

01149
0027
65

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
SECCION DE: INGENIERIA AMBIENTAL.

9/1

USO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN IRRIGACION AGRICOLA.

TRABAJO PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA OBTENER-
EL GRADO DE MAESTRO EN-
ING. SANITARIA POR:

ING. LUIS RAUL HERRERA MARTINEZ.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NOVIEMBRE DE 1980.



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.

C O N T E N I D O :

INTRODUCCION:

- I.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y AGUAS NEGRAS.
 - I.1.- Características de las aguas residuales.
 - I.2.- Características de las aguas negras.
- II.- ALTERNATIVAS DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES.
 - II.1.- Las aguas residuales y el medio ambiente.
 - II.2.- Disposición de las aguas negras y aguas residuales.
 - II.3.- Reuso de las aguas negras y aguas residuales.
- III.- CARACTERISTICAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA.
 - III.1.- Características de los suelos de cultivo.
 - III.2.- Principales nutrientes en los suelos de cultivo.
 - III.3.- Causas principales en el deterioro de los suelos agrícolas.
 - III.4.- Calidad del agua para riego agrícola.
- IV.- TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS PARA USO AGRICOLA.
 - IV.1.- Uso de aguas negras en la agricultura en México.
 - IV.2.- Calidad de las aguas de irrigación empleada en el distrito de riego número 30 de Valsequillo Puebla.
- V.- CULTIVOS RECOMENDABLES Y PRECAUCIONES AL USAR AGUAS RESIDUALES EN RIEGO AGRICOLA.
 - V.1.- Los cultivos y su clasificación.
 - V.2.- Cultivos recomendables con riego de aguas residuales.
 - V.3.- Precauciones en el riego con aguas residuales.
- VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- VII.- BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

El presente trabajo tiene como finalidad hacer un resumen bibliográfico sobre el uso de las aguas negras en la agricultura tomando en cuenta la gran variedad de disposición que se le da a este tipo de agua residual. Sin embargo cualquiera que -- fuese el método seleccionado en la disposición final de las -- aguas negras éste está sujeto a las condiciones ambientales y del lugar.

Cuando se cuenta con grandes cuerpos receptores de agua -- con condiciones de aireación e iluminación, resulta fácil y -- económico hacer las descargas sin tratamiento o un tratamiento limitado; pero en la actualidad se encuentran grandes limita-- ciones a medida que aumentan los volúmenes de aguas residuales municipales por el aumento demográfico.

Por lo anterior descrito, surge la necesidad de analizar las diferentes formas de tratamiento y disposición de las --- aguas negras que aumentan a medida que aumenta la población y como consecuencia aumenta la demanda de agua potable para su-- ministro doméstico. Por otro lado la situación en el país nos permite canalizar determinadas alternativas sujetas a las ca-- rencias de ciertos recursos como es el caso que la mayor canti-- dad de agua que se demanda es para la producción de energía -- eléctrica, como segundo lugar en el uso agrícola, que es men-- ción de análisis en este trabajo.

La agricultura que es una de las principales actividades productoras en México, es necesario incrementarla haciendo uso de la tecnología y recursos adecuados como es el caso del --- empleo de aguas negras para riego, ya que cada día se tienen -- mayores volúmenes de aguas residuales disponibles y su trata-- miento es costoso, por lo tanto es necesario investigar y ade-- cuar sistemas de tratamiento de las aguas negras con fines de uso agrícola que resuelve el problema de contaminación del me-- dio acuático y al mismo tiempo aumenta la producción agrícola.

La aplicación de las aguas negras en la agricultura, aun-- que es una forma de aprovechamiento, también tiene sus limitacio-- nes como son las variaciones en estiaje y época de lluvia, la--

calidad de los suelos agrícolas, la fisiología y producción de la planta, problemas que deben investigarse para poder llevar a la par el tratamiento de aguas residuales y el aumento de la producción agrícola.

.....

.....

--

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y AGUAS NEGRAS.

I.1.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.- Se llama agua residual al líquido de composición variada proveniente del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

Origen de las aguas residuales.- La composición de un agua residual puede ser muy variada dependiendo del uso original que a ésta se le haya dado, como lo expresa implícitamente la definición que el agua residual es una mezcla del agua usada como abastecimiento doméstico, agrícola, corrientes pluviales, infiltraciones subterráneas, desechos pecuarios, industriales, etc. por lo tanto su característica depende del desecho dominante. En una zona residencial predominarán las características de las aguas domésticas, en cambio la composición de las aguas residuales de una zona industrial es diferente a una zona agrícola.

Los resultados sobre las características de las aguas residuales (6) se describen en la tabla número 3 y sugieren algunas consideraciones de gran interés como son:

- a).- La DBO es ligeramente más alta que la reportada en la literatura de aguas domésticas de países desarrollados; esto puede explicarse por el menor consumo per cápita de agua en las comunidades aquí consideradas.
- b).- La relación de la DBO_5 y la DQO es 0.75 y la proporción DBO; nitrógeno y fósforo es de 100; 16 : 9.8 lo que indica una disponibilidad adecuada de nutrientes. Con respecto a las características de las aguas residuales de las zonas industriales se tienen pocos datos ya que su composición es también función de la variabilidad del proceso, edad del equipo y por el tipo de productos elaborados.

I.2.- CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS NEGRAS.- Son las aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación y que no han sido utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios (12) pero la obtención de un agua con estas características es difícil en la actualidad, ya que esto implicaría tener sistemas de alcantarillado separado porque actualmente se cuentan con sistemas colectores mixtos en poblaciones de 10,000 a 50000 habitantes donde solo el 53.1 % cuenta con sistema de alcantarillado. Sin embargo una población de estas dimensiones (50,000 habitantes) cuenta con una serie de pequeñas industrias que sus desechos residuales modifican las características de las aguas negras propiamente dichas. En este trabajo, después de esta aclaración, se considera como agua negra aquellas aguas residuales que se generan en poblaciones de 10,000 habitantes o más que es donde el sistema de alcantarillado es funcional, que si bien es cierto que hay descargas industriales o de otra naturaleza la predominante son las aguas negras desde luego quedando excluida en esta consideración las aguas residuales de corredores, ciudades y parques industriales. Las aguas negras contienen por lo general sólidos en suspensión y solución en un porcentaje aproximado de 0.1 % ; esta pequeña cantidad las convierte en aguas peligrosas para su uso inmediato, por lo que la tendencia es eliminarla por medio de alcantarillados . Puede decirse en general, que el agua que ha sido empleada para fines domésticos, sufre una transformación en su contenido biológico que hace peligrosa por contener organismos patógenos que por otro lado, si las aguas han sido empleadas para fines industriales, modifican substancialmente su calidad físico-química haciendo que las aguas negras sean de calidad variable y compleja.

Las aguas negras tienen como ventaja importante que se encuentran disponibles para su aprovechamiento siempre en volúmenes crecientes, ya que a medida que el abastecimiento de una población aumenta, se generan mayores volúmenes

de aguas negras que es posible aprovechar. Sin embargo, su empleo masivo en el riego, plantea algunos problemas. Para proteger las tierras de cultivo y los productos agrícolas es necesario que las aguas que se utilicen satisfagan determinadas normas de calidad en lo que respecta principalmente a su contenido salino.

Los análisis de las aguas negras en el valle de México se iniciaron desde hace 20 años aproximadamente, posteriormente se hicieron análisis en la región del Mezquital Hidalgo. En la tabla número 3 se presentan algunos valores de las características de las aguas residuales municipales (6) .

ALTERNATIVAS DE DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES.

II.1.- LAS AGUAS RESIDUALES EN EL MEDIO AMBIENTE.- Si consideramos que medio ambiente es todo aquello que nos rodea como son: la atmósfera, fuentes de abastecimiento de agua, espacios abiertos, zonas de ruido, zonas olorosas, zonas microbiológicas, zonas verdes, exposición solar, zonas productivas y situaciones de otra índole. Es importante que cualquier alteración del estado natural de uno o varios componentes del medio ambiente puede traer como consecuencia efectos nocivos a la salud humana o bien alteraciones en el sistema ecológico.

Las fuentes de abastecimiento de agua como parte del medio ambiente se ven afectadas por el incremento demográfico - (3%) debido al uso ineficaz del agua, por el mal diseño u operación en los sistemas de riego, por desconocimiento de las necesidades de agua de los cultivos y la falta de coordinación entre las fases constructivas y agrícolas del riego y del drenaje.

El uso del agua por el hombre altera el ciclo hidrológico e influye en el medio ambiente ya sea positiva o negativamente. Los efectos positivos pueden ser comprobados a diario, mientras que los negativos son a veces menos visibles, pero se traducen en problemas como los cambios en el régimen total de las aguas que producen crecidas o sequías, cambios en el microclima, saturación de suelos, peligros sanitarios, deterioro de los recursos hídricos por manejo inadecuado de las cuencas y falta de conservación de los suelos, destrucción de los recursos acuíferos por sobre explotación de las capas provocando la intrusión de agua salada en los acuíferos costeros o su reducción con la siguiente disminución de la capacidad de almacenamiento aumentando la erosión y la salinización.

Estos efectos destructivos relacionados entre sí, serán más notorios mientras mayor empleo se haga del agua. El hombre ha mejorado sus condiciones de vida controlando y aprovechando el agua, pero al mismo tiempo ha alterado su equilibrio natural en el mayor de los casos en su propio detrimento. Los grandes volúmenes de agua que utiliza en

su mejoramiento, los altera en sus propiedades naturales convirtiéndolas así en las aguas residuales que conocemos que son perjudiciales para la salud humana y el sistema ecológico acuático.

Las aguas residuales que forman parte del medio ambiente son nocivas para la vida, ya que originan problemas en el zooplacton en lagos, lagunas y ríos por las altas --- concentraciones de materia orgánica y sustancias tóxicas en muchos casos, causan malos aspectos de coloración, originan malos olores y producen enfermedades en la humanidad como son: fiebre tifoidea, disentería, cólera y --- varios tipos diarreicos llamados gastroenteritis.

II.2.- DISPOSICION DE LAS AGUAS NEGRAS Y AGUAS RESIDUALES.

La disposición de las aguas negras y aguas residuales -- dependiendo del volumen, composición y condiciones del -- lugar se puede disponer de los métodos siguientes: (13)

a).- Disposición por dilución.

b).- Reuso del agua.

c).- Disposición subsuperficial.

d).- Disposición para irrigación.

a).- El método de disposición por dilución consiste en -- descargar las aguas residuales en aguas superficiales -- como son: ríos, lagos y océanos. Este método trae como -- consecuencia la contaminación de las fuentes receptoras, cuyo grado de contaminación depende del volumen del agua descargada de la concentración de los contaminantes (com -- posición) y de las condiciones del cuerpo receptor. Si -- las condiciones del cuerpo receptor como aireación e ilu -- minación son deficientes, ocurren descomposiciones anaero -- bias produciendo olores desagradables y mal aspecto de -- las aguas, además persiste la posibilidad de microorganismos patógenos que pueden originar epidemias a la humani -- dad. Cuando se emplea este método en la disposición de -- aguas residuales, se emplean modelos matemáticos para de -- terminar las condiciones críticas de oxígeno disuelto y concentraciones de contaminantes en las descargas para -- calcular el equipo y proceso de tratamiento en caso neces -- sario.

b).- El reuso de agua residual puede considerarse como un método de disposición, aunque casi es imposible usarlo directamente debido a sus características, por lo tanto, para el reuso es necesario darle un tratamiento.

c).- Cuando el volumen de las aguas negras es limitado, se emplea en su disposición el método subsuperficial que consiste en llevar a las aguas residuales por debajo de la superficie de la tierra por medio de excavaciones o enlosados. Este método tiene aplicación en aguas residuales de instituciones y residencias.

d).- La agricultura es una fuente donde puede emplearse las aguas residuales dependiendo de la calidad y la composición de éstas, además si las condiciones de topografía son favorables para el empleo de este método.

La aplicación de las aguas residuales a la agricultura puede considerarse como un reuso del agua ya que en la mayoría de los casos se necesita un pretratamiento.

Este método consiste en derramar las aguas negras sobre los terrenos de cultivo donde son aprovechados los nutrientes y principalmente la humedad del suelo.

El método es apropiado en poblaciones relativamente chicas o bien cuando en las inmediaciones de éstas se cuenta con zonas áridas o semiáridas en las que tienen un gran valor las aguas agregadas al suelo. Debe considerarse en este caso que las aguas negras propiamente dichas son valiosas para los suelos áridos, mientras que las aguas residuales tienen sus limitaciones según su composición, debido a los desechos industriales que juegan un papel importante en el deterioro de los suelos de cultivo, como se menciona posteriormente.

A pesar del alto valor nutriente de las aguas negras, tienen la desventaja de los microorganismos patógenos que en ellas se desarrollan y que deben tomarse en cuenta en los cultivos que son consumidos sin previo cocimiento.

II.3.- REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.- El reuso del agua residual puede ser clasificado como:

- 1.- Municipal.
- 2.- Industrial.

3.-Agrícola.

4.-Recreacional.

5.-Recarga de acuíferos.

El reuso de las aguas residuales en abastecimientos domésticos no es usado en la práctica debido que se tiene una fuerte limitante que el costo del tratamiento, debido a que se necesita un tratamiento terciario que es lo que hace que se tenga un agua demasiado cara, aunque actualmente sí se cuenta con la tecnología necesaria para convertir un agua residual municipal en agua potable.

La industria es uno de los reusos más importantes que se da a las aguas residuales tratadas, principalmente en los sistemas de enfriamiento, la agricultura es otra alternativa para que el uso de las aguas residuales municipales, ya que en México se cuenta con más de medio siglo en usar las aguas residuales en irrigación agrícola, sin conocerse con precisión los efectos de este tipo de agua en los diferentes cultivos. Actualmente las aguas residuales municipales se emplean en irrigación agrícola sin ningún tratamiento, al no ser el de los propios cauces naturales que en algunas regiones son muy efectivos.

Aunque en menor escala, el reuso recreacional en parques y jardines es importante así como el reuso del agua como recarga de acuíferos.

CAPITULO III •

CARACTERISTICAS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA.III.1.- CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DE CULTIVO (4).

La composición de los suelos es tan variada que no puede darse una composición general fija porque depende de la zona de localización, las condiciones en su formación y el tipo de vegetación que se desarrolla. Predominantemente contienen partículas derivadas de la descomposición de rocas ígneas primarias producidas en períodos geológicos anteriores sometidas a ciclos de descomposición y erosión, los suelos por consiguiente pueden constar de cuatro partes.

- 1.- Materia mineral derivada de roca.
- 2.- Carbonato de calcio y fosfato y algunos compuestos orgánicos resistentes derivados de plantas y organismos presentes en períodos anteriores.
- 3.- Residuos de plantas y microorganismos resistentes incorporados.
- 4.- El agua edáfica que constituye una solución de las varias sales solubles y parcialmente solubles que existen en el suelo.

Hasta aquí el suelo se ha presentado como constituido por una masa de partículas, pero debe tenerse presente otro aspecto de importancia mucho más fundamental desde el punto de vista del suelo como medio para el crecimiento de las plantas y como consecuencia para el desarrollo de las raíces. Bajo este aspecto, el suelo es una red de canales llenos de aire y agua encuadrados por superficies sólidas y sus propiedades dependen de esta red interconexa, llamado espacio de poros, así como los mecanismos que suministran los nutrientes para las plantas.

Los mecanismos que suministran nutrientes están sujetos a las características del suelo que depende del tamaño de las partículas llamadas textura del suelo; en base a ésta se clasifican los suelos en: limosos, francos y arcillosos.

III.2.- PRINCIPALES NUTRIENTES EN LOS SUELOS DE CULTIVO (4).

En los suelos de cultivo su textura permite ciertas propie

dades para el desarrollo de las plantas, principalmente - por los nutrientes que contienen además de carbono, hidrógeno y oxígeno que son indispensables para la vida se tienen los elementos minerales esenciales como son: nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, azufre, magnesio, hierro, boro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, cloro y otros.

EL NITROGENO.- Es esencial para el crecimiento de las plantas siendo un constituyente importante en las proteínas, - aminoácidos y por consiguiente de los protoplasmas. Los vegetales absorben el nitrógeno como iones nitrato o iones amonio.

EL POTASIO.- Es un elemento esencial en la nutrición de la planta, que se encuentra en cantidades pequeñas en el suelo limitando así el rendimiento de los cultivos, es por -- eso que debe añadirse como fertilizante. Este elemento no es un constituyente de la estructura de la planta, sino - que interviene únicamente en su metabolismo siendo importante en la síntesis de aminoácidos y proteínas, el potasio incrementa el contenido de azúcar en los vegetales -- mientras que el nitrógeno lo disminuye.

CALCIO.- Es esencial para el crecimiento de los meristemos y particularmente para el desarrollo y funcionamiento adecuado de los ápices de las raíces.

FOSFORO.- El fósforo se suministra como ortofosfato, es un constituyente del núcleo celular, siendo esencial para la división de las células, para el desarrollo de los tejidos meristemáticos y en un gran número de reacciones enzimáticas que dependen de la fosforilización; las plantas absorben el fósforo en forma de iones $H_2PO_3^-$.

AZUFRE.- Este elemento es esencial de muchas proteínas es suministrado como sulfatos; su deficiencia en las plantas presenta la amarillez del té.

MAGNESIO.- Es necesario en todas las plantas verdes por - ser un constituyente de la clorofila; es importante en el transporte de fosfato en la planta.

HIERRO.- La deficiencia de hierro se muestra como una clo-

rosis típica particularmente sobre suelos calizos, es aplicable como aspersión del sulfato de amonio o la inserción de pastillas de citrato o tartrato de hierro.

BORO.- Es esencial para todas las plantas en mayor o menor grado, la ausencia de boro afecta a los meristemas o tejidos en división activa, el suministro en caso de escasez debe hacerse en abomas pequeños para evitar efectos tóxicos con concentraciones elevadas .

MANGANESO.- Es importante por las funciones que desempeña en la planta como ser constituyente de algunas enzimas respiratorias, enzimas en la síntesis de proteínas, se puede suministrar por aspersión de sulfato de manganeso. La principal causa que gobierna la presencia del manganeso es el pH ; cuanto más ácido es el suelo hay más accesibilidad del manganeso.

ZINC.- Actúa en algunas enzimas respiratorias. La deficiencia de este elemento es subestimada debido a que el sistema radicular con facilidad puede obtenerlo del suelo.

COBRE.-El cobre es importante porque desempeña dos funciones, una relacionada directamente con la nutrición de las plantas y la otra con los caracteres del suelo; es importante porque actúa en las enzimas de óxido-reducción . Se suministra al suelo como sulfato de cobre .

MOLIBDENO.- Importante en el crecimiento de algunas plantas, actúa en la enzima que facilita la reducción de los nitratos y en los organismos fijadores de nitrógeno que requieren de molibdeno para este proceso. La deficiencia de molibdeno produce una deformidad conocida por Whiptail.

CLORO.-Actúa en forma de cloruros siendo su función principal regular la presión osmótica y el equilibrio de cationes en el jugo celular y en las mismas células de la planta. Los cloruros son suministrados como cloruro sódico.

Las dosis aproximadas de estos elementos se muestran en la tabla de: " ELEMENTOS MINERALES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS VERDES " (3) .

III.3.- CAUSAS PRINCIPALES EN EL DETERIORO DE LOS SUELOS AGRICOLAS.

El deterioro de los suelos de cultivo puede ocurrir por causas debidas a la naturaleza misma o bien por la intervención humana por medio de la contaminación del ambiente, particularmente del suelo.

El deterioro de los suelos por fenómenos naturales resulta difícil, lento, costoso y a veces imposible evitarlo con la tecnología que se tiene actualmente, sin embargo, es motivo de observación e investigación para evitar al máximo que estos fenómenos ocurran con toda su extensión siendo principalmente:

Topografía del terreno.

Clima del área.

Textura del terreno.

Período libre de heladas.

Temperaturas mínimas nocturnas.

Vientos intensos.

Profundidad del suelo.

Provisión adecuada de oxígeno en el suelo.

Concentración adecuada de anhídrido carbónico en el aire del suelo (1 a 2 %).

Población microbiana.

Procesos químicos de su formación.

Espacios aéreos del suelo (textura).

Sistema de drenaje.

Erosión.

También se deterioran los suelos agrícolas por intervención humana al contaminar el suelo ya sea alterando la composición del agua de riego, no devolviendo los nutrientes extraídos por las cosechas, alterando los microorganismos del suelo o bien cualquier otro factor que exceda los límites de los parámetros que se muestran en la tabla No. 6 ; como puede verse en esta tabla cuando se excede la tolerancia fijada en alguno de estos parámetros se incurre en el deterioro de un suelo agrícola.

III.4.- CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA.

La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes químicos que contenga. Por tanto, la calidad del agua es una

consideración importantísima para la investigación de -- las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego.

Las características más importantes que determinan la -- calidad del agua para riego son: (2)

- 1.- Concentración total de sales solubles.
- 2.- Concentración de sodio intercambiable a otros cationes.
- 3.- Concentración de Boro y otros elementos tóxicos.
- 4.- Concentración de bicarbonatos con relación a concentración de calcio y magnesio bajo ciertas condiciones.

Concentración total de sales solubles en agua de riego.- Este parámetro puede expresarse en término de la conductividad eléctrica, la cual se puede determinar en forma rápida y precisa.

Las aguas de riego que se han usado por mucho tiempo --- tienen una conductividad eléctrica menor de 2,250 micromhos/cm.

Un suelo es salino cuando la conductividad de su extracto de saturación es mayor de 4 milimhos/cm. o 4000 micromhos/cm. Se ha encontrado que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo, en ausencia de -- acumulación de sales provenientes del agua subterránea, -- es generalmente de 2 a 10 veces mayor que la correspondiente al agua con que se ha regado. Este aumento en la -- concentración de sales es el resultado de la extracción -- continua de la humedad por las raíces y por la evaporación. Por lo tanto el uso de agua entre moderada y altamente salina, puede ser la causa de que se desarrollen -- condiciones de salinidad, aún cuando el drenaje sea satisfactorio.

Las aguas cuya conductividad eléctrica varía entre 750 y 2,250 micromhos/cm son comunmente utilizadas, -- obteniéndose con ellas crecimientos adecuados de las --- plantas siempre y cuando haya buen manejo de la tierra y drenaje eficiente. Es necesario hacer lavados para sue--

los en que no existe precipitación de sales, que está directamente relacionado con la conductividad eléctrica del agua de riego como se muestra a continuación:

NECESIDADES DE LAVADO.- La necesidad de lavado puede definirse como la fracción del agua de riego que debe percolarse a través de la zona de las raíces para controlar la salinidad a un determinado nivel. Las necesidades de lavado para valores específicos de conductividad eléctrica de aguas de riego y aguas de drenaje, se encuentran en el siguiente cuadro, determinados por la ecuación:

$$NL = \frac{CEar}{CEad}$$

NL = necesidades de lavado.

CEar y CEad = conductividades eléctricas de agua de riego y agua de drenaje.

NECESIDAD DE LAVADO CON RELACION A LAS CONDUCTIVIDADES ELECTRICAS DE LAS AGUAS DE RIEGO.

Conductividad eléctrica de agua para riego. Micromhos/cm.	Necesidad de lavado para los valores máx. indicados en la cond. eléctrica del agua de drenaje en la parte inferior de la zona radicular del cultivo.			
	4 mmhos/cm. %	8 mmhos/cm. %	12mmhos/cm. %	16 mmhos/cm. %
100	2.5	1.2	0.8	0.6
250	6.2	3.1	2.1	1.6
750	18.8	9.4	6.2	4.7
2250	56.2	28.1	18.8	14.1
5000	---	62.5	41.7	31.2

CONCENTRACION RELATIVA DE SODIO CON RESPECTO A OTROS CATIONES. Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son: calcio, magnesio, sodio y en pequeñas cantidades el potasio. Los aniones principales son: carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros y en menor cantidad nitratos y fluoruros.

El peligro de sodificación en el uso de una agua de riego, que da determinada por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la proporción de sodio es alta, será mayor el peligro de sodificación y al contrario, si predominan el calcio y el magne

sio el peligro es menor. La importancia de los constituyentes catiónicos de un agua de riego con relación a las propiedades físicas y químicas del suelo, se reconoció mucho antes de que las reacciones del intercambio catiónico fueran bien comprendidas. Scofiel y Headdy resumieron el resultado de varios experimentos para recuperación de suelos sódicos, diciendo: "Las aguas duras hacen tierras blandas y - las aguas blandas las endurecen".

Los suelos sódicos se forman por acumulación de sodio intercambiable y con frecuencia se caracterizan por su baja permeabilidad y difícil manejo.

Anteriormente la proporción relativa de sodio con respecto a - otros cationes en el agua de riego, se expresaba en términos del % de sodio soluble. Sin embargo la relación de absorción de sodio --- (RAS) en una solución del suelo, se relaciona con la absorción de sodio y en consecuencia, esta relación puede usarse como "índice de sodio" o peligro de sodificación que tiene dicha agua, esta relación se expresa de la siguiente forma:

$$R A S = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}}$$

en la cual Na^+ Ca^{++} Mg^{++} representan las concentraciones en mili-equivalentes / litro de iones respectivos.

En la figura 1 se presenta un nomograma para determinar el valor de la RAS en un agua para riego. En el nomograma de la figura opuesta a la escala de la RAS, se encuentra la escala del % de sodio intercambiable (PSI) en la cual la relación entre RAS y PSI está dada por:

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)}$$

Esta ecuación empírica se usó para establecer las relaciones entre las escalas PSI y RAS. Una vez determinada la RAS de una agua para riego usando el nomograma se puede calcular en la escala central el valor del PSI de un suelo que esté en equilibrio con el agua para riego. Sin embargo, es de esperarse que esta condición no se presente con frecuencia en el campo, porque la solución del suelo casi siempre posee mayor concentración que el agua para riego.

CONCENTRACION DE BORO Y OTROS ELEMENTOS TOXICOS.

El boro se encuentra en casi todas las aguas naturales y su concentración varía desde trazas hasta varias partes por millón, es esencial para el crecimiento de las plantas pero demasiado tóxico cuando excede ligeramente del nivel óptimo. Eaton encontró que muchas plantas crecen normalmente desde 0.03 hasta 0.04 ppm pero que se presenta toxicidad cuando la concentración llega 1 ppm. En la tabla 4 se dan las dosis propias de toxicidad del boro y otros elementos en diferentes cultivos .

CONCENTRACION DE BICARBONATOS CON RELACION A LA CONCENTRACION DE CALCIO Y MAGNESIO BAJO CIERTAS CONDICIONES.

En las aguas ricas en iones bicarbonato hay la tendencia del calcio y del magnesio a precipitarse en forma de carbonatos a medida que la sal del suelo se vuelve más concentrada. Esta reacción no se completa totalmente en circunstancias ordinarias, pero a medida que va teniendo lugar, las concentraciones de calcio y magnesio se va reduciendo, aumentando así la proporción relativa de sodio.

$$\% \text{ de sodio encontrado} = \frac{\text{Na}^+ \times 100}{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+)}$$

$$\% \text{ de sodio posible} = \frac{\text{Na}^+ \times 100}{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+) - (\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-)}$$

Donde la resta de $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ no debe exceder $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$

Carbonato de sodio residual $\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{CO}_3 + \text{HCO}_3 - \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$

En estas relaciones los constituyentes iónicos se expresan en miliequivalentes / litro.

Usando el término de carbonato de sodio residual, Eaton concluye que las aguas con más de 2.5 m.e./l/ de carbonato de sodio residual no son buenas para riego; aguas de 1.25 a 2.5 m.e./l. son dudosas y aguas que contienen menos de 1.25 m.e./l. son buenas para riego.

CAPITULO IV

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS PARA USO AGRICOLAIV.1.- Uso de las aguas residuales municipales en la agricultura en México.

El uso de las aguas residuales municipales en la agricultura se ha practicado desde hace años en la irrigación de los cultivos, empleándose directamente sin previo tratamiento. Sin embargo, en la actualidad se conoce poco sobre los efectos que éstos causan sobre todos y cada uno de los cultivos donde son empleados.

Es una alternativa apremiante el uso de aguas residuales municipales en la irrigación agrícola por plantear el aumento de la producción y al mismo tiempo ayudar al control y purificación de las aguas residuales a bajo costo. Desde luego existen muchas limitaciones en el sistema purificación-producción de las aguas en la agricultura dependiendo de muchos factores como son: (6)

- a).- marco legal.
- b).- infraestructura.
- c).- tecnología disponible.
- d).- situación financiera

Marco Legal.- Es de primordial importancia los instrumentos jurídicos que regulen los problemas de la contaminación ambiental, porque del grado de funcionalidad de éstos depende que los asesores técnicos puedan establecer las relaciones entre la purificación de las aguas residuales municipales y la producción agrícola. En la actualidad se cuenta con el reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas, vigente desde 1973; este reglamento demanda la instalación de plantas de tratamiento primario para las descargas de aguas residuales que excedan los límites permisibles de los siguientes parámetros.

PARAMETRO	MAXIMOS TOLERABLES
Sólidos Sedimentables	1 ml/ml
Grasas y Aceites	70 mg/l
Materia Flotante	ninguna mayor de 3 mm.
Temperatura	35°C
Potencial Hidrógeno pH	4.5 - 10

Como puede verse, estas normas son de carácter general para todo el país, sin embargo, cuando se tiene un agua residual, su disposición ya sea a un cuerpo receptor o -- sistema de tratamiento, éste debe hacerse de acuerdo a -- las condiciones particulares ambientales del lugar y pará metros a controlar; en este caso es la autoridad competen te quien fije los máximos tolerables de cada uno de los -- parámetros.

Además, en un agua de riego agrícola se deben contro-- lar mas parámetros y algunos con ciertas variaciones a -- los especificados por el reglamento ya que no tiene senti do hablar de las normas de calidad del agua si no se cono ce su uso o disposición final.

Infraestructura. El uso de aguas residuales municipa les así como la aplicación de las normas vigentes implica contar con una infraestructura que permita el control de las descargas residuales de 2000 localidades consideradas como urbanas de acuerdo al IX Censo general de población de 1970 que fue el siguiente:

Rango de Población (hab)	Población Total (millones hab.)	Población Total (%)	Número de Localidades	Clasificación
2,500	19.9	41.2	95,400	Rurales
2,500-10,000	6.6	13.6	1,476	Urbanas
10,000-50,000	4.7	9.8	251	Urbanas
50,000-100,000	2.1	4.4	30	Urbanas
100,000-1,000,000	6.0	12.4	61	Urbanas
1,000,000	9.0	18.6	3	Urbanas
TOTAL	48.2	100.0	97,228	

Estas estadísticas han sufrido alteraciones para 1981 por el crecimiento y por la gran emigración de habitantes rura les a las zonas urbanas incrementando así las descar gas de aguas rrsiduales municipales tomando en cuenta que en 1970 el 50% de la población contaba con servicios de agua potable y el 25% con servicio de alcantarillado, -- para 1982 se estima que el 65% de la población contará -- con agua potable y el 42 % con servicio de alcantarilla do. Estos datos, sujetos a variantes que se rectificarán con las estadísticas del X censo general de 1980, el cual permitirá precisar los cálculos de programas de saneamien

to básico en el área rural tanto de agua potable y alcantarillado.

Con respecto a los sistemas de tratamiento de las aguas residuales en México, se estima que existen alrededor de 80 plantas de tratamiento, el 75 % de los sistemas fueron diseñados para controlar la contaminación ambiental; el 25 % tiene como finalidad el uso de las aguas en la industria, riego de áreas verdes y llenado de lagos en parques recreativos. El 96 % de estas instalaciones tienen tratamiento biológico para la disminución de la DBO como se indica (6).

<u>TIPO DE SISTEMA</u>	<u>NUMERO DE INSTALACIONES</u>
Algún tipo de laguna biológica	27
Lodos activados	22
Tanques Imhoff	16
Filtros Rociadores	4
Sedimentadores Primarios	3
Emisores Submarinos	2
Zanja de Oxidación	1

Es de mencionar que muchos de los sistemas de tratamiento funcionan inadecuadamente o han sido abandonados, solamente un 75 % se encuentran en operación debiéndose principalmente a la falta de organización en la administración, operación y mantenimiento.

La mayoría de los sistemas de drenaje municipal en el país se conectan a cuerpos receptores a través de pequeños cauces naturales que sirven de medio de transporte para alejar las aguas residuales urbanas. Estos cauces naturales son interceptados para usar sus aguas sin previo tratamiento en irrigación agrícola en las zonas rurales circunvecinas.

En México existe una tendencia a implantar sistemas de tratamiento convencional para el control de la DBO en las aguas residuales municipales, sin embargo estos procesos producen un reducido efecto en la calidad del agua empleada para la irrigación de cultivos por la indeseable remoción de materia orgánica y nutrientes.

Tecnología Disponible.- La tecnología disponible actualmen

te es suficiente para descontaminar cualquier tipo de agua residual y así adecuarla a las características necesarias para su reuso, que en este caso sería el riego agrícola, - pero la limitante fundamental es el costo de tratamiento por lo que se necesita buscar sistemas de tratamiento barato y un reuso más redituable económicamente, en la tabla 5 se muestran las alternativas de plantas de tratamiento - convencional de aguas residuales de acuerdo al nivel de tra tamiento, objetivo, costo y atención requerida.

Estos procesos están orientados a reducir los SSe, DBO y organismos patógenos, que de acuerdo a la tecnología disponible implica la necesidad de remover un alto % de contenido de materia orgánica antes de aplicar el proceso de clo ración con efectividad y en dosis económicamente factibles. Desde el punto de vista de la calidad de un agua para irri gación agrícola, los principales factores que deben conside rarse son: contenidos minerales y bacteriológicos.

Situación Financiera.- Este es el factor más importan te que debe considerarse en el uso de las aguas residuales municipales en la irrigación agrícola, por lo que debe es pecificarse con claridad y responsabilidad el financiamien to de estas obras. Actualmente el financiamiento se hace en forma :

a).- Oficial.

b).- Financiamiento Privado.

El financiamiento oficial considero que es la alterna tiva más apropiada para el tratamiento de aguas residuales municipales propiamente dichas, ya que tanto el municipio, estado y federación cuentan con los procedimientos legales establecidos. Además si los efluentes de las plantas de tra tamiento de aguas residuales municipales se destinan a irri gación agrícola, es el estado y la federación las dependen cias capaces de realizar obras de conducción y tratamiento en lugares desérticos y semidesérticos que actualmente no se tiene producción agrícola o bien se realiza en época de lluvias, pudiéndose convertir estas tierras de temporal en tierras de riego permanente.

También es el estado quien debe normar otra serie de problemas como son la concientización de los habitantes a través

de los medios de información e incentivar la producción agrícola con las aguas residuales municipales tomando en cuenta el problema de la tenencia de la tierra como la gran propiedad, pequeña propiedad y los terrenos comunales y ejidales.

El financiamiento privado debe considerarse principalmente a la rama industrial y comercial porque estas organizaciones tienen la capacidad económica para purificar el medio ambiente que ellos mismos contaminan, en este caso particular cumplir con las normas de calidad del agua de riego.

IV.2.-CALIDAD DE LAS AGUAS DE IRRIGACION EMPLEADAS EN EL DISTRITO DE RIEGO NUMERO 30 DE VALSEQUILLO PUEBLA. Son muchas las zonas donde las aguas residuales son empleadas en irrigación agrícola, como es la región del Mezquital Edo. de Hidalgo, donde se riega con las aguas residuales de la ciudad de México, los municipios aledaños de la ciudad de Cuernavaca, Morelos que se riega con las aguas residuales de esta ciudad y las aguas residuales industriales de CIVAC, las regiones de I. de Matamoros, Atlixco, Tecamachalco, Valsequillo y otros lugares del Edo. de Puebla, donde el riego se hace con aguas residuales de la ciudad de Puebla. Sin embargo, ninguna de estas zonas de riego con aguas residuales, tiene un control sobre el tratamiento de las aguas para este uso. La mayoría de las descargas se hace a los ríos o barrancos que son los medios de conducción natural, que posteriormente son interceptados por los agricultores para utilizar el agua en el riego de cultivos.

Se puede decir que el tratamiento de estas aguas es solamente el que se lleva a cabo por la misma naturaleza, a través de su recorrido, estancamiento y algunas caídas que presenta la topografía del terreno, con excepción de algunas presas de almacenamiento que actúan como estabilizadoras y grandes sedimentadores de las aguas residuales.

Las zonas agrícolas del valle de Puebla regadas con las aguas del río Atoyac y Zahuapan que sirven de cauce natural de las aguas residuales de varios poblados, pero con mayor influencia; San Martín Texmelucan Pue., Zahuapan Tlax., Ciudad de Tlaxcala, Apizaco Tlax., Cholula Pue., Ciudad de Puebla y otros (10).

La purificación natural del río Atoyac se debe a :

- a).- Recorrido de las aguas a través del cauce natural (río), con pequeños estancamientos debido a la topografía del terreno.
- b).- Cuenta con una caída de 20 metros en un lugar de denominado " Represa La Carmelita " que es donde se airea el agua con un aumento de 2 a 3 mg/l de O.D.
- c).- Se tiene un embalse " Presa Manuel Avila Camacho " que fue diseñada para almacenar los escurrimientos pluviales, sin embargo actualmente también actúa - como purificadora de las aguas del río Atoyac. Esta presa tiene las siguientes características (11):

En 1946.

Capacidad total de diseño	405×10^6	m^3
Capacidad útil (riego)	375×10^6	m^3 .
Volumen muerto	30×10^6	m^3

En 1970.

Capacidad total de operación	304×10^6	m^3
Capacidad útil (riego)	294×10^6	m^3
Volumen muerto	10×10^6	m^3

Tiempo de retención 4 meses, 5 días y 15 horas.

En la figura 2 se muestra el dibujo del embalse " Manuel Avila Camacho " proporcionado por la Secretaría de Agricultura y recursos Hidráulicos por medio de su representación General en Puebla; Subprograma de Protección y Ordenación Ecológica, a través del estudio denominado " La Calidad del Agua en el Embalse Manuel Avila Camacho " y su influencia sobre el Distrito de riego.

La tabla 8 muestra el análisis del agua tanto en la entrada como a la salida del embalse.

CAPITULO V

CULTIVOS RECOMENDABLES Y PRECAUCIONES AL USAR AGUAS RESIDUALES
EN RIEGO AGRICOLA.

V.1.-LOS CULTIVOS Y SU CLASIFICACION.- Existen diferentes clasificaciones de las plantas en base a sus distintas propiedades, pero en este caso los cultivos se clasifican de acuerdo a la alteración que sufren los suelos en su fertilidad, siendo estos: cultivos que agotan, conservan y rehabilitan el suelo (1).

Cultivos que agotan el suelo.- Son aquellos que destruyen la materia orgánica o provocan la pérdida de minerales en exceso de lo que necesitan para nutrirse. El término agotarse es relativo, ya que algunas plantas extraen más minerales de la tierra que otras; así, puede decirse que los cultivos de trigo, cebada, avena, centeno y arroz favorecen la erosión hasta cierto grado pero no causan tanto desgaste como el maíz y el algodón.

Todos los nutrientes que contiene una planta provienen del suelo a excepción del nitrógeno que algunas plantas lo obtienen del aire. De esta forma, para las plantas de un cultivo que se usan para alimento o forraje, la tierra donde se cultivan perderá los nutrientes como Calcio, Fósforo, Potasio y otros minerales, en caso contrario es decir que los cultivos se usen como abono verde entonces los suelos mantienen más o menos constante la proporción de nutrientes dependiendo en parte de las plantas cultivadas.

Los cultivos, el lixiviado y la erosión agotan el contenido mineral nutritivo de las tierras, por lo que es necesario añadir los minerales que faltan ya que no hay un cultivo capaz de aumentarlo. En realidad la cantidad de minerales extraído por las plantas es pequeño en comparación a las pérdidas por erosión, por lo que es necesario reponerla a través de los años.

Cultivos que conservan el suelo.- Se llaman así los cultivos que requieren la remoción mínima del terreno durante su proceso vegetativo. Las plantas que no requieren labores de cultivo tales como la alfalfa, trébol, lespideza, kudzú, eno y pasto conservan la materia orgánica del suelo lo cual es esencial. El concepto de conservación de suelos incluye el de

mantener su fecundidad, por lo que aquellos cultivos que mejor ayuden a mantenerla a la par que rindan cosechas utilizables son los que mejor conservan la materia orgánica y los minerales del suelo.

Cultivos que rehabilitan el suelo.- Estos cultivos son aquellos que mejoran la calidad de los suelos cuando se entierran verdes, debido a que ciertas plantas leguminosas acumulan nitrógeno el cual gran parte lo extraen del aire, ahora bien, debe tenerse cuidado en su cultivo para no dar lugar a la erosión y a la destrucción de la materia orgánica. Debe tenerse en cuenta que la rehabilitación solo se logra enterrando las plantas verdes, sin embargo la rehabilitación es un proceso lento, no es funcional en terrenos arenosos y de clima cálido ya que el cultivo se quema durante las labores de cultivo de una sola estación.

En general se puede decir que los abonos verdes conservan más bien que rehabilitan al suelo.

V.2.- CULTIVOS RECOMENDABLES CON RIEGO DE AGUAS RESIDUALES.- No resulta sencilla la sugerencia de cultivar algunas especies de plantas porque dependen de muchos factores tales como: textura del suelo, drenaje de las parcelas, composición química del suelo, condiciones climatológicas y técnicas de irrigación. Las técnicas de irrigación están sujetas a la composición de las aguas residuales principalmente sólidos disueltos, salinidad, sodio, magnesio, calcio, materiales tóxicos y nutrientes. Tomando en cuenta estos factores se ha encontrado algunos cultivos que se desarrollan favorablemente en suelos con altas concentraciones de sal como: cebada, algodón, remolacha azucarera, pastos y otros, así mismo se tienen cultivos que resisten a altas concentraciones de boro (4 ppm) tales como: espárrago, palmera, datilera, remolacha, betabel, alfalfa, gladiola, haba, cebolla, nabo, col, lechuga, zanahoria y otros. Sin embargo hay muchos cultivos que quedan por investigar cuando se riega con aguas residuales municipales.

Debe tenerse presente que los cultivos que aquí se mencionan están en función de su rendimiento en la cosecha, sin tomar en cuenta que algunos cultivos que son resistentes a materiales contaminantes por las aguas residuales, no deben culti-

varse por tener contacto sus frutos con el agua y el suelo, además se consumen sin hervir.

V.2.- PRECAUCIONES EN EL RIEGO CON AGUAS RESIDUALES.-Es necesario tomar precauciones en el manejo de aguas residuales municipales por los contaminantes potenciales que ésta tiene como sales disueltas, nitrógeno, compuestos orgánicos no tóxicos, compuestos tóxicos y microorganismos patógenos al hombre.

Más del 90 % de las bacterias son removidas a un centímetro de la superficie de un buen suelo. Sin embargo pueden ser necesarios varios pies de profundidad para una remoción casi completa de las bacterias que dependen de ciertas características como tipo de suelo, porosidad y drenaje. Algunos microorganismos como Salmonella dependen de un gran número de factores como temperatura, contenido de materia orgánica y el estado aerobio. Para estos microorganismos - ha sido observada su sobrevivencia en el suelo y tardan de seis meses hasta un año. Salmonella sobrevive en suelos -- fríos por largos periodos de tiempo en comparación a los - suelos cálidos, mientras que E. coli sobrevive más en suelos estériles que en suelos fértiles (7).

En base a las propiedades de los microorganismos patógenos de las aguas residuales deben tomarse ciertas precauciones (9):

- a).- Evitar al máximo el contacto directo con las aguas residuales en las operaciones de riego, ya que se ha encontrado que ciertos huevecillos especialmente de Ascárides lumbricoides, son resistentes a las condiciones ambientales y pueden infectar a las personas que los - ingieren, porque estos organismos no requieren de -- huésped intermedio.
- b).- Las aguas residuales municipales cuando sean aplicadas en irrigación de preferencia debe emplearseles en zonas áridas con buena aireación y condiciones de soleamiento para reducir la contaminación al máximo.
- c).- Cuando se cultivan productos regados con aguas negras deben emplearse métodos para lograr la disminución de

la contaminación bacterial en los productos tales como lavado con agua limpia, lavado con detergentes, el uso de desinfectantes y aplicación de calor cuando - sea posible.

- d).- No debe regarse con aguas negras a productos vegetales que se consumen crudos; en caso de hacerlo hay que dejar transcurrir un tiempo de seis meses del - último riego, dependiendo desde luego de las condiciones ambientales y del terreno.
- e).- Debe evitarse al máximo la humedad en los productos agrícolas almacenados, que fueron regados con aguas negras.
- f).- En las parcelas de cultivo regadas con este tipo de aguas debe implantarse un sistema de drenaje eficiente para evitar problemas de salinidad.
- g).- En las parcelas regadas con aguas negras deben efectuarse estrictamente todas las operaciones de movimiento del terreno así como el soleamiento necesario.
- h).- Los riegos con aguas negras deben suspenderse un mes antes de la cosecha.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones generales más relevantes que se consideran en este trabajo son el fruto de la información bibliográfica, y observación en algunas regiones donde se hacen prácticas de riego con aguas residuales. Sin embargo considero difícil dar conclusiones concretas, por que éstas obedecen a una serie de factores característicos de cada región y que muchos de ellos son todavía tareas de investigación. Tomando en cuenta estos factores tanto económicos, naturales y tecnológicos considero:

- 1.- Las aguas residuales municipales definitivamente deben canalizarse a irrigación agrícola por lo siguiente:
 - a).- Son buenas aportadoras de nutrientes. En la tabla 6 se muestra que de los seis macronutrientes que necesitan los vegetales, las aguas residuales aportan cinco y tres micronutrientes. Cuantitativamente se sabe que una capa de agua residual de cinco centímetros durante una semana aporta por cada hectárea el equivalente a: 233Kg. de nitrógeno, 224 Kg. de fósforo (P_2O_5) y 254 Kg. de potasio como óxido de potasio (7). Estos datos equivales a una aplicación anual de fertilizante comercial equivalente a 2,200 Kg./Ha. de 10-10-10*.
 - b).- Los nutrientes aportados por aguas residuales municipales son más resistentes al lavado y su duración en las parcelas según las condiciones, tarda de 2 a 4 -- años.
 - c).- Debe tenerse en cuenta que no todas las regiones tienen la misma capacidad para irrigación con aguas negras.
 - d).- Ayudan a resolver el problema de la contaminación de las aguas.
- 2.- Se necesita una política a nivel nacional que desde un punto de vista legal involucre:
 - a).- Un estudio en el país para que se defina que regiones, zonas, distritos, etc. son los apropiados para que las aguas residuales sean empleadas en irrigación.

- b).- Que las zonas excluidas en el inciso (a) cumplan con las tolerancias fijadas por la ley en los procesos de tratamiento en la purificación del ambiente.
 - c).- Que se cuantifique con claridad la infraestructura que se necesita en cada una de estas zonas o regiones.
 - d).- Definir el financiamiento, incentivos, organización y concientización entre los productores agrícolas y las dependencias encargadas del control de las aguas residuales.
- 3.- Es necesario iniciar o incrementar la investigación sobre este campo principalmente (6):
- a).- Estudios de oferta y demanda de las aguas residuales - municipales ya que una es constante y la otra variable y así definir la infraestructura en las distintas zonas del país.
 - b).- Desde hace tiempo y en distintas regiones del país se ha irrigado con aguas negras, por lo que es necesario investigar los efectos en los suelos y las variaciones de rendimiento en los cultivos.
 - c).- Determinar el grado de contaminación de los cultivos cuando se emplean aguas negras en el riego.
 - d).- Hacer estudios de supervivencia de los microorganismos patógenos tanto en cultivos, suelos y aguas.
 - e).- Evaluar los efectos que ocasiona la irrigación con aguas negras tanto a los agricultores como a los consumidores de productos agrícolas.
 - f).- Investigar las técnicas de irrigación y de tratamiento de las aguas negras o bien revisar y adaptar las que se conocen actualmente para reducir los problemas al mínimo en irrigación.
- 4.- Se recomienda el tratamiento natural de las aguas negras empleadas en irrigación agrícola, por los resultados obtenidos en el distrito de riego No. 30 de Valsequillo Puebla, como se muestra en la sección IV-2.

* Relación de nitrógeno, fósforo y potasio.

TABLA 1

DEMANDA DE AGUA EN DIVERSOS USOS EN MEXICO (5).

USOS	DEMANDA EN MILLONES DE m ³			
	año 1970	%	año 1980	%
MUNICIPAL	2 375	1.9	4 200	2
INDUSTRIAL	2 625	2.1	5 250	2.5
AGRICOLA	44 750	35.8	62 160	29.6
GENERACION DE ENERGIA	75 250	60.2	138 290	65.9
TOTAL	125 000.00	100.00	210 000.00	100.00

TABLA 2

ELEMENTOS MINERALES REQUERIDOS POR LAS PLANTAS VERDES (3).

ELEMENTO	NIVEL APROXIMADO NECESARIO. ^a	PAPEL EN LAS FUNCIONES DE LA PLANTA.
		MACRONUTRIENTES.
NITROGENO	15	en protefnas, coenzimas, ácidos nucleicos, etc.
POTASIO	5	activa a ciertas enzimas en la glicólisis; importante en los potenciales de las membra nas.
CALCIO	3	en la estructura y propiedades de permeabi- lidad de las membranas; estructura de la la minilla media.
FOSFORO	2	en los ácidos nucleicos, en las coenzimas en la ATP y en substratos metabólicos.
AZUFRE	1	en protefnas; en coenzimas para metabolis- mos de carbohidratos y lípidos.
MAGNESIO	1	en la clorofila; Mg^{2+} es un cofactor neces rio para muchas enzimas.

ELEMENTO

NIVEL APROXIMADO
NECESARIO.^a

PAPEL EN LAS FUNCIONES DE LA PLANTA

ELEMENTO	NIVEL APROXIMADO NECESARIO. ^a	PAPEL EN LAS FUNCIONES DE LA PLANTA
		MICRONUTRIENTES.
HIERRO	0.1	en enzimas de la cadena de transferencia de electrones (citocromos, ferredoxina) nitrogenasa etc.; esencial para la síntesis de la clorofila.
BORO	0.05	desconocido (posiblemente para la formación de paredes celulares en los meristemos y/o en las translocación de los azúcares.)
MANGANESO	0.01	formación de O ₂ en la fotosíntesis; cofactor para varias enzimas.
ZINC	0.001	en varias deshidrogenasas de la respiración y del metabolismo del nitrógeno; en la anhidrasa carbónica.
COBRE	0.0003	en la respiración (oxidasa del citocromo) y en la fotosíntesis (plastocianina; carboxilasa del difosfato de ribulosa).
MOLIBDENO	0.0001	en la reductasa del nitrato; en la nitrogenasa (fijación del N ₂).

ELEMENTO

NIVEL APROXIMADO
NECESARIO^a

PAPEL DE LAS FUNCIONES DE LA PLANTA

COBALTO	0.00001	para la fijación simbiótica del N ₂ ; para las algas verdes y (como parte de la vitamina B ₁₂) para varias otras algas.
CLORO	0.05	el Cl ⁻ activa el sistema productor de O ₂ de la fotosíntesis.
SODIO ^b	0.05	requerido por Atriplex y otras plantas de habitat salino, la remolacha y las algas azul-verdes; no se conoce su papel.
SILICIO ^b	0.1	esencial por Equisetum (cola de caballo) y probablemente por arroz y otras gramíneas y ciperáceas. Requerido por las diatomeas para la formación de la pared celular.
YODO	0.001	requerido por ciertas algas pardas y rojas. Se desconoce su papel.

^a Atomos-miligramos (micromoles de una sal que contenga el elemento) por litro de sol. nutritiva.

^b De estos elementos no se sabe todavía que sean generalmente requeridos por las plantas, como son los elementos enumerados en la tabla.

TABLA 2

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES (6).

PARAMETRO	RANGO (concentración).		
pH	6.5	a	8.0
Temperatura	15	a	25 °C
DBO ₅	100	a	500 mg/l.
DQO	150	a	650 mg/l.
Sólidos Totales	800	a	1500 mg/l.
Sólidos Disueltos Tot.	750	a	1400 mg/l.
Sólidos Sedimentables	1.5	a	10.0 ml/l.
N - orgánico	5.0	a	40 mg/l.
N - NH ₃	0.5	a	40 mg/l.
PO ₄ ⁻⁻⁻ totales	5.0	a	150 mg/l.
Coliformes Totales	10 ⁶	a	10 ⁷ NMP/100 ml.
Grasas y Aceites	20	a	150 mg/l.
Detergentes (SAAM)	3.0	a	40 mg/l.
Conductividad Eléctrica	400	a	2,500 micromhos/cm.
Ca ²⁺	10	a	85 mg/l.
Mg ⁺⁺	10	a	150 mg/l.
Na ⁺	40	a	400 mg/l.
SO ₄ ⁻	15	a	150 mg/l.
Cl ⁻	40	a	500 mg/l.
As	0.005		mg/l.
B	0.3	a	2.5 mg/l.
Cd	0.005		mg/l.
Cu	0.006	a	0.053 mg/l.
Cr ⁺⁶	0.001	a	0.1 mg/l.
Pb	0.003	a	0.35 mg/l.
RAS	3.0	e	8.5 mg/l.

TABLA 4

NORMAS (DIII) Y CRITERIOS EN LAS CARACTERISTICAS DE UN AGUA DE RIEGO (6).

PARAMETRO	LIMITE DE TOLERANCIA
ECOSISTEMAS	
Temperatura (N)	Condiciones Naturales más 2.5 °C máxima 30 °C .
Oxígeno Disuelto (N)	minimo 3.2 mg/l.
Grasas y Aceites (N)	Ausencia de Película visible.
Turbiedad (N)	Condiciones naturales.
Color (N)	Condiciones naturales más 10.
Nutrientes; Nitrógeno y fósforo (N)	no debe existir en cantidades tales que provoquen una hiperferti- lización.
Material Flotante (N)	Ausente.
<u>RIEGO AGRICOLA</u>	
pH (N)	6 - 9
pH (C)	4.5 - 9
Bacterias Coliformes (N)	Máximo 1000 NMP/ml. para riego de le- gumbres que se consumen sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.
Conductividad (N)	Máximo 2,000 micromhos/cm.
Conductividad (C)	750 - 2,250 micromhos/cm.
Relación de Adsorción de sodio RAS (N)	Máximo 6.0 para valores mayores SARH fijará el valor definitivo.
RAS Ajustado (C)	3 - 9
Boro (N)	Máximo 0.4 mg/l. para valores mayores SARH fijará el valor definitivo.

PARAMETRO	LIMITE DE TOLERANCIA.
Arsénico (N)	5.0 mg/l.
Cadmio (N)	0.005 mg/l.
Cobre (N)	1.0 mg/l.
Cromo Hexavalente (N)	5.00 mg/l.
Plomo (N)	5.0 mg/l.
Selenio (N)	0.05 mg/l.
Detergentes SAAM (N)	3.0 mg/l.
Solidos disueltos totales (C)	500 - 4,000 mg/l.
Na ⁺	70 mg/l.
HCO ⁻	90 mg/l.
Cl ⁻	140 - 350 mg/l.
N-NO ₃ (combinado con N-NH ₃)	5 mg/l.

N = Norma

C = Criterio



TABLA 5

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MAS COMUNES.(6).

TIPO DE PLANTA	CLASIFICACION DE TRATAMIENTO.	OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO.	COSTO
Fosas Sépticas	Primario	Remoción de SSe, materia flotante, y DBO.	Bajos
Tanque Imhoff	Primario	Remoción de DBO y SSe	Bajos
Sedimentador primario	Primario	Remoción de SSe	Medios
Laguna de Oxidación	Secundario	Remoción de SSe y DBO	Bajos
Laguna de estabilización	Secundario	Remoción de DBO y SSe	Bajos
Zanjas de Oxidación	Secundario	Remoción de DBO	Medios
Lagunas Aereadas	Secundario	Remoción de DBO	Medios
Filtros Rociadores	Secundario	Remoción de DBO	Altos
Lodos Activados	Secundario	Remoción de DBO	Altos

TABLA 6

COMPARACION DE NUTRIENTES APORTADOS POR LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL RIEGO Y LAS NECESARIAS POR LAS PLANTAS VERDES (3),(6).

ELEMENTO	CANTIDAD APROX. APORTADA POR EL AGUA RESIDUAL EN EL RIEGO en mg/l.	CANTIDAD QUE NECESITAN LAS PLANTAS EN milimoles/l. DE LA SOLUCION NUTRITIVA DE LA SAL QUE LA CONTENGA.
Nitrógeno	5 - 80	15
Calcio	10 - 85	3
Fósforo	5 - 150	2
Azufre	15 - 150	1
Magnesio	10 - 150	1
Boro	0.3 - 2.5	0.05
Cloruros	40 - 500	0.05
Sodio	40 - 400	0.05

TABLA 7

TIEMPO DE SOBREVIVENCIA DE LOS ORGANISMOS (7).

ORGANISMOS	MEDIO	TIEMPO DE SOBREVIVENCIA.
Bacteria Anthrax	En agua y aguas residuales.	19 días
Huevos de Ascaris	Vegetales	27 - 35 días
	Suelos irrigados	2 - 3 años
	Suelos	6 años
B. Disenteria Flexneri	Agua contaminada	160 días
B. Disenteria thphosa	Agua	7 - 30 días
	Suelo	29 - 70 días
	Vegetales	31 días
Vibrio Cólera	Espinacas	22 - 29 días
	Pepinos	7 días
	Ajo, naranjas, limones, uva, arroz, y dátil	horas - 3 días
Coliformes	Pasto	14 días
	Hojas de trébol	12 - 14 días
	Trébol 60 % humedad	6 días
	Alfalfa	34 días
	Tomates	35 días
	Superficie del suelo	38 días
	A -17 °C	46 - 73 días
E. Histolytica	Vegetales	3 días
	Agua	1 mes
Enterovirus	Raíces de frijol	4 días
	Suelo	12 días
	Raíces de tomate y chícharos	6 días
Larvas de Anquilostoma	Suelo	6 semanas
Leptospira	Agua de río	8 días
	Aguas residuales	30 días

ORGANISMOS	MEDIO	TIEMPO DE SOBREVIVENCIA.
Quistes Tremátodos	Heno seco	pocas semanas
	Heno mal secado	hasta años
Poliovirus	Aguas contaminadas 20°C	20 días
Salmonella	Pastos	6 semanas
	Trébol	12 días
	Vegetales	7 - 40 días
	Hojas de remolacha	3 semanas
	Superficie de suelo y papas	40 días
	Zanahorias	10 días
	Col y grosella	5 días
	Suelo arenoso esterilizado	24 semanas
	Suelo arenoso no esterilizado	5 - 12 semanas
	Aire seco, lodos digeridos	17 semanas
Shigella	Pastos	6 semanas
	Vegetales	7 días
Streptococcus	Suelo	35 - 63 días
	Superficie- suelo	38 días
B. Tuberculosis	Pastos	0.3 - 0.5 meses
	Suelo	6 meses
	Agua	1 - 3 meses
Vibrio Comma	Agua de río	32 días
	Aguas residuales	5 días

TABLA 8

ANALISIS DE LAS ESTACIONES DE AFORO Y MUESTREO DEL EMBALSE" MANUEL AVILA CAMACHO " (10)y(11).

PARAMETRO	E ₆	E ₂	E ₁
Gasto l/s.	16,732	465	13,517
pH	8.2	7.4	7.5
Temp. Ambiente °C	23	23	21
Temp. Agua °C	22	21	20
O.D. mg/l.	7	2.8	4.9
DBO mg/l.	6.5	239	66
DQO mg/l.	58.2	474	111
N-Orgánico	1.7	9.6	4.3
Fosfatos	4.8	43	14
Detergentes mg/l.	1.6	13	5.6
Alcalinidad mg/l. CaCO ₃	207	376	436
Acidez mg/l. CaCO ₃	11	36	21
Turbiedad mg/l. SiO ₂	9.9	190	251
Olor	NO	NO	NO
Color Esc. Pt-Co	2.1	2.3	2.4
ST mg/l.	430	1,435	1,425
STF mg/l.	303	1,001	1,164
STV mg/l.	127	403	260
SST mg/l.	76	550	859
SSF mg/l.	40	408	763
SSV mg/l.	36	142	106
SDT mg/l.	354	885	556
SDF mg/l.	263	576	402

PARAMETRO	E ₆	E ₂	E ₁
SDV mg/l.	84	290	154
SSe ml/l.	0.52	1.3	2.6
G. y Aceites mg/l.	8	55	78
Coliformes NMP/100 ml.	4.05×10^4	2.96×10^6	5.8×10^6
Coliformes fecales	1.9×10^4	2.9×10^6	$8,6 \times 10^4$
Pb mg/l.	0.015	0.026	0.062
Hg mg/l.	0.01	0.126	0.311
Cd mg/l.	0.03	0.02	0.03
As mg/l.	0.01	0.048	0.03
Fe mg/l.	0.46	2.02	13.04
Mn mg/l.	0.44	0.43	0.74
Cr mg/l.	0.10	0.11	0.10
Cu mg/l.	0.10	0.21	0.15
NO ₃ mg/l.		0.202	0.21
Fenoles mg/l.		0.11	0.19
Cianuros mg/l.		0.005	0.005
Boro mg/l.	0.3	--	--
Cond. Eléctrica	539	--	--
RAS	1.6	--	--

E₆ = Estación de aforo y muestreo en el canal a 1 120 m. aguas abajo de la compuerta del embalse.

E₁ y E₂ = Estación de muestreo a la entrada de los ríos Alseseca y Atoyac al Embalse.

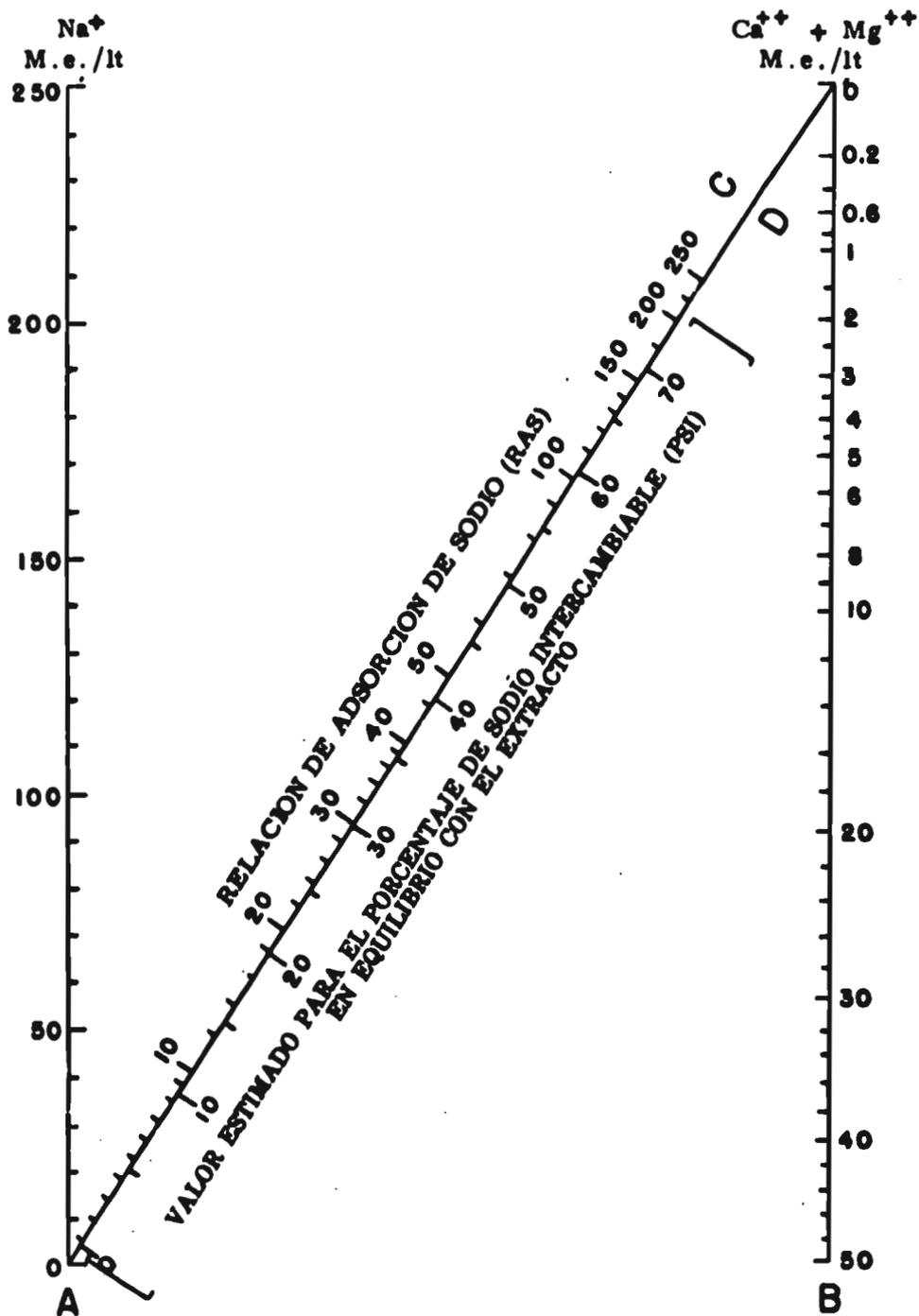
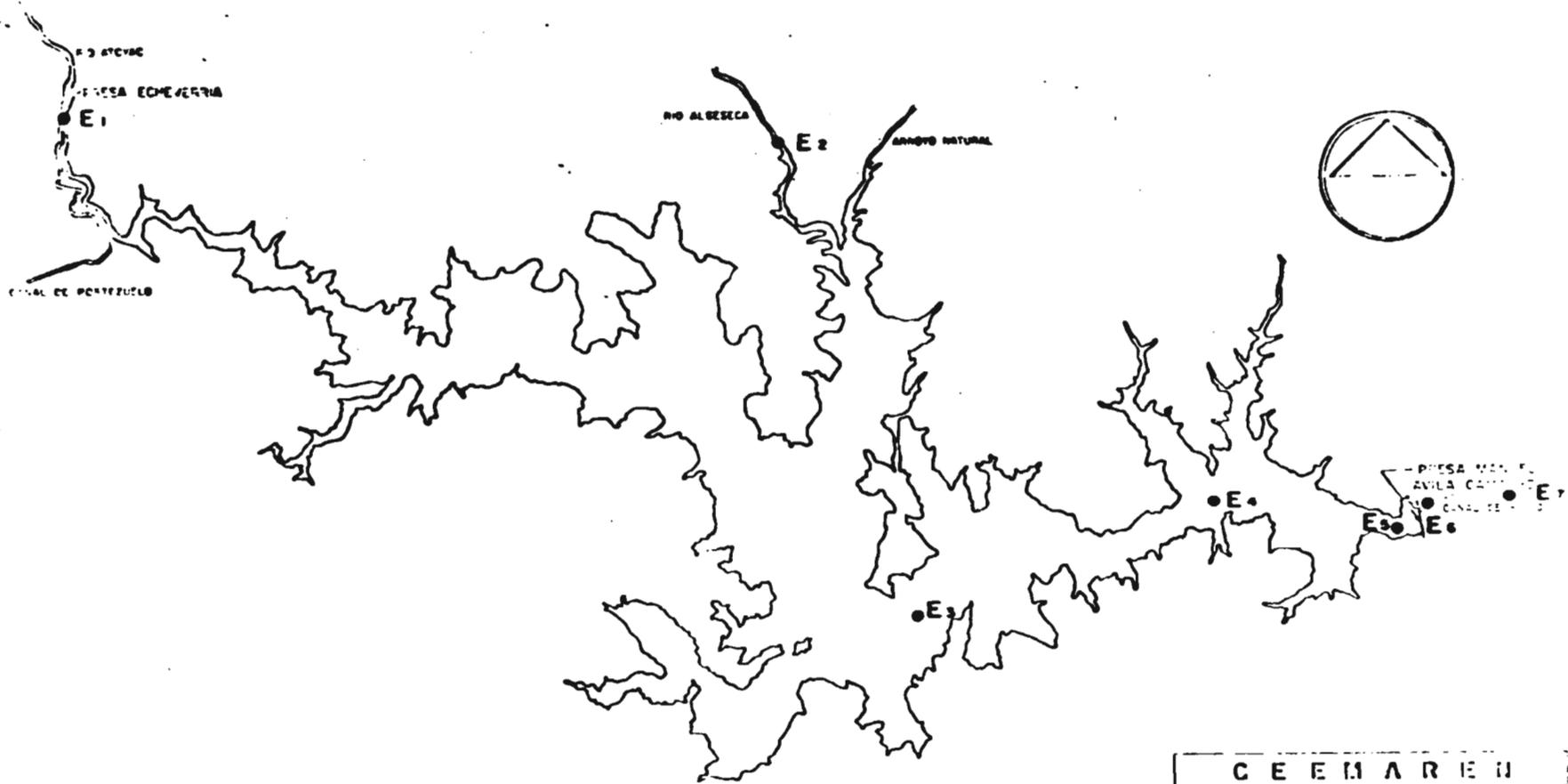


Fig. 1 Nomograma para determinar el RAS en el extracto de saturación y para estimar el valor correspondiente al PSI del suelo en equilibrio con el extracto.

REFERENCIA: DIAGNOSTICO Y REHABILITACION DE SUELOS SALINOS Y SODICOS (2).



ESC. 1:50 000



C E M A R E N
 fig. 2
 VASO DE ALMACENAMIENTO DE LA
 PRESA MANUEL AVILA CAMACHO
 PUEBLA, PUE. 1980 DISEÑO R. D. A.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1.- Varios. "Manual de Conservación de Suelos", Limusa Wiley, México 1980.
- 2.- Laboratorio de Sanidad de E.U.A.. "Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos", Limusa, México 1980.
- 3.- Martin, P. R.. "La planta Viviente", C E C S A, México, 1980.
- 4.- Russell, J. y Russell, W.. "Condiciones del Suelo y Crecimiento de las Plantas", Aguilar, España, 1968.
- 5.- Cuéllar Ch. R. y Martínez P. P.. "Alternativas para el Control de Descargas de Aguas Residuales Municipales en México", U N A M 1980.
- 6.- Cuéllar Ch. R.. "Necesidades de Investigación en México Sobre la Renovación y Reuso de las Aguas Residuales Municipales", U N A M 1980.
- 7.- Gloyna E. F.. "Reuso de las Aguas de Desecho, a Través de la Estabilización y Aplicación en Tierra" Simposio Sobre Aprovechamiento de Aguas residuales, Septiembre del 8 al 10, México 1980.
- 8.- Chang A. C. y Page A. L.. "Consideraciones de la Calidad del Agua y Aguas de Desecho Usadas para Irrigación de Cultivos", Simposio sobre Aprovechamiento de Aguas Residuales, Septiembre del 8 al 10, México 1980.
- 9.- Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. "Uso Agrícola de las Aguas Negras", S A R H . México, 1980.
- 10.- Subprograma de Protección y Ordenación Ecológica del Edo. de Puebla. "Estudio de la Calidad del Agua de los Ríos Atoyac y Zahuapan". S A R H , México, 1980.
- 11.- Subprograma de Protección y Ordenación Ecológica del Edo. de Puebla. "Estudio de la Calidad del Agua en el Embalse Manuel Ávila Camacho y su Influencia sobre el Distrito de Riego ". S A R H , México 1980.

- 12.- Departamentõ de Sanidad del Estado de Nueva York. "Manual de Tratamiento de Aguas Negras", Limusa. Wiley, México 1964.
- 13.- Metcalf & Eddy, Inc. "Wastewater Engineering, Mc. Graw-Hill Book Company, E.U.A., 1972.