5	28	104.33	30.50	14.17	20	44.86	22.83
Cu (ppm)	21	3.0	11.0	8.0	9.0	4.0	10	5.83	5.5	4.0	9.5	5.0
Ni (ppm)	10.25	9.5		8.0	12.25	8.0	10.5	7.0	12.25	2.0	9.04	8.5
Fe (ppm)	275.5	121.5	226	66.5	184.5	365	534	203.5	60	370	265	184
Mn (ppm)	37.5	5.5	17	10	38.17	51.5	28	37.67	21.67	29.5	29.9	22.3
Cr (ppm)	5.5	1.0	8.0	2.0	2.83	2.5	3.67	1.83	2.5	2.0	3.76	1.83
Ca (ppm)	12875	1300	6150	585	6166	8950	10933	37950	4682	6350	12158	3612
K (ppm)	27000	18750	12700	19500	9466.6	14000	19000	26233	19133	10985	17788	17417
Na (ppm)	3750	800	1720	900	2478	500	1583	4983.3	1790	2250	2651	733
B (ppm)	8.4			19	29		36		25		24.6	19

111-18

CUADRO III-6

CONCENTRACIONES PROMEDIO DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES
EN CULTIVOS (NMP/100 ml), MAYO 1975

Tipo de Agua de Riego	Tipo de Cultivo	Totales		Fecales	
		Con Lavado Superficial	Sin Lavado	Con Lavado Superficial	Sin Lavado
Blanca	Jitomate Alfalfa	60	231	3	3
		3	82	3	3
Mezcladas	Jitomate Alfalfa	37	10	3	3
		67	3	15	3
Negra	Alfalfa Calabaza	395	5	5	3
		1753	159	5	3

61-111

NOTA.- NMP/100 ml corresponde al licuado de 10 gr. de alfalfa, 1 pieza de tomate (80 a 100 gr) o calabaza (100 a 125 gr) utilizando 100 ml de agua esteril.

CUADRO III-7 (Hoja 1 de 3)

RENDIMIENTOS AGRICOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 OBTENIDOS

CON RIEGO DE AGUAS NEGRAS

Sección N°	Ciclo 70 - 71					Ciclo 71 - 72						Ciclo 73					
	Alfalfa	Cebada	Frijol	Maíz	Trigo	Alfalfa	Avena	Cebada	Frijol	Jucomate	Maíz	Trigo	Alfalfa	Avena	Cebada	Jucomate	Maíz
29	104.138	--	--	--	--	107.236	--	--	1.40	--	2.50	--	79.927	18.847	2.137	18.315	2.847
36	74.385	--	--	--	2	87.514	--	--	--	--	3.00	--	81.828	12.0	0.70	5.0	3.078
37	84.313	1.0	1.80	--	2	108.444	16.0	--	2.0	--	3.40	1.50	79.936	18.901	2.115	--	4.120
38	117.924	3.0	0.50	3.30	2.60	91.808	20.750	4.0	9.0	--	4.0	3.250	85.031	19.84c	2.179	15.0	4.906
39	80.351	--	--	--	3.0	72.780	12.20	2.90	--	--	3.10	2.650	89.593	21.01c	2.403	--	4.250
40	86.688	2.0	--	--	2.0	83.942	22.0	2.80	--	--	3.50	3.50	82.287	24.250	3.0	6.0	3.397
42	88.787	--	--	--	1.50	84.588	6.0	--	--	--	2.90	2.0	79.982	16.857	2.195	--	3.308
43	97.214	--	--	2.0	1.80	79.089	--	--	--	--	3.30	5.0	74.793	11.810	0.856	--	1.90
49	84.736	--	--	--	3.0	88.028	10.70	--	--	--	3.20	2.50	109.814	26.0	2.950	--	4.986
K	90.99	2	0.75	2.65	1.99	88.045	14.608	3	4.133	--	3.211	2.914	84.80	19.06	2.059	11.1	3.64
S ₂	157.8	.67	0.25	0.42	0.08	98.663	31.579	0.5	11.902	--	0.157	1.126	92.74	20.23	0.57	32.62	0.906
S	12.32	1	0.707	0.92	0.304	10.335	6.156	0.866	4.225	--	0.420	1.146	10.21	4.77	0.80	6.59	1.01
N	9	3	2	2	8	9	6	3	3	--	9	7	9	9	9	4	9

Rendimientos expresados en Ton/Ha.

CUADRO III-7 (Hoja 2 de 3)

**RENDIMIENTOS AGRICOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 OBTENIDOS
CON RIEGO DE AGUAS MEZCLADAS**

NT	Ciclo 70 - 71					Ciclo 71 - 72						Ciclo 73					
	Añaha	Cebada	Frijol	Melz	Trigo	Añaha	Avena	Cebada	Frijol	Jitomate	Melz	Trigo	Añaha	Avena	Cebada	Jitomate	Melz
7	94,844	--	6.00	--	--	89,195	30.0	--	--	--	3.00	--	72.0	30.0	--	21.0	4.0
8	121,818	2.00	1.0	--	5.30	101,337	26.0	--	--	--	3.70	--	88,443	25,790	4.30	21,488	4.0
9	178,134	--	--	--	--	106,296	26.0	--	--	--	3.0	--	107,820	75,230	--	34,50	4,806
10	26,141	--	--	--	--	81,814	15.0	--	--	--	1.50	--	104,876	24,818	2,809	32.0	4,230
11	92,307	--	--	--	--	92,929	14.60	--	--	--	1.50	--	90,018	21,272	2,413	29.80	4.0
12	128,712	--	--	--	--	102,733	10.60	--	2.0	--	3.00	--	81,540	10.0	--	21.0	5,007
13	108,504	--	--	--	0.80	108,737	12.0	--	--	--	3.0	--	94,780	22,454	2,547	31,250	4.50
14	93,036	--	--	--	--	107,379	19.30	--	2.0	--	5.50	--	89,981	30,983	2,360	30,904	4,128
15	115,775	--	--	--	--	97,594	20.0	--	--	--	4.80	2.0	84,993	20,090	2,279	29,716	4,310
16	119,985	--	--	--	--	107,546	19.30	2,225	1.30	--	5.20	--	89,825	20,816	2,325	30,307	5,073
17	113,890	--	--	--	--	106,961	20.0	2.0	1,790	--	5.10	--	100,542	30.0	2.0	21.30	2,906
18	61,665	--	--	7.0	--	55,148	10.0	2.30	6.50	--	7.80	0.90	89,438	21,033	2,395	12,816	2,979
19	115,714	--	--	--	--	109,608	--	--	--	--	--	--	90,018	21,214	2,422	12,069	3,070
20	108,30	--	--	--	--	91,314	--	--	--	--	3.0	--	94,842	22,132	2,503	0,150	4,725
21	98,858	--	1.45	4.0	--	60,116	--	--	--	--	4.70	--	84,795	20,815	2,574	3,250	3,250
31	95,749	--	1.20	2.25	--	86,583	24.60	--	1.30	--	3.70	2,750	89,980	20,967	2,137	19,972	2,948
32	96,140	--	1.20	2.25	--	84,322	19,480	--	--	--	3.50	3.40	89,995	20,672	2,290	--	3,50
33	85,101	--	--	3.0	--	93,784	--	1.0	2.0	--	2.30	1.50	84,743	20,016	2,420	--	3,090
34	67,938	--	--	--	--	65,780	20.0	--	--	--	4.0	1.20	79,426	18,643	2,483	--	2,850
35	70,813	--	1.933	--	--	98,321	21.45	--	4.50	--	3	1.20	94,677	22,402	2,277	--	4,250
44	93,062	--	--	--	--	96,919	25.0	--	--	--	4.50	--	79,649	18,40	2,800	--	3,180
45	91,650	--	1.0	2.0	--	83,108	25.40	--	--	--	2.40	2,325	80,631	25,33	2,574	7.0	4,150
46	88,811	0.70	--	--	1.0	76,010	13.0	--	--	--	3.10	--	95,016	22,137	2,201	--	4,200
47	91,362	--	2.5	2.5	--	79,734	10.50	1.30	--	--	3.40	2,500	84,941	19,742	2,430	--	4,011
48	102,391	--	--	--	2.0	91,675	10.40	2,290	--	--	3.0	3.00	89,995	21,113	2,950	--	4,906
49	94,525	--	--	--	2.2	84,997	15.0	3,667	4.0	--	3.50	3.00	89,719	21,251	2,285	--	3,809
51	96,640	--	3.0	2.25	--	88,266	13.30	2,667	--	--	2.70	3,290	84,958	20,019	1,50	30.0	2,792
8	97,19	1.35	2,149	3,156	2,72	90,45	17.8	2,23	2,84	--	3,64	2,40	89,38	21,01	2,478	23,26	3,87
52	284,4	0.42	2,28	2,444	2,37	204,03	26.7	0,53	2,77	--	1,73	0,74	64,21	8,16	0,256	53,85	0,58
8	17,22	0,919	1,60	1,680	1,72	14,56	5,46	0,795	1,77	--	1,34	0,898	8,166	2,91	0,517	7,56	0,776
8	27	2	9	8	5	27	23	8	9	--	26	12	27	27	24	1	27

111-21

Rendimientos expresados en Ton/Ha.

CUADRO III-7 (Hoja 3 de 3)

RENDIMIENTOS AGRICOLAS EN EL DISTRITO DE RIEGO 03 OBTENIDOS
CON RIEGO DE AGUAS BLANCAS

Nº	Ciclo 70 - 71					Ciclo 71 - 72						Ciclo 73					
	Alfalfa	Cebada	Frijol	Maíz	Trigo	Alfalfa	Avena	Cebada	Frijol	Jimamora	Maíz	Trigo	Alfalfa	Avena	Cebada	Jimamora	Maíz
1	861,936	..	..	..	..	117,819	..	..	..	..	3,30	1,50	79,896	18,347	2,045	74,750	1,347
2	122,503	..	..	..	..	106,343	12,40	2	..	..	3,0	2,0	80,0	18,878	1,18	85,995	1,017
3	172,550	..	..	..	1,30	120,807	30,0	..	..	..	..	..	91,537	8,80	3,0	85,730	8,0
4	118,989	..	..	..	1,30	119,275	..	..	..	..	..	1,40	105,549	8,0	0,80	117,30	1,50
5	179,114	3,0	..	..	..	128,453	5,0	2,225	1,0	..	4,30	1,40	79,975	13,761	1,979	95,306	1,40
6	113,174	..	..	..	..	804,168	..	1,0	..	..	3,0	2,0	79,745	18,975	8,113	76,045	3,80
18	96,141	..	..	1,950	..	77,797	..	..	..	..	1,80	1,10	74,998	87,0	0,80	11,983	1,56
19	73,870	..	..	1,80	..	64,758	..	..	..	..	2,30	3,80	74,974	11,556	0,790	11,34	8,75
20	77,860	..	..	1,80	..	73,879	..	1,0	..	..	..	..	79,389	18,913	2,040	17,508	1,30
21	92,411	..	..	..	..	91,521	..	..	1,50	..	3,0	..	79,957	18,998	2,180	17,940	1,95
22	77,480	..	..	..	..	77,111	..	1,80	..	..	2,50	1,80	84,637	30,018	2,275	13,016	3,05
23	76,813	..	..	..	..	82,071	..	1,067	..	..	4,40	..	89,799	30,746	2,438	14,795	1,049
24	101,90	..	..	..	..	82,882	15,0	..	..	..	7,0	2,80	79,833	18,649	2,018	17,389	3,889
26	101,194	..	..	..	..	101,945	..	..	1,50	..	3,30	..	94,347	7,30	2,574	19,803	3,753
41	75,998	..	..	..	..	92,382	..	..	..	..	4,80	..	79,446	18,296	2,138	..	1,706
52	85,667	..	..	1,830	1,627	78,119	..	..	2,30	..	2,10	1,60	80,154	13,0	1,50	..	1,90
53	63,736	..	..	..	..	78,304	9,0	3,5	1,30	..	2,30	2,30	89,993	18,694	2,116	..	1,80
X	94,66	..	..	1,67	1,5	93,630	10,28	2,80	1,313	..	3,30	2,014	84,560	17,980	1,933	18,509	3,173
N2	426,0	..	..	0,038	0	337,35	11,77	0,488	0,05	..	1,60	0,569	77,864	30,995	0,371	37,167	0,791
N	21,77	..	..	0,279	0	14,93	3,79	0,875	0,25	..	1,33	0,777	8,196	4,666	0,628	6,327	0,917
N	17	..	..	4	2	17	3	7	3	..	14	11	17	17	14	14	17

III-22

Rendimientos expresados en Ton/ha.

quena y Endho, ya que son las aguas utilizadas en el riego del distrito.

2. - Muestreo y análisis de aguas de riego dentro del distrito con la finalidad de conocer las calidades que reciben las distintas zonas y comparar los resultados con los análisis llevados a cabo previamente.
3. - Muestreos y análisis de suelos en el distrito
4. - Muestreos y análisis de cultivos de la zona
5. - Estudio de adsorción de boro en suelos

Segunda Etapa:

1. - Caracterización de las aguas utilizadas en riego en los aspectos fisicoquímicos, contenido de metales tóxicos y contaminación bacteriana.
2. - Caracterización de los suelos correspondientes a algunas secciones de productividad regadas con diferentes clases de agua para las determinaciones fisicoquímicas, condiciones de fertilidad, salinidad y contenido de metales tóxicos a diferentes estratos.
3. - Caracterización de cultivos correspondientes a algunas secciones de productividad y zonas testigo, regadas con diferentes clases de agua, determinando el contenido de metales tóxicos y de contaminación bacteriana.
4. - Determinación del comportamiento del boro mediante experimentos

ada de sortivos en suelos de cultivo en función de las condiciones de riego, drenaje y textura de los mismos.

5. - Estudiar los aspectos de fertilización y esterilización de suelos en el riego con aguas residuales.

Las actividades desarrolladas en la primera etapa permitieron definir los problemas específicos inherentes al reuso del agua en la agricultura. Además, se logró la cuantificación de las condiciones de aguas, suelos y cultivos; sin embargo, el objetivo general del estudio requirió la continuación de las actividades incrementando con nuevos estudios e investigaciones las experiencias acumuladas en base a los objetivos de una segunda etapa; siguiendo el ciclo agua-suelo-forraje o cultivo.

Estudios Específicos

Para evaluar ampliamente la cadena mencionada, se ha agrupado la serie de parámetros para cada estudio específico, analizado:

Salinidad: C.E. Cl^- , Ca^{++} , Mg^{++} , CO_3^{--} , HCO_3^- , SO_4^{--} , dureza, alcalinidad total, K, Na, pH, RAS, PSI, % ads. Na y textura.

Fertilización: N- NH_3 , N-org, N- NO_3 , materia orgánica, P- PO_4
P- PO_4 orto, K y P.

Aspectos Bacteriológicos: Coliformes totales y fecales.

Metodología

Las caracterizaciones de aguas, suelos y cultivos, permitieron desarrollar procesamientos en base a los parámetros a partir de promediar los valores encontrados en las muestras para diferentes fechas en un mismo sitio y agrupando éstos en función de la calidad del agua de riego, como se observa en los Cuadros III-2, III-4, III-5 y III-6 respectivamente para aguas, suelos y cultivos comparados con las normas, recomendaciones y resultados.

FERTILIZACION

Al hablar del agua residual como recurso hidráulico aplicable a la irrigación de zonas agrícolas resulta de alto interés el evaluar el beneficio que dichas prácticas implican, pues es sabido que el agua residual puramente doméstica contiene cantidades apreciables de ciertos elementos que son considerados nutrimentos de cultivos, como lo son el nitrógeno, fosfato y potasio. Así mismo, las aguas residuales industriales arrastran entre otros elementos fierro, boro, manganeso, cobre, etc., producto de la contaminación del agua usada en los procesos productivos, mismos elementos que son considerados micronutrientes. Ahora bien, al tener ambos tipos de desechos combinados, es factible tener en un solo cuerpo de agua a los nutrientes primarios (N, P y K) y a los micronutrientes mencionados, que al ser incorporados a los suelos

agrícolas incrementan su fertilidad y consecuentemente el rendimiento de cultivos.

La evaluación presentada en esta sección pretende cuantificar los beneficios que se desprenden del aprovechamiento del recurso agua residual en la agricultura, estimando la disponibilidad de nutrientes en los diferentes tipos de agua usados en riego, así como la aportación resultante a los suelos, las condiciones de fertilidad de éstos y los efectos en el rendimiento de cosechas.

Disponibilidad de Nutrientes en Aguas de Irrigación

Los resultados de la caracterización de las fuentes de agua de irrigación en la zona piloto permitió estimar los contenidos promedio de nutrientes por tipo de agua usado en riego, mismo que se muestran a continuación en el Cuadro III-8.

Refiriendo los resultados presentados en el Cuadro III-8 con los reglamentos existentes en México, se encuentran únicamente restricciones para boro (máximo 2 mg/l), cobre (1 mg/l) y nutrientes primarios en cantidades tales que no provoquen hiperfertilización. La calidad de las aguas estudiadas en la zona piloto cumplen perfectamente tales restricciones. Sin embargo, las cualidades fertilizantes de dichas aguas solo pueden evaluarse mediante el cálculo de las aportaciones en Kg/Ha/año a los suelos mismas que se presentan en el Cuadro III-9 para una lámina anual de 2.10 m que es la usual en la zona.

CUADRO III-8
CANTIDADES DE NUTRIENTES POR TIPO DE AGUAS
 (mg/l)

Nutrientes	Puramente Domésticas (Promedio en México)	Combinadas (Gran caudal del Desagüe Negras)	Mezcladas	Blancas
Primarios:				
Nitrogeno				
N-Norg	18	6.9	6.60	2.73
N-NH ₃	24	10.1	7.73	3.27
N-NO ₃	--	0.17	0.93	0.43
Fósforo				
PO ₄ tot.	21	26.24	13.81	5.93
Potasio K⁺		51.55	44.74	11.17
Micronutrientes				
Fe		2.75	2.65	0.74
Mn		0.18	0.29	0.05
B		1.31	1.14	0.24
Cu		0.19	0.12	0.28
Zn		0.54	0.36	0.03
Cloruro		184.4	153	27.2

CUADRO III-9
APORTACIONES ANUALES DE NUTRIENTES POR EL AGUA DE
RIEGO Kg/Ha/año

Nutrientes	Aguas Negras	Aguas Mezcladas	Aguas Blancas
N-Norg	145	139	57
N-NH ₃	212	162	69
N-NO ₃	3.6	19.5	9.0
PO ₄ tot	551	290	124
K	1082	939	244
Fe	58	56	15
Mn	3.8	6.1	1.0
B	27.5	23.9	5.0
Cu	4.0	2.5	5.9
Zn	11.3	7.6	0.6
Cl	3872	3213	571

Desde luego que el producto de tales aportaciones no queda permanente en el suelo, ya que el nitrógeno en sus formas orgánicas y amoniacal es pasado a nitratos con enormes pérdidas gaseosas. Asimismo, por lixiviación son removidos los excesos de sales adsorbidas en la superficie de las partículas del suelo. Parte de estos nutrientes queda fija por la fracción orgánica o formando compuestos químicos que aumentan la reserva nutricia del

suelo, de tal modo que la composición de la solución, fuente de nutrimento de los vegetales, permanezca más o menos constante pudiendo cubrir las pérdidas de nutrientes que la cosecha aprovecha en su crecimiento en las cantidades que se presentan en los Cuadros III-10 para nutrientes primarios y en el Cuadro III-11 para micronutrientes.

En vista de tales requerimientos se estudiaron las características de fertilidad de los suelos, mismas que se presentan en el Cuadro III-4 donde se observa que los requerimientos de micronutrientes, sin rebasar los límites de toxicidad permisibles de los Cuadros II-11 y II-13, cumplen ampliamente los requerimientos nutricionales de las cosechas. Sin embargo, las aportaciones de nitrógeno resultan francamente deficientes por lo que deben complementarse con adiciones de fertilizantes comerciales.

El análisis de nutrientes en cultivos revela condiciones normales de dichos elementos en tejidos vegetales, por lo que se concluye que a pesar de haber micronutrientes en exceso éstos no perjudican al cultivo, posiblemente debido al pH de los suelos que impide la absorción superflua de éstos, como se observa en la Fig. III-1 donde se presenta la influencia que tiene el pH en el aprovechamiento de nutrientes.

De cualquier forma, existe una tendencia acumulativa de micronutrientes en suelos regados con aguas negras, que en un mo-

CUADRO III-10

NUTRIMENTOS CONTENIDOS EN PARTE DEL CULTIVO (Kg/Ha)

CULTIVO		Rendimiento Ton. met/ha.	Nutrimentos			
Nombre	Parte		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
C e r e a l e s	Cebada	Grano	0.87	39	1.7	11
		Paja	0.91	17	5.6	34
	Maíz	Grano	4.78	150	60	45
		Rastrojo	3.40	112	41	162
	Avena	Grano	1.16	56	22	17
		Paja	1.82	28	17	90
	Sorgo	Grano	1.82	73	39	22
		Paja	2.74	95	28	140
	Trigo	Grano	1.09	56	28	17
		Paja	1.36	22	5.6	39
H e n o	Alfalfa		3.65	200	45	200
	Trébol Rojo		1.82	90	22	90
	Soya		1.82	101	22	56
F r u t e r e s	Col		18	146	39	146
	Cebolla		14	101	45	90
	Papa		141	10.9	34	162
	Espinaca		45	56	17	34
	Tomate		18	134	45	179
	Camote		7.5	50	17	84

CUADRO III-11

CANTIDADES DE METALES PESADOS TOMADOS DEL SUELO POR
DIFERENTES CULTIVOS

Cultivo	Nutrimientos en Kg/Ha tomados del Suelo								Productividad Ton Ha
	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	
Cebada	45	10.1	44	7.8	0.045	0.044	0.393	0.123	1.78
Mafz	207	31.2	31	27	0.11	0.123	1.8	0.51	8.18
Avena	107	11.2	12.3	15.6	--	0.066	0.13	0.376	2.98
Trigo	56	7.8	11	8.9	0.045	0.044	0.28	0.216	3.45
Alfalfa	200	125	23	21	0.067	0.067	0.49	0.47	3.65
Soya	56	45	20	11	0.011	0.045	0.51	0.17	1.82
Frijol	28	2.2	2.2	5.6	0.13	0.022	0.033	0.067	0.82
Tomate	179	7.8	12	16	0.16	0.079	0.15	0.18	18

CUADRO III-13

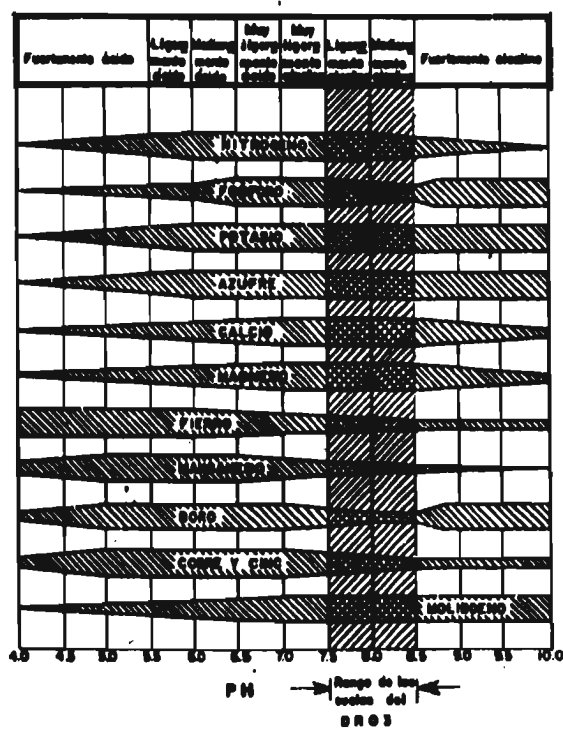
PROMEDIO DE CARACTERISTICAS POR TIPO DE AGUA

Característica	Valores Promedio por Tipo de Agua			
	Negra	Blanca	Mezclada	Drenaje Agrícola
pH	8.24	8.09	8.02	8.00
C. E. (Mmhos/cm)	1845	624	1766	2320
Sólidos Disueltos (mg/l)	1129	393	1015	1418
% Na	81	44.5	72.7	64.3
RAS	10.5	1.56	7.84	6.5
Na ₂ CO ₃ Res. (meq/l)	5.7	0.27	3.5	1.94
B (mg/l)	1.69	0.42	1.35	1.14
Na ⁺ (mg/l)	320	33	248	274
K ⁺ (mg/l)	70	11	63	58
Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺ (mg/l)	72	52	88	154
CO ₃ ⁻ (mg/l)	239	44	-	0.0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	447	194	454	569
Cl ⁻ (mg/l)	267	43	243	304
SO ₄ ⁻ (mg/l)	49	21	51	100

NOTA: Los valores presentados en este Cuadro corresponden a los promedios de las caracterizaciones desde 1963 a 1973.

Fig. III-1

**INFLUENCIA DEL PH DEL SUELO EN EL APROVECHAMIENTO
DE NUTRIMIENTOS**



mento dado puede ocasionar condiciones tóxicas en determinados tipos de suelos, por lo que es recomendable el control periódico de suelos en zonas de aprovechamiento de aguas residuales.

SALINIDAD

Condiciones de salinidad han sido detectadas en la zona piloto, coincidiendo éstas en regiones en donde es aprovechada agua residual en riego, lo que motivó el estudio intensivo de tales aspectos.

A la fecha, las superficies afectadas son mínimas porcentualmente, como se observa en las cifras del Cuadro III-12, sin embargo es factible que las sales contenidas en el agua residual puedan ocasionar condiciones de acumulación paulatina, lo que significa un riesgo de proporciones mayúsculas.

CUADRO III-12

AREAS DEL DISTRITO DE RIEGO 03 AFECTADAS POR SALES

Magnitud de Afectación	Porcentaje
Libre de sales	96%
Ligeramente afectada	2.5%
Medianamente afectada	0.5%
Fuertemente afectada	0.2%
Muy fuertemente afectada	0.14%

Inundada	0.56%
Sin aprovechamiento agrícola	<u>0.10%</u>
Total (43037 Ha)	100.0 %

Los alcances logrados en el estudio de salinidad abarcan la caracterización de aguas de irrigación y de retorno agrícola, así como de suelos regados con los distintos tipos de agua disponible, evaluando los resultados obtenidos y estimando estadísticamente los efectos de la presencia de sales en la productividad de cultivos.

Los resultados obtenidos, mismos que se presentan en el Cuadro III-13 son discutidos a continuación.

Calidad de las Aguas

Las aguas de riego disponibles en el distrito, independientemente del tipo, presentan condiciones alcalinas, siendo deseable que fueran ácidas para lograr la neutralidad de los suelos altamente alcalinos de la zona. La conductividad eléctrica de las aguas blancas, que es de 624 μ mhos/cm es satisfactoria, siendo los valores de 1766 y 1845 μ mhos/cm que fueron detectadas en agua mezclada y negra, adecuadas siempre y cuando se tengan drenajes eficientes y prácticas agrícolas de conservación periódicas.

Se observa una diferencia marcada en los valores del RAS siendo el promedio en aguas blancas (1.56) excelente, el de aguas mezcladas (7.84) ligeramente riesgoso y el de aguas negras

(10.5) francamente propiciador de condiciones salinas. En función de la C.E y el RAS son clasificadas las aguas de la siguiente manera, para fines agrícolas:

AGUA BLANCA C₂ - S₁

AGUA MEZCLADA C₃ - S₂

AGUA NEGRA C₃ - S₃

Las aguas del distrito de riego, tanto negras como mezcladas, presentan muy altas concentraciones de bicarbonatos: aguas negras 447 mg/l y aguas mezcladas 454 mg/l, en tanto que las aguas blancas presentan una concentración moderada cuyo promedio es de 194 mg/l.

La presencia excesiva de bicarbonatos en el agua ocasiona que el calcio y magnesio del suelo precipiten como carbonatos, dando lugar al aumento en la proporción relativa de sodio, propiciando a su vez las condiciones sódicas en los suelos y el consecuente aumento del PSI de los mismos.

En cuanto al contenido de carbonato de sodio residual, las aguas con más de 2.5 meq/l Na₂CO₃ resultan inadecuadas para riego, valor que sobrepasan considerablemente las aguas negras y mezcladas, cuyos valores promedio son respectivamente 5.7 meq/l y 3.5 meq/l, en tanto que las aguas blancas contienen únicamente 0.27 meq/l, concentración excelente para aguas de riego bajo cualquier condición.

Actualmente es usada agua de retorno agrícola para el riego de algunas secciones de productividad en las zonas bajas del distrito, lo que ha iniciado la detección de problemas de salinidad, ya que el agua de drenaje resulta ser inadecuada para el riego, especialmente por los altos niveles freáticos de la zona, más que por su calidad, comparable en términos generales con la de aguas negras.

Siendo definidos en su mayoría los drenes correspondientes a secciones regadas con determinado tipo de agua, se procesó estadísticamente su correlación respecto a calidades de agua de varios años, encontrándose los siguientes coeficientes de correlación:

AGUAS NEGRAS CE $r = 0.639$

RAS $r = 0.445$

AGUAS MEZCLADAS CE $r = 0.399$

RAS $r = 0.163$

Los anteriores coeficientes de correlación que muestran mayor interacción entre el agua negra y el suelo a lo cual permite pasar el agua percolante sin cambios apreciables en el contenido de sales ya sean medidas como C.E ó como RAS.

Las calidades de los distintos tipos de agua, cuyos promedios se presentan en el Cuadro III-13 para los parámetros de salinidad, se mantienen relativamente constantes a lo largo del año, siendo notoria la variación que se presenta en aguas negras en la

temporada de lluvias en donde se presenta más diluída, mejorando su calidad.

Suelos

Fueron encontradas texturas arcillosas y migajón arcillosas ligeramente alcalinas en su mayoría, independientemente del tipo de agua de riego aplicado, no encontrándose relación alguna de causa efecto entre ellos aunque los contenidos de materia orgánica y cationes-aniones son perfectamente definibles para cada uno de los regímenes de riego, siendo mayores, sin dejar de ser normales según los límites de tolerancia, en los suelos regados con agua negra siguiendo en orden de magnitud, obviamente, los regados con agua mezclada y blanca.

La alcalinidad de los suelos es explicable por los altos contenidos de carbonatos y bicarbonatos naturales de los suelos, lo que deja de ser un problema cuya solución podría ser la aplicación de sulfatos como yeso o ácido sulfúrico dependiendo del grado de alcalinidad de los mismos.

Los suelos afectados por sales presentan el común denominador de carecer de drenaje agrícola adecuado, siendo esta la causa principal de la afectación, provocada indirectamente por las sales disueltas en el agua de riego que no pueden ser lixiviadas.

Efectos en los Cultivos

Las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre la planta en crecimiento: los específicos debidos a los iones perjudiciales para especie y los efectos generales ocasionados por el aumento de presión osmótica de la solución que rodea a las raíces de las plantas. Entre los efectos específicos, se presenta en primer plano una sensible elevación del pH causada por carbonatos y boratos, lo cual impide la asimilación de fosfatos, hierro, zinc y magnesio; asimismo la estructura del suelo se ve modificada dando lugar a escasa permeabilidad, pobre aereación y laboreo dificultoso.

El estudio de los datos de salinidad en suelos y productividad de cultivos revela que, a excepción de las áreas fuertemente afectadas por sales, donde la productividad de cultivos es mínima debido tanto a los efectos específicos como generales, el contenido de sales en los suelos no presenta influencia de consideración en el rendimiento de cultivos de importancia económica en la región, como son los forrajes y muy especialmente la alfalfa, cultivo altamente tolerante a la salinidad.

Para cultivos ligeramente sensibles a las sales como cebada, trigo y maíz fueron encontradas diferencias significativas a un nivel $\alpha = 0.5$ para la productividad obtenida en regiones regadas con aguas blancas y mezcladas, siendo mayor en las últimas y

no se encontraron diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre rendimientos obtenidos en secciones regadas con aguas negras y mezcladas, ni entre negras y blancas, lo cual indica que el contenido de sales en los suelos, aunque es propiciado por el agua de riego, no presenta condiciones limitantes al desarrollo de cultivos, sino al contrario, según la sección de Fertilización, contribuye a incrementar su desarrollo.

ASPECTOS BACTERIOLÓGICOS

Las aguas residuales municipales son portadoras de infinidad de colonias bacterianas procedentes de las excretas humanas. A dichas aguas, comunmente son agregadas las resultantes de los escurrimientos pluviales que generalmente presentan alta contaminación bacteriana y finalmente efluentes de diversa índole como de establos, rastros, industrias alimenticias, etc., todos ellos con altas cuentas bacterianas.

Al aplicar dichas aguas a labores agrícolas se presenta un serio riesgo de infecciones en el personal de campo, que generalmente en nuestro país, realiza sus actividades sin protección alguna. Asimismo suelos y cultivos están expuestos a esta contaminación bacteriana, problema que en México resulta de suma importancia sobre todo a la luz de las altas cifras de mortandad por causa de enfermedades entéricas.

Al estudiar el aprovechamiento de las aguas residuales de la Cd. de México en la irrigación del Distrito de Riego 03 se hizo indispensable el considerar los aspectos sanitarios involucrados, mismos que en este informe se presentan de una manera resumida de acuerdo a los principales resultados obtenidos.

Se caracterizó una amplia red de estaciones de muestreo de aguas que incluye las fuentes de abastecimiento de aguas blancas y negras analizando las modificaciones en los valores reportados a lo largo del recorrido en canales abiertos, vasos reguladores y canales de irrigación. Los valores observados rebasan considerablemente el límite permisible de coliformes fecales (organismo indicativo usado en la evaluación) que es de 1 000 NMP/100 ml en aguas de uso agrícola, ya que cifras de 10^8 NMP/100 ml fueron detectadas en aguas negras y mezcladas y de 10^4 en aguas blancas. Se observó además una mortandad muy limitada en los vasos de retención (Presa Requena) en los que por sus capacidades de auto depuración debiera ser más eficiente.

Lejos de considerarse al Gran Canal del Desague como sistema de tratamiento por las condiciones especiales que brindan sus 47 Km de canal abierto, éste no presenta tasas de mortandad de consideración., la explicación son las frecuentes aportaciones de aguas residuales de poblaciones a lo largo de su recorrido. Los datos discutidos anteriormente se muestran en el Cuadro III-14.

CUADRO III-14

CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS DE LAS AGUAS DE RIEGO

Estación	Tipo de Agua	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
Gran Canal del Desague (Km 0+00)	Negra	9.1×10^6
Túnel de Teguisquiac (DR-03)	Negra	6.3×10^5
Entrada Presa Endho	Bianca	4.6×10^4
Salida Presa Endho	Bianca	1.1×10^6
Entrada Presa Requena	Bianca	2.4×10^5
Salida Presa Requena	Bianca	1.1×10^5
Canal Principal Requena (DR-03)	Bianca	2.1×10^3
Promedio Agua Mezclada (DR-03)	Mezclada	4.0×10^9

CUADRO III-15

CARACTERISTICAS BACTERIOLOGICAS DE LOS CULTIVOS

Características	Cultivo	Tipo de Riego	Coliformes Fecales	
			Lav. Sup.	Sin Lav.
Cultivos varios regados con las tres tipos de agua; riego reciente y sin lluvia (a)	Ajo	A. M.	16 NMP/10 gr	-
	Avena	A. M.	3000 NMP/10 gr	-
	Alfalfa	A. M.	93 NMP/10 gr	-
	Cebolla	A. N.	53 NMP/10 gr	-
Cultivos varios regados con los tres tipos de agua; último riego de 15 a 30 días antes del muestreo con lluvias recientes (b)	Jitomate	A. B.	3 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza
	Alfalfa	A. B.	3 NMP/10 gr	3 NMP/10 gr
	Jitomate	A. M.	3 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza
	Alfalfa	A. M.	15 NMP/10 gr	15 NMP/10 gr
	Alfalfa	A. N.	5 NMP/10 gr	3 NMP/10 gr
	Calabaza	A. N.	5 NMP/Pieza	3 NMP/Pieza

(a) El lavado de los cultivos se efectuó en solución de cloro al 7% o fenol al 0.5% en un minuto

(b) El lavado de los cultivos se efectuó con agua en forma directa de un grifo

La influencia de las aguas de riego en la contaminación bacteriana de cultivos es de poca consideración, ya que las bacterias muestran un período corto de supervivencia en la superficie de cultivos donde quedan adheridos junto con partículas de suelo, siendo en extremo difícil el que logren introducirse a los tejidos internos, a menos que se presenten grietas o contusiones que lo propicien.

Se ha visto que la contaminación bacteriana de cultivos se produce principalmente durante la recolección de los mismos, ya sea por disposición de éstos en el suelo contaminado o por prácticas inadecuadas de lavado que se les practica al empacarlos para el suministro a los centros de consumo.

Las características bacteriológicas promedio encontradas se presentan en el Cuadro III-15.

Un aspecto que resulta de marcada importancia es la gran incidencia de enfermedades gastrointestinales en la población de la zona ocasionada tal vez como antes se mencionó, por las inadecuadas protecciones del personal de campo y abrevaderos de ganado, siendo muy frecuente el observar a estos últimos abrevando en canales de agua negra. Es de especial importancia el recomendar medidas de manejo de aguas en las zonas donde se aprovechan aguas residuales en riego.

METALES PESADOS

La acumulación de contaminantes en los suelos tiene como consecuencia el deterioro de los mismos, presentándose mermas en la productividad y rendimientos agrícolas. Estos contaminantes son aportados por los productos químicos comunes que se utilizan para incrementar la aportación de nutrientes en el suelo o para el control de plagas, las tolveneras tóxicas y los iones y sales contenidos en el agua de irrigación. Estos últimos resultan de suma importancia para el caso del Distrito de Riego 03, mismo en que se utilizan para riego aguas de desecho de muchas industrias, entre ellas del ramo de productos químico-farmacéuticos, electro y pirometalúrgicos, petroquímicos, automotrices, etc., cuyos efluentes contienen iones metálicos en solución en cantidades variables, y que en última instancia pueden ser removidos por mecanismos de intercambio de iones en los suelos acumulándose en algunos casos en concentraciones tóxicas para los cultivos, y del mismo modo el hombre y el ganado se ven afectados al consumir éstos productos agrícolas contaminados.

La presencia de metales pesados y compuestos de los mismos en solución en las descargas de las plantas de electrodeposición y de otras industrias metálicas, constituyen motivo de preocupación por sus posibles propiedades tóxicas u otros efectos adversos en las aguas receptoras. Los metales en cuestión se designan

colectivamente como metales pesados y comprenden: cadmio, zinc, cobre, hierro, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo y posiblemente otros.

Fueron recopiladas innumerables experiencias acerca de los efectos específicos de cada elemento en la flora y fauna acuática, resaltando entre ellos los bioensayos de toxicidad de mercurio, cromo y plomo principalmente, siendo impactantes los resultados reportados. Asimismo se encuentran diversos experimentos a nivel de columnas empacadas de suelo para depuración de aguas con altas concentraciones de metales pesados en solución, simulando filtros percoladores.

Sin embargo, el enfoque dado al estudio de los metales pesados en la zona piloto, una vez caracterizadas las aguas de irrigación donde fueron detectadas cantidades considerables de iones metálicos, fue el de evaluar la acumulación de éstos en suelos en las que en un grado máximo pudiera perjudicar la productividad de cultivos o por absorción en los tejidos vegetales, perjudicar a seres vivientes que consumen dichos productos. La búsqueda de tales respuestas puso en marcha una serie de actividades que incluyen la caracterización de los diversos tipos de aguas de riego, suelos y cultivos, cuyos resultados son presentados en los Cuadros III-2, III-4 y III-9.

La presencia de metales pesados en efluentes de irriga-

ción en cantidades detectables es debida principalmente a las descargas de los sectores industriales mencionados a continuación:

Manganeso

Se utiliza para aleaciones, baterías, en la industria del vidrio y cerámica, pinturas, barnices, tintas, cerillos y fertilizantes.

En soluciones nutrientes, se ha reportado como tóxico a las plantas y su sensibilidad varía con las especies y composición de la solución del suelo.

Mercurio

Sus sales se utilizan extensamente en el comercio e industria como productos medicinales, desinfectantes, detonadores, pigmentos y fotoestampado; la mayoría de las sales son altamente solubles en agua y se aceptan concentraciones de 1.0 mg/l.

Níquel

Es utilizado en la industria para niquelar piezas metálicas y se encuentra en los suelos en forma insoluble, pero una acidificación de éstos lo vuelve soluble causando daños a los cultivos pudiendo ser extremadamente tóxico como por ejemplo para los cítricos.

Concentraciones entre 15.9 y 29.4 mg/l de níquel en so-

luciones nutrientes resultaron dañinas a la remolacha, tomate, papa, y avena.

Cobre

Se utiliza en aleaciones, utensilios de cocina, industria eléctrica, tubería, etc. Sus sales se emplean en procesos textiles, pigmentos, curtiduría, fotografía, electroplateado, insecticidas, fungicidas, etc.

De encontrarse en concentraciones mayores de 0.05 mg/l es índice de contaminación, pudiendo atribuirse a corrosión de tuberías o efluentes industriales. Concentraciones en solución nutriente causan efectos diversos a los cultivos: El crecimiento de la raíz de cebada resultó nulo para 1.0 mg/l como sulfato de cobre; se observó clorosis severa en la avena para 10.0 mg/l como cobre y tóxico para remolacha y cebada en 0.2 mg/l y para el tomate 2.0 mg/l.

Plomo

Sus óxidos, de los cuales los más importantes son: monóxido de plomo, minio y dióxido de plomo son los más utilizados en la industria para la preparación de vidrios, acumuladores, pinturas para estructuras y aleaciones. Sus sales inorgánicas pueden ser tóxicas para las plantas y por otro lado resultó que a concentraciones mayores de 5.0 mg/l de nitrato de plomo, en períodos de

una semana de exposición, las plantas de avena y papa murieron.

Cromo

Las sales de cromo se utilizan en el plateado de metales, anodizado de aluminio, en la industria peletera, pinturas, solventes, papel, cerámica y explosivos.

No se tiene evidencia de que sea esencial para la nutrición de las plantas. El cromo es tomado del suelo por las plantas y vegetales que crecen en suelos regados con aguas negras conteniendo cromo y reportan concentraciones entre 3 y 10 veces mayores que suelos similares sin cromo.

El dicromato de potasio agregado a una solución nutriente con 50 mg/l causó una ligera clorosis en plantas de avena y de 15.0 a 50.0 mg/l redujo marcadamente el crecimiento de las plantas.

Las concentraciones de metales pesados detectadas en aguas de riego, aunque considerables, no relacionan en ningún caso los límites permisibles para uso agrícola mencionados en el capítulo II.

Asimismo, las concentraciones detectadas en suelos se encuentran bajo condiciones normales, pareciendo no tener relación definida en función de los contenidos de metales en las aguas de riego, ya que si bien es notoria una mayor concentración de estos en

aguas negras siguiendo en orden de magnitud en las mezcladas y por último en las blancas, los contenidos de metales en los suelos no parecen seguir tal ordenamiento, debido posiblemente a interacciones con los contenidos de sales y nutrientes mediante mecanismos aún no perfectamente definidos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- . La aplicación de aguas residuales en suelos agrícolas del Distrito de Riego 03 redundó en un incremento de la fertilidad del suelo, especialmente en el contenido de los macronutrientes fósforo y potasio y de los micronutrientes boro, zinc, hierro, manganeso y cobre.
- . La calidad del agua de riego rebasa los límites permisibles para uso agrícola en el aspecto salinidad: sin embargo, los suelos no han sido mayormente afectados debido a que el manto de caliza es lo suficientemente poroso para permitir un drenaje adecuado. Las áreas afectadas se localizan en zonas con problemas tales como niveles freáticos elevados y deficiencias o falta de obras de drenaje.
- . Las aportaciones de materia orgánica a los suelos con la aplicación de aguas residuales en riego, han mejorado sensible aunque no significativamente la constitución del perfil laborable, dando origen a un cambio en la textura del suelo que permite

una mayor facilidad de laboreo así como un incremento en la retención de elementos nutricios.

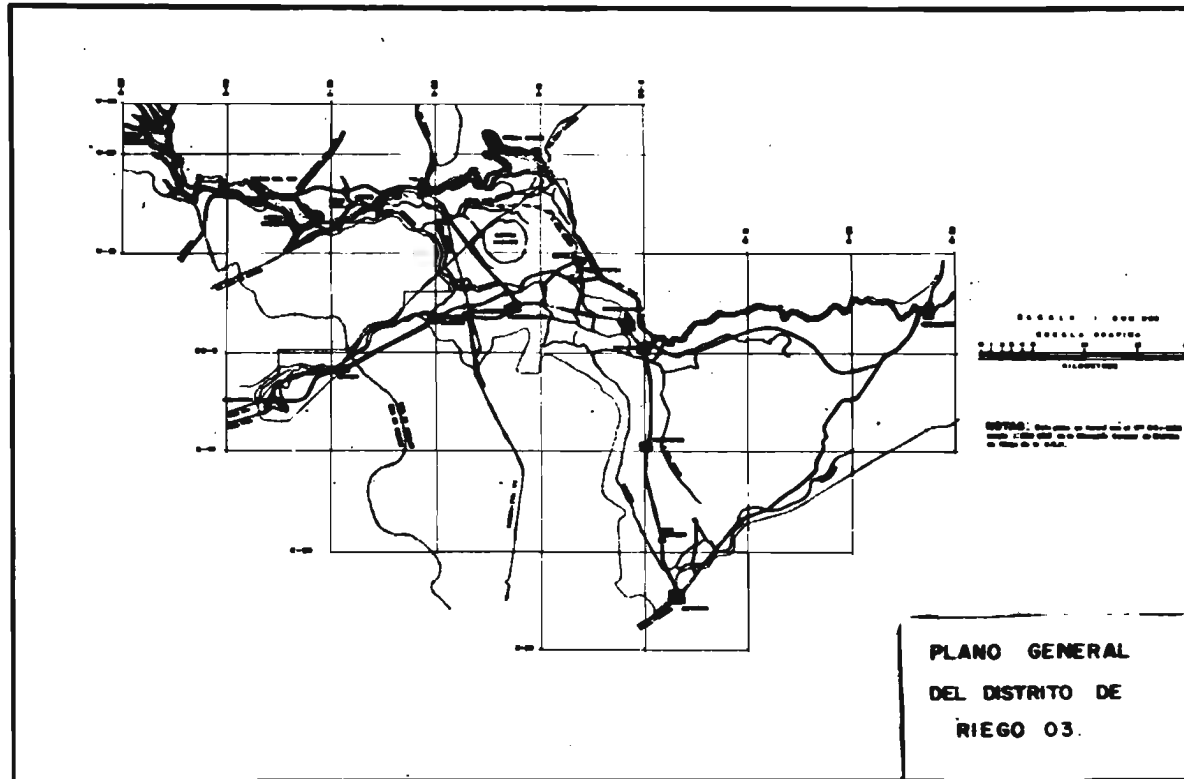
- . Las aportaciones de metales pesados a los suelos por el uso de aguas residuales al parecer no tienen una influencia notoria debido a la gran capacidad amortiguadora de los mismos; notándose en suelos con 60 años de riego, niveles que van de un décimo a un centésimo de los límites recomendables en suelos.
- . La calidad bacteriológica del agua de riego utilizada en el Distrito de Riego 03, rebasa los límites permisibles (1000 coliformes fecales y 5000 coliformes totales por 100 ml) cualesquiera que sea el tipo de agua: blanca, mezclada o negra.
- . Las concentraciones de coliformes fecales en los cultivos (3 a 15 NMP/10 gr) regados con los tres tipos de agua utilizados en el Distrito 03, permiten suponer que ésta no tiene influencia en la contaminación bacteriana de cultivos en el campo, o en su defecto, ésta es reducida por los efectos climáticos, pudiéndose presentar la contaminación en otras fases entre el campo y el consumidor, como lo son el transporte y su distribución hasta los centros de consumo.
- . No se localizan normas específicas sobre el contenido máximo de coliformes en cultivos; sin embargo como referencia, se tienen resultados recientes de experimentos efectuados en cultivos de tomate en el Valle de Ciudad Juárez, Chih., habiéndose de-

terminado concentraciones de 900 coli/gr de cultivo y una vez lavado, de 1 a 5 coli/100 gr para tomates regados con agua residual con 30 mg/l de DBO. Los resultados preliminares obtenidos de coliformes fecales (3 a 15 NMP/10 gr) en el desarrollo del estudio, no son concluyentes por haberse presentado inclusive contaminación durante el lavado de las muestras.

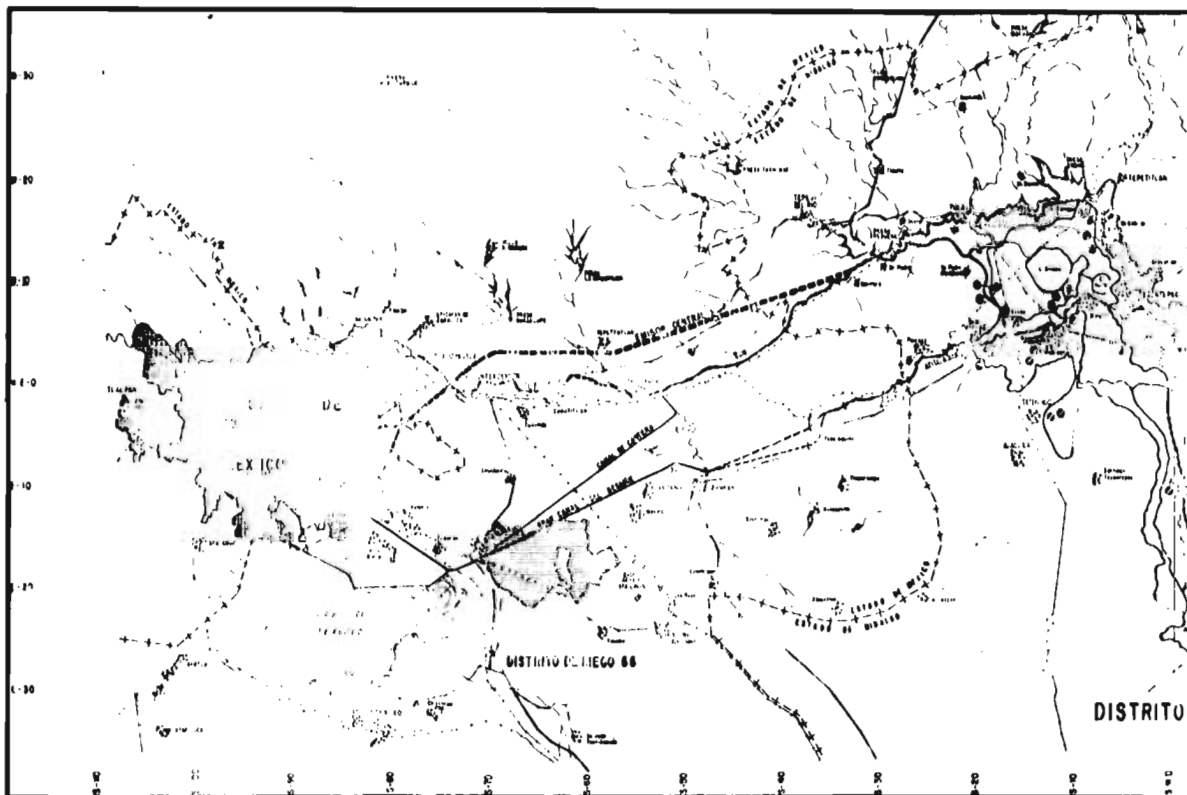
- No se observaron problemas de acumulación tóxica de boro en suelos utilizando aguas de riego negras y mezcladas en concentraciones de 1.31 y 1.14 mg/l de boro respectivamente.
- Para suelos con texturas arcillosas y migajón arcilloso como los presentes en el Distrito, las concentraciones peligrosas de boro que oscilan alrededor de 2.5 ppm en el extracto de saturación pueden ser prevenidas mediante la aplicación de láminas de sobrerriego de 30 cm para cultivos con raíces bajo 20 cm y láminas de 50 cm para cultivos con raíces bajo 60 cm.

Recomendaciones:

Se hace necesario evaluar en una etapa posterior de desarrollo del estudio los aspectos de fertilización, metales pesados y sustancias tóxicas implícitos en el reuso del agua en la agricultura de otros tipos de aguas residuales tales como industriales, domésticas, combinadas y de retorno agrícola en base a la indentificación de zonas actualmente de riego e investigación a nivel de laboratorio.



**PLANO GENERAL
 DEL DISTRITO DE
 RIEGO 03.**



ESTACIONES DE MUESTREO

GRAN CANAL DEL DESAGUE

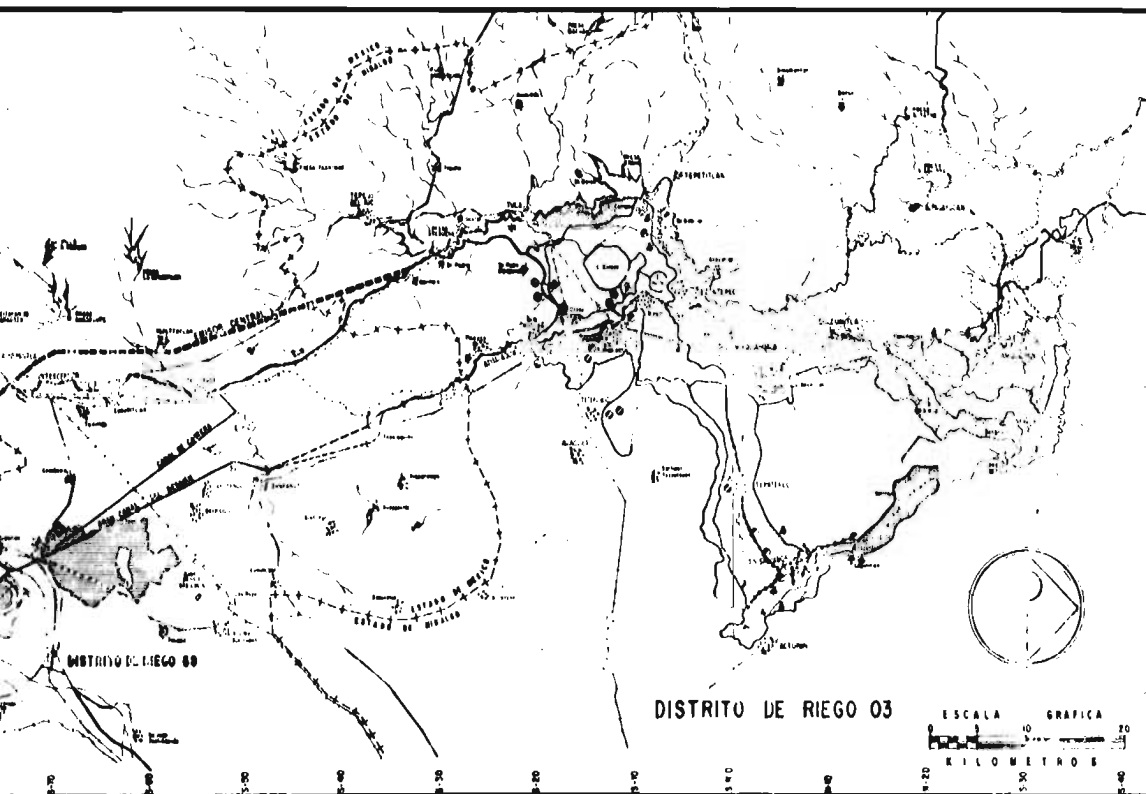
- Sitio 1º Km. 14.453
- Sitio 2º Km. 6.250
- Sitio 3º Km. 13.130
- Sitio 4º Km. 27.130
- Sitio 5º Km. 27.180
- Sitio 6º Km. 47.050

DISTRITO DE RIEGO 00

- Sitio 7º Desagüe Man. Op. de Agua
- Sitio 8º Canal Tancitará
- Sitio 9º Presa Tlacamar

DISTRITO DE RIEGO 01

- Sitio 10º Canal el Salto (Entrada P. Requena)
- Sitio 11º Rio Topol (Entrada P. Requena)
- Sitio 12º Canal Principal Requena (Km 0.000)
- Sitio 13º Estero Central (Pantel de Salda)
- Sitio 14º Rio Tula (Entrada P. Enthal)
- Sitio 15º Canal Principal Enthal
- Sitio 16º Or. Tlacuapán
- Sitio 17º Or. Tlahuelilpan
- Sitio 18º Or. de los Volcanes
- Sitio 19º Or. Tlapachayán
- Sitio 20º Or. Baxia
- Sitio 21º Or. El Rodrigo
- Sitio 22º Or. Los Corrales
- Sitio 23º Or. Domínguez
- Sitio 24º Or. Bonanza
- Sitio 25º Or. Leguillas
- Sitio 26º Rio Tula (Km. 1490)



LOCALIZACION

SIMBOLOGIA

	Drain agrícola
	Límite político
	Cobertura municipal
	Población
	Río
	Preso
	Lago
	Preso desahogado
	Canales
	Emisor
	Túnel
	Fanateral

CLAVE

	ZONA A		TIPOS DE MUESTREO
	ZONA B		En agua de riego
	ZONA C		En agua de drenaje
	ZONA D		En cultivos y suelos
	ZONA E		
	ZONA F		
	ZONA G		
	ZONA H		
	ZONA I		
	ZONA J		

DE MUESTREO

- DISTRITO DE RIEGO 03**
- Sito 10.- Canal de Soto (Entrada P. Requena)
 - Sito 11.- Río Tlalp (Entrada P. Requena)
 - Sito 12.- Canal Principal Requena (San O. OCS)
 - Sito 13.- Emisor Central (Puerto de Sotelo)
 - Sito 14.- Río Tula (Entrada P. Tula)
 - Sito 15.- Canal Principal Sotelo
 - Sito 16.- Dra. Teacapan
 - Sito 17.- Dra. Tlachetepetl
 - Sito 18.- Dra. La Virgen
 - Sito 19.- Dra. Teacapan
 - Sito 20.- Dra. Bossa
 - Sito 21.- Dra. El Molino
 - Sito 22.- Dra. Los Carrizos
 - Sito 23.- Dra. Domestri
 - Sito 24.- Dra. Bonanza
 - Sito 25.- Dra. Loguéniz
 - Sito 26.- Río Tula (Entrada)

NOTAS:
 Este plano fue elaborado en base al catastro del Distrito de Riego 03, del río Tula, a escala 1:100,000, revisado por la Dirección de Estudios de fecha junio de 1968.

SISTEMA DE DRENAJE DE LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA METROPOLITANA

CAPITULO IV

REFERENCIAS

- I-1 Estudio de Sistemas Económicos - Segunda Etapa, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Año 1974
- I-2 Estudio sobre Usos y Demandas de Agua en los Principales Sectores Industriales del País, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Año 1975
- II-1 Calidad del Agua para Diversos Usos Domésticos, Industrial Agrícola, Piscícola, y Recreativo. Tabla 3-A Ing. Eloy Urroz Jiménez; presentada en el curso Tratamiento de Aguas Residuales y Municipales, UNAM - Centro de Educación Continua 1974
- II-2 Classification and Use of Irrigation Water, L. V. Wilcox United States Salinity Laboratory, Circular 969, United States Department of Agricultura, Nov. 1965
- II-3 Uso Agrícola de las Aguas Negras, Pub. 9/70 de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, SRH
- II-4 Water Quality Criteria, U.S. Federal Water Pollution Control Administration 1968
- II-5 Instructivo para el Muestreo, Registro de Datos e Interpretación de la Calidad del Agua para Riego Agrícola, Colegio de Post-graduados ENA, Oscar Palacios V. y Everardo Ace-

ves N.

- II-6 Soil Science Principles and Practices; R. L. Hausenbueller
Tabla 20-1 1973
- II-7 Statewide Standards for the Direct Use of Reclaimed Waste
Water for Irrigation and Recreational Impouments, California
Administrative Co. Title 17 Public Health, Feb. 1973, Depar-
tament of Public Health.
- II-8 Suelos Contaminados por Sales "Breves Conceptos y Metodo-
logfa para su analisis". QFB. Luz Ma. Oropeza Mendoza,
SRH. 1972, Depto. de Analisis y Laboratorio DGUAPC
- II-9 Russel E. J. Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de
las Plantas, Ed. Aguilar 4a. Edición 1968
- III-1 Reuso del Agua en la Agricultura, Primera y Segunda Eta-
pas elaborados por la Dirección General de Usos del Agua
y Prevención de la Contaminación, SRH, Años 1973 a 1975
- III-2 Manual de Fertilizantes, National Plant Food Institute, Edi-
torial Limusa 1974
- III-3 Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las plantas,
Russel E. J. ED Aguilar 4a. Edición 1968.