

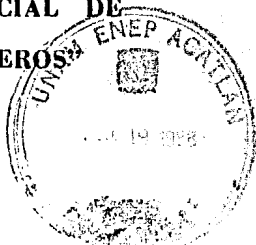


25
24

Universidad Nacional Autónoma
de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales
" Acatlán "Ingeniería Civil

"RECARGA ARTIFICIAL DE
MANTOS ACUIFEROS"



Tesis Profesional

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a

JOSE ANGEL RANGEL RAYON

Acatlán, Edo. México.

Agosto, 1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

I. ANTECEDENTES	5
I.1. El agua y el desarrollo.	5
I.2. Regionalización y uso del agua.	10
I.3. El agua subterránea.	16
I.4. Balance hidráulico.	19

CAPITULO II

II. ESTUDIOS PREVIOS	24
II.1. Estudio geológico.	24
II.2. Estudio geohidrológico.	31
II.3. Estudio piezométrico.	39
II.4. Estudio sobre la tratabilidad del agua residual.	44

CAPITULO III

III. CAPTACION DEL AGUA	51
III.1. Infraestructura hidráulica.	51
III.2. Plantas de tratamiento.	57

CAPITULO IV

IV. TRATAMIENTO	65
IV.1. Características de las aguas residuales.	65
IV.2. Operaciones unitarias.	80
IV.3. Características del agua de las plantas de tratamiento.	102

CAPITULO V

V. RECARGA ARTIFICIAL	105
V.1. Métodos de recarga.	105
V.2. Posibles sitios de recarga.	111
V.3. Características del sitio seleccionado.	118

CAPITULO VI

VI. CALIDAD DEL AGUA	126
VI.1. Características físico-químicas-biológicas del agua residual tratada.	126
VI.2. Características físico-químicas-biológicas del agua subterránea.	128
VI.3. Evaluación preliminar del acuífero recargado.	130

CAPITULO VII

VII. COSTO-EFECTIVIDAD	143
VII.1. Definición del objetivo.	143
VII.2. Diferentes alternativas de solución.	147
VII.3. Criterios de evaluación.	155
VII.4. Comparación de las alternativas.	157

CONCLUSIONES	162
--------------	-----

BIBLIOGRAFIA	168
--------------	-----

ANEXO A	172
---------	-----

I N T R O D U C C I O N

El suministro de agua potable constituye uno de los problemas más graves y urgentes que enfrenta el Distrito Federal; su solución requerirá de obras de ingeniería de muy diversa índole; incluyendo el aprovechamiento de agua de calidad deficiente que se presenta en ciertos acuíferos del Valle de México y un mayor reúso de las aguas residuales.

El sobrebombeo de agua subterránea en el Valle de México ha alcanzado ya proporciones considerables y en futuro el suministro de agua al Distrito Federal y Área Metropolitana tendrá que basarse cada vez más en la importación de agua desde fuentes ubicadas a grandes distancias.

El abastecimiento de agua procedente de fuentes exteriores se destinará, tanto a satisfacer la creciente demanda, que está aumentando a un ritmo vertiginoso, como a compensar la -- disminución paulatina del sobrebombeo, el cual ha ocasionado -- hundimientos notables en varias partes del Distrito Federal.

Teniendo en cuenta que la importación de agua de fuentes lejanas exige fuertes inversiones y apreciables gastos anuales, principalmente de energía eléctrica y considerando asimismo que en la actualidad las aguas residuales sólo se aprovechan en -- forma parcial y casi sin beneficio para el Distrito Federal, -- se estudia la posibilidad de recuperar gran parte de las aguas residuales para usos dentro del propio Distrito Federal.

En tal situación, el aprovechamiento racional de las aguas residuales es una preocupación, y esta preocupación se ha manifestado en la construcción de plantas para el tratamiento de --

las aguas residuales y en un reúso ya no limitado específicamente al riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos, entonces, se plantea como objetivo hacer de las aguas residuales tratadas una fuente complementaria para suministro a la población en usos a corto plazo, que no requieran una calidad de agua, similar a la potable y a largo plazo para bebida: eliminando los riesgos a la salud de los usuarios y asegurando la preservación del medio ambiente.

La viabilidad de estos proyectos, dependen del desarrollo y adaptación de tecnologías de tratamiento que permitan producir en forma confiable agua de la calidad deseada a partir de las aguas residuales características del Distrito Federal, que, como es bien sabido, cuenta con un sistema de drenaje combinado y además una extensa planta industrial.

Entre los usos potenciales considerados se cuentan los siguientes:

- a. Recarga de acuíferos.
- b. Reúso industrial en enfriamiento.
- c. Reúso industrial para procesos.
- d. Renovación de agua para una mezcla eventual con fuentes actuales de suministro de agua para uso doméstico.

Bajo el panorama que se estima tendrá el Distrito Federal en un futuro no lejano, "el presente trabajo tiene como finalidad mostrar la metodología a seguir en la Recarga Artificial con Agua Residual Tratada en los Mantos Acuíferos: tratando de definir los efectos físicos-químicos y biológicos generados en el acuífero".

Dicho trabajo se realizó en siete capítulos, que a conti-

nuación se describen brevemente.

El capítulo uno pretende demostrar la importancia que tiene el agua para la vida humana y su desarrollo, los diferentes usos que tiene el agua y el problema que se está presentando con la sobreexplotación del agua subterránea, debida al acelerado crecimiento demográfico.

En el capítulo dos se describen los estudios más importantes para la realización de la recarga artificial, tales como los que nos indiquen la composición geológica, el comportamiento geohidrológico y piezométrico, así como el relacionado con la tratabilidad del agua residual.

El capítulo tres tiene por objeto explicar la forma de captar el agua residual a través de la infraestructura existente o proyectada y la forma en que interviene una planta de tratamiento.

En el capítulo cuatro se pretenden analizar las características de las aguas residuales, ya que son una mezcla de aguas domésticas, industriales y pluviales. Asimismo mencionar cuál o cuáles son los procesos que se pueden aplicar de acuerdo al uso que se le pretende dar.

En el capítulo cinco se explica en qué consiste la Recarga Artificial, mencionando los diferentes tipos de recarga, los lugares posibles, y cuáles son las características que influyen para la selección del sitio adecuado.

El capítulo seis pretende determinar la calidad del agua una vez recargado el acuífero, teniendo como base para el análisis las características físicas-químicas-biológicas de las -

aguas residuales y las propias del acuífero.

Finalmente en el siete, se hace una comparación entre las diferentes alternativas de abastecimiento y la relacionada con la recarga artificial, mediante la aplicación del análisis --- costo-efectividad, que es diferente al costo-beneficio; ya que el análisis se hace considerando otros factores cuya determinación económica es difícil de realizar.

CAPITULO I

I. ANTECEDENTES.

I.1. El agua y el desarrollo.

Al igual que otras grandes urbes del mundo, los problemas de la Ciudad de México son producto de una compleja interacción de factores políticos, económicos y sociales. Sin embargo, --- mientras que las grandes civilizaciones del mundo nacieron en las márgenes de un gran río, la de los aztecas se situó sobre una laguna y este hecho marcó el inicio de una incesante lucha por y contra el agua.

Bajo este hecho, La Ciudad de México se ha modificado en su ambiente físico para beneficio de sus habitantes, pero a costa de generar otros conflictos.

El aprovechamiento y preservación del agua está condicionado en forma importante por el significado económico, social, ambiental y psicológico que se otorgue a este elemento.

El agua tiene un gran valor debido a la estrecha relación que guarda con los procesos vitales y con el desarrollo de cualquier actividad humana.

El valor del agua es más alto en las etapas iniciales e intermedias del desarrollo, conservando este valor si se cuenta con la flexibilidad suficiente para cambiar su uso hacia las actividades que reporten mayores beneficios.

El valor ambiental es importante para el manejo del agua, aunque debido al impacto ecológico es menos claro, ya que repercuten en grupos ajenos a quienes hacen uso de este elemento, pe

ro se debe tener bien claro que son imprescindibles para preservar la calidad del agua y de otros recursos asociados a su uso.

El valor psicológico del agua es diferente en el medio rural y en el medio urbano. En el medio rural, el agua motiva -- sentimientos ambivalentes; ya sea como generador de vida o como fuerza destructora, su escasez provoca hambre y sed; su exceso tiende a ocasionar pérdidas humanas y materiales, el cielo nublado es una promesa y el agua se considera como un bien de propiedad "local" que condiciona fuertemente su supervivencia y desarrollo. En cambio para la zona urbana, el agua significa con frecuencia solo un elemento más de consumo debido a que la recibe ya controlada y normalmente se desconocen los esfuerzos necesarios para captarla, conducirla hasta las ciudades y distribuir la dentro de ellas; así una lluvia representa una molestia debido a que altera los planes de trabajo o de esparcimiento.

Tal parece que en la medida en que un pueblo se desarrolla y aumenta su control sobre el agua, este recurso pierde el papel preponderante que guardaba en el pasado; la "conciencia" de su valor disminuye, lo que conduce a su mayor desperdicio y contaminación.

El agua, como recurso natural, debe ser un factor que contribuye al logro de los objetivos nacionales. En consecuencia estos objetivos juegan un papel fundamental para la atención a -- las prioridades nacionales de alimentos, energéticos, desarrollo equilibrado y sostenido de los asentamientos humanos y la industria.

El sistema alimentario, como estrategia para asegurar la autosuficiencia alimentaria de productos básicos, liga las necesidades

sidades de la producción de alimentos; entre las que se cuentan las correspondientes al riego y a la acuacultura.

El programa de energía trata de diversificar las fuentes de energía y buscar su mayor participación, incluyendo el desarrollo del potencial hidroeléctrico.

El abastecimiento de agua a las poblaciones esta ligado a el ordenamiento de los asentamiento humanos en el territorio nacional, racionalizando la distribución de las actividades económicas de la población: con esta finalidad, contempla promover el desarrollo urbano integral y equilibrado de los centros de población y propiciar condiciones favorables para que sus habitantes puedan satisfacer sus necesidades básicas de bienestar.

Finalmente el desarrollo industrial tiene como objetivos expandir la producción de satisfactores básicos, insumos y bienes de capital; ocupar en forma intensiva la mano de obra y los recursos naturales, entre ellos el agua.

Dentro de este marco, se espera que para finales del año 2000 casi se duplique la población, se quintuple la producción industrial, se septuple la generación de energía eléctrica, se dupliquen las superficies agrícolas habilitadas con riego y drenaje, y se eleven casi al doble los niveles de servicio de agua potable y alcantarillado.

Este crecimiento, implica un aumento considerable en la demanda del recurso hidráulico y en el volumen de aguas residuales.

La disponibilidad media anual de agua renovable, estimada en 410,000 millones de metros cúbicos de agua superficial y 11,000 millones de metros cúbicos de agua subterránea, es sufi-

ciente para anoyar el desarrollo previsto: sin embargo, subsisten diversos problemas en el aprovechamiento del agua y suelo, entre los que destacan los siguientes:

Los rápidos incrementos en la demanda de agua derivados - de las metas de producción de alimentos y generación de energía, son cada vez más difíciles de atender en forma oportuna y adecuada. Al mismo tiempo la población de tino urbano ha crecido más rápidamente que los servicios de agua notable y alcantari--llado.

La escasa vinculación que existe entre una política hi--dráulica a nivel nacional y los proyectos específicos; la primera racionaliza el empleo de los limitados recursos humanos y --económicos del país, los segundos abordan la solución de los --problemas que existen a nivel local considerando la gran diversidad de situaciones que se presentan en las cuencas hidrológicas, las cuales varían: desde una aguda escasez de agua en algunas cuencas del norte y centro de México, a una gran abundancia de este recurso en otras cuencas localizadas en el sureste.

Existe una tendencia a dispersar la responsabilidad del - manejo del agua entre las diversas instituciones del gobierno - federal y los gobiernos estatales: sin embargo, se observa una falta de integración en el estudio y aprovechamiento de las --aguas superficiales con las subterráneas y a pesar de los es--fuerzos realizados, la calidad del recurso no se aborda en forma integrada con su cantidad. Por último, la relación que existe entre las fases de planeación, diseño, construcción y oneración de los proyectos es, todavía insuficiente.

Se ha detectado en el área de los aprovechamientos hidráu

licos insuficiencia de recursos humanos capacitados en todos -- los niveles, lo cual se ha agudizado en los últimos años al intensificarse los programas de desarrollo. Asimismo, la investigación y transferencia de tecnología han sido limitadas.

El escaso conocimiento y en consecuencia, la falta de participación de los sectores usuarios en la solución de los problemas que se enfrentan en el aprovechamiento y preservación -- del agua.

Por otra parte se ha convenido en definir el manejo del -- agua como: El conjunto de actividades que se realizan para ade cuar la disponibilidad de este recurso en cantidad, calidad, es pacio y tiempo a las crecientes demandas asociadas al desarro-- llo de las actividades humanas.

Estas actividades son de tres tipos: El primero correspon de a las de construcción de infraestructura para regular el --- agua y satisfacer los requerimientos de los distintos sistemas usuarios. Cuando las demandas eran muy pequeñas comparadas con la disponibilidad del agua en cada cuenca hidrológica, la infra estructura se construía atendiendo los problemas locales y a un solo sistema usuario; con el tiempo, se hizo necesario resolver problemas en forma regional considerando varios sistemas de usua rios, por lo que se dio impulso al segundo tipo de actividades que permiten planear la regulación y aprovechamiento del agua - mediante la captación y procesamiento de información hidrológica, elaboración de inventarios, formulación de políticas y pro gramas, y la acción normativa. El tercer tipo de actividades - corresponde a aquellas que se realizan a nivel de cuencas hidro lógicas y tienen influencia en todos los sistemas usuarios. Di chas actividades son: La asignación del agua, El control de su

calidad y la preservación de los recursos asociados, la disminución de daños causados por avenidas y sequías, y El incremento en la disponibilidad de agua.

I.2. Regionalización y uso del agua.

En México existen diferencias regionales debidas a las condiciones geográficas y a las características sociales y económicas de sus habitantes. Estas condiciones determinan las diferencias en cuanto al valor económico, social, psicológico y ambiental que el agua adquiere en cada una de las regiones.

La cuenca hidrológica es la unidad de planeación más adecuada para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, ya que dentro de ella es posible tomar en cuenta los efectos que pueden causar las acciones relacionadas con el aprovechamiento y control del agua.

Por ello, y con el fin de efectuar un análisis regional, se dividió al país en catorce (14) regiones; cada una de las cuales comprende la cuenca de un río importante o varias cuencas homogéneas de segunda importancia (Figura F-I.2.1.).

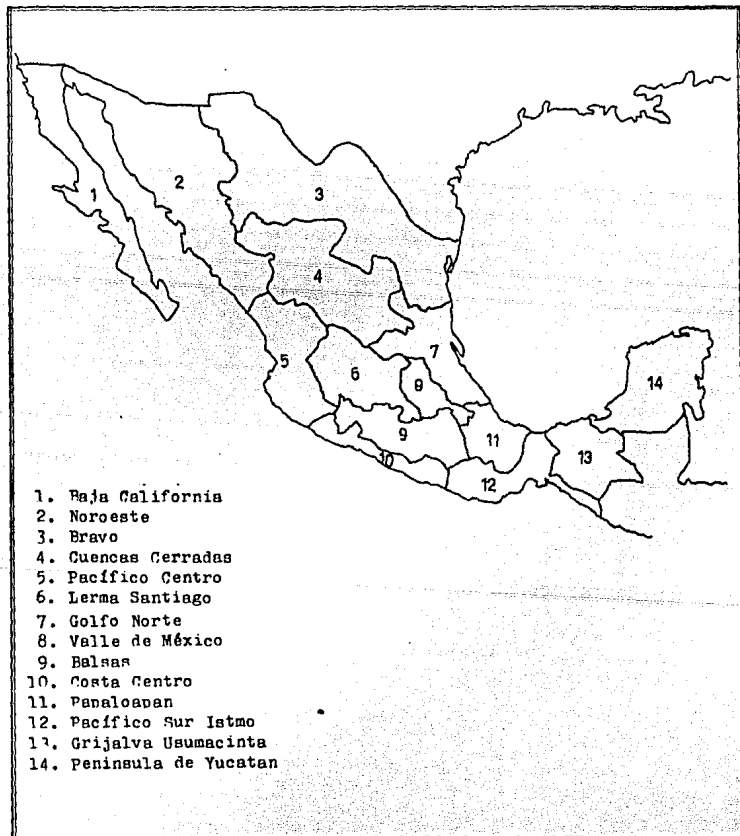
A su vez, las regiones se dividieron en cientocuatro (104) subregiones, con el objeto de buscar áreas con similitud socio-económica que se consideren módulos mínimos de análisis. En la subregionalización establecida, se tomó en cuenta la división política, ya que cada subregión se ubica en una sola entidad y coincide con la división municipal. Este hecho además de facilitar la reconciliación y el manejo de información a niveles municipal y estatal; permite agrupar cuencas, regiones o estados para establecer planes específicos a partir de la información sub



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO, J. A. RANGEL RAYÓN.	FECHA MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-1.2.1



regional (Figura F-I.2.2.).

En las regiones, el agua es considerada como el elemento integrador en los análisis, porque las diferentes actividades económicas que se desarrollan en ellas se afectan entre sí, de acuerdo con el uso que hacen de este recurso o de las obras que se construyen para su manejo y control.

En la subregionalización se tomarán otros elementos tales como los flujos de población y la actividad económica.

Las regiones que requieren acciones hidráulicas similares o complementarias se agruparán en cuatro zonas: Pacífico Norte y Centro, Norte, Centro y, Golfo y Sureste (Figura F-I.2.3.).

El agua ha sido un factor básico en el desarrollo de México y seguirá siendo esencial en el impulso a las actividades productivas y en el mejoramiento de la vida de la población.

La cuantificación del uso del agua a los niveles nacional y regional se basa, por una parte, en la evolución y proyección de los coeficientes técnicos para el uso del agua; asimismo se convino en llamar "extracción" al volumen que se deriva o extrae de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas, y "consumo" al volumen extraído menos el retornado a las corrientes en estado líquido; a este último se le ha denominado "descarga".

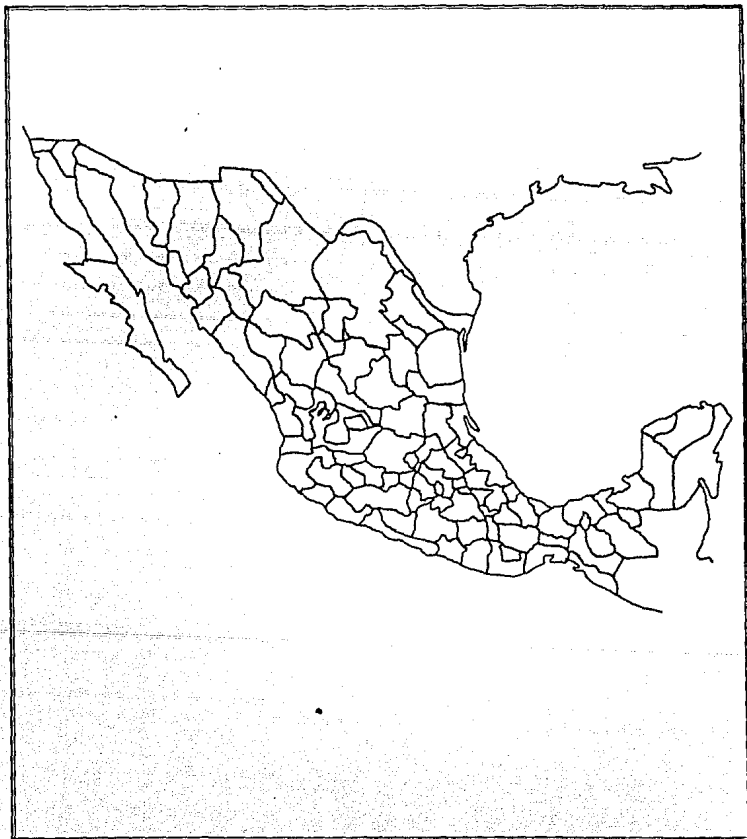
Los principales retos que el país enfrentará en los próximos doce años, se han identificado como: aumento considerable en su población, que se estima oscilará entre 104 y 126 millones de habitantes; asimismo, presentará una estructura predominantemente urbana e industrial; adquirirá mayor capacidad de intercambio con el exterior y tendrá requerimientos tecnológicos y de organización cada vez más complejos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1989.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-1.2.2.

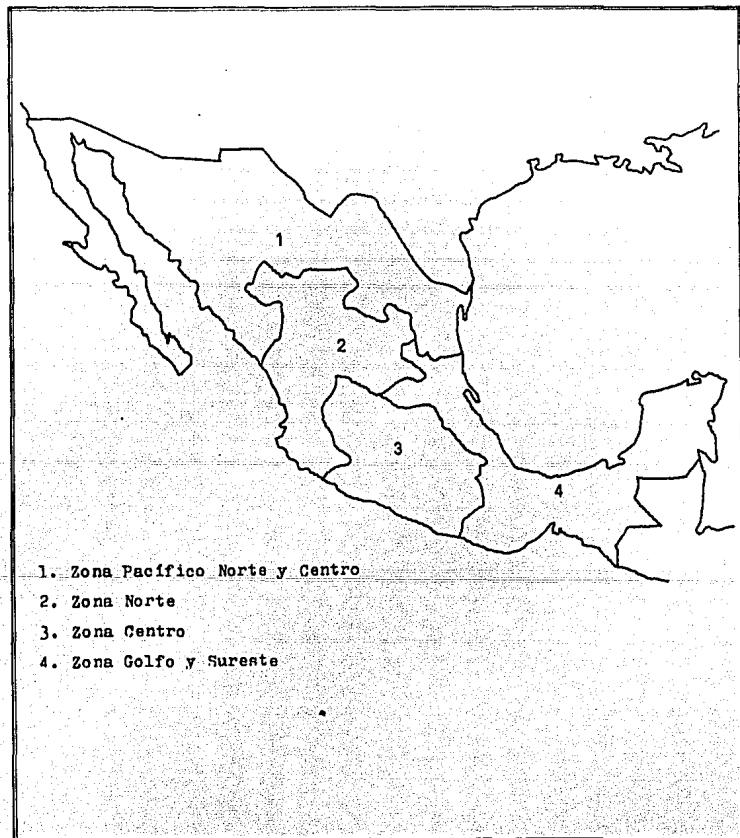




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1966.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-1.23.



Desde el punto de vista cuantitativo, las actividades usuarias del agua más importantes son: La agricultura, La generación de energía eléctrica, El abastecimiento de agua potable, y El abastecimiento a las industrias.

Agricultura y ganadería.

El agua es uno de los insumos más importantes de la producción de alimentos agrícolas y pecuarios, y el uso agrícola es el mayor consumidor del recurso. Se estima que la demanda de agua por año es de 45,000 millones de metros cúbicos para el riego de 4.7 millones de hectáreas. De este volumen se consumen alrededor de 37,000 millones de metros cúbicos, equivalentes al 90% del consumo total nacional.

De acuerdo con las necesidades previstas y con las posibilidades identificadas, para el año 2000, las superficies con infraestructura hidroagrícola ascenderán a 10 millones de hectáreas y el volumen de agua estimado para cubrir la demanda de riego es de 94,500 millones de metros cúbicos.

En el cuadro C-I.2.1. se muestra la extracción de agua por regiones para los años 1990 y 2000.

Generación de energía.

La mayor parte del volumen total extraído para generar energía se emplea en las plantas hidroeléctricas y se usa en menor escala para el enfriamiento de plantas termoeléctricas, y para la explotación de petróleo, carbón y uranio. En el año de 1980 se extraerán 100,000 millones de metros cúbicos de agua para producir alrededor de 20,000 GWH anuales de energía hidroeléctrica, que equivalieron al 64% de la extracción total y al 28%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C - (2.1).

AGUA EXTRAIDA PARA RIEGO, USOS PECUARIOS Y ACUICULTURA

Región	Extracción, en millones de M3.	
	1990	2000
Baja California	3149	2775
Noroeste	16638	19214
Pacífico Centro	5128	7284
Balsas	6462	7098
Pacífico Sur Istmo	3469	7545
Bravo	8404	9452
Golfo Norte	4977	11341
Papaloapan	3170	5120
Grijalva Usumacinta	2113	3110
Península de Yucatán	1103	1609
Cuencas Cerradas	3077	3456
Terma	6033	6301
Valle de México	3967	4844
Costa Centro	1860	3233
Total Riego	69550	92382
Total Ganadería	1300	1700
Total Acuicultura	406	515
TOTAL NACIONAL	71256	94597

de la generación total para ese año.

Para el año 2000 la demanda de energía eléctrica ascenderán a 350,000 GWH por año, para esto, será necesario extraer -- 362,000 millones de metros cúbicos anuales; concentrados principalmente en las regiones Grijalva--Tsumacinta, Pacífico Centro, Balsas y Pacífico Sur Istmo.

Las plantas que generan energía mediante combustible fósil o nuclear requieren de agua principalmente para su sistema de enfriamiento. Se estima que la extracción y consumo de agua en las 160 plantas termoeléctricas que estarán operando para el -- año 2000, será del orden de 1000 millones de metros cúbicos y -- de 700 millones de metros cúbicos anuales respectivamente. Las nuevas plantas termoeléctricas se localizarán en las costas, -- con excepción del norte del país debido a que ahí los yacimientos de carbón se encuentran distantes de las costas.

En las refinerías, el agua se usa principalmente para enfriamiento y su volumen depende de la diversidad de destilados producidos. De acuerdo con cifras de Petróleos Mexicanos, la -- producción de refinados del petróleo alcanzó en 1980 1.5 millones de barriles por día. Hacia el año 2000 se calcula que se alcanzará 3.7 millones de barriles por día: para ello se requerirá extraer 850 millones de metros cúbicos de agua por año, de los cuales se consumirán únicamente el 24%.

El cuadro C-I.2.2. muestra la extracción que se prevé para los años 1990 y 2000.

Abastecimiento de agua potable.

Los principales problemas que se enfrentan en el abasteci-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-1.2.2.

EXTRACCION FUTURA DE AGUA PARA PLANTAS HIDROELECTRICAS

Región	Millones de M ³ /año.	
	1990	2000
Baja California	84	126
Noroeste	12778	21050
Pacifico Centro	10135	20698
Balsas	42348	61643
Pacifico Sur Istmo	198	46698
Bravo	5678	5678
Golfo Norte	2360	9731
Papaloapan	11699	20557
Grijalva Usumacinta	63840	164462
Península de Yucatán	0	0
Cuencas Cerradas	0	0
Lerma	5879	6496
Valle de México	243	353
Costa Centro	4764	4764
TOTAL NACIONAL.	160006	362256

miento de agua a las poblaciones son: deficiente conservación y mantenimiento de las redes e instalaciones electromecánicas, baja eficiencia en el uso del agua por pérdidas en las redes y -- desperdicio de los usuarios, falta de capacidad financiera por parte de los municipios, ingresos insuficientes de los organismos que operan los sistemas debido a la dificultad de actuali--zar las tarifas; así como problemas sociales y políticos originados por las transferencias de agua entre regiones o entidades y por cambios en el uso del recurso.

Es importante señalar que el 60% de las demandas de agua -- potable a nivel regional se concentran en las regiones: Bravo, Lerma y Valle de México: como se puede apreciar en el cuadro -- C-I.2.3.

Actualmente ciudades como México, Monterrey, Guadalajara, Mérida y Tampico, presentan problemas en su abastecimiento de -- agua; ya sea por cuestiones de cantidad o de calidad del recurso. Se estima que para finales del año 2000, otras 17 ciudades prioritarias tendrán problema en su abastecimiento. Una posi--ble solución sería efectuar un cambio en el uso del agua, principalmente de la agricultura al medio urbano.

Se estima que para mantener en los acuíferos niveles de -- sobreexplotación iguales a los actuales, será necesario cerrar -- 115,000 hectáreas de riego situadas en los alrededores de las -- ciudades. Por otra parte, se calcula que, de no tomarse las medidias pertinentes, el crecimiento urbano afectará en el año --- 2000 a 110,000 hectáreas de tierras de riego y a 50,000 hectáreas de tierras de temporal: además en unas 45 ciudades como -- México, Guadalajara, Tijuana, Ensenada, La Paz, Hermosillo, --- monterrey y León, se prevé un reuso más intensivo del agua, tan



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-1.2.1.

DEMANDA REGIONAL DE AGUA POTABLE

Región	Millones de M ³ /año.	
	1990	2000
Baja California	247	372
Noroeste	362	509
Pacífico Centro	149	241
Balsas	345	474
Pacífico Sur Istmo	167	234
Bravo	870	1218
Golfo Norte	348	504
Papaloapan	191	262
Grijalva Usumacinta	143	214
Península de Yucatán	105	151
Cuencas Cerradas	221	304
Jerma	713	1100
Valle de México	2373	2966
Costa Centro	144	208
TOTAL NACIONAL	6342	8757

to en la agricultura como en la industria, mediante el cambio de aguas tratadas por blancas (Figura P-I.2.4.).

Abastecimiento industrial.

El crecimiento acelerado de la industria implicó que la demanda de agua por parte de éste sector aumentara en forma significativa en el período de 1968 a 1979. Para el año 1980 el volumen demandado fue de 5,800 millones de metros cúbicos aproximadamente.

Actualmente, las regiones que continúan concentrando la mayor parte de la extracción de agua para uso industrial son: Pavaloban, Pacífico Sur Istmo, Eravo y Valle de México.

La actividad industrial se ha concentrado en unas cuantas ciudades, lo que ha agudizado los problemas que enfrentan para el abastecimiento de agua y los posibles conflictos por el uso y explotación del recurso. Así en las zonas metropolitanas de las ciudades de México y Monterrey se concentra el 70% del empleo industrial total; asimismo, ahí se ubican 3,000 de las 5,000 establecimientos industriales que más agua utilizan.

El reuso y recirculación de agua en la industria son prácticas todavía incipientes y podrían incrementarse significativamente en los próximos años; principalmente en las regiones donde el recurso escasea.

En el cuadro C-I.2.4. se presenta la extracción futura para uso industrial.

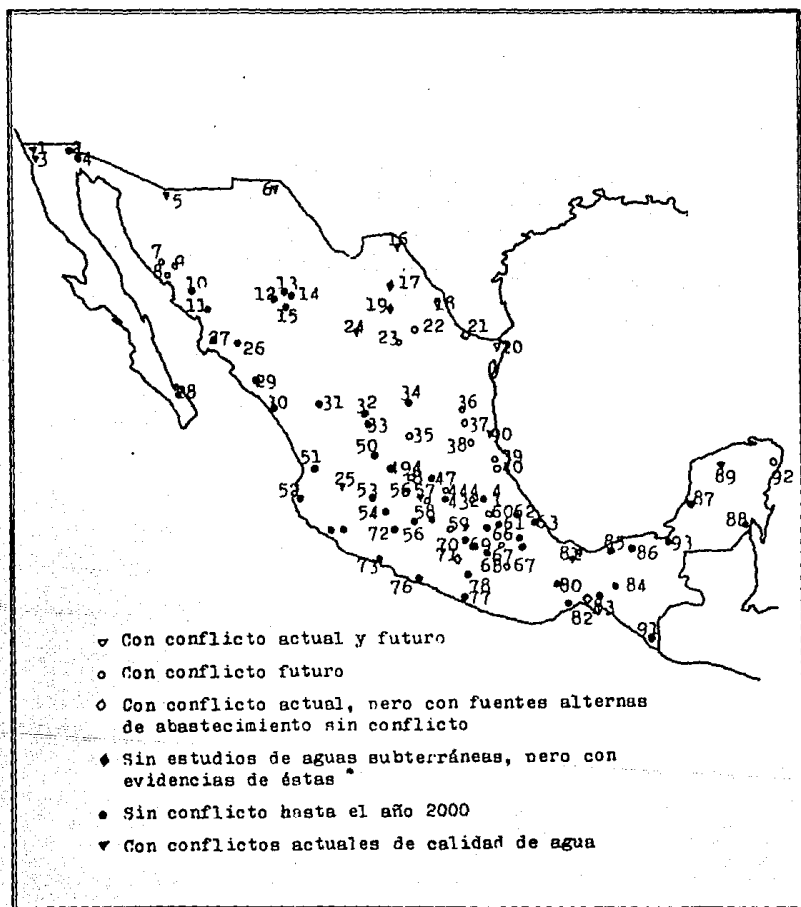
Las actividades mencionadas anteriormente son las usuarias de agua más importantes, ya que presentan el mayor desarrollo y generan las más altas demandas. Existen otras, como el turismo



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-1.2.4.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

1. Tijuana.
2. Mexicali.
3. Ensenada.
4. San Luis Río Colorado.
5. Nogales.
6. Ciudad Juárez.
7. Hermosillo.
8. Guaymas.
9. Empalme.
10. Ciudad Obregón.
11. Navojoa.
12. Cuauhtémoc.
13. Chihuahua.
14. Delicias.
15. Hidalgo del Parral.
16. Piedras Negras.
17. Nueva Rosita.
18. Nuevo Laredo.
19. Monclova.
20. Matamoros.
21. Reynosa.
22. Monterrey.
23. Saltillo.
24. Torreón-Gómez Palacio-Lerdo.
25. Guadalajara.
26. Guasave.
27. Los Mochis.
28. La Paz.
29. Culiacán.
30. Mazatlán.
31. Durango.
32. Fresnillo.
33. Zacatecas.
34. Matehuala.
35. San Luis Potosí.
36. Ciudad Victoria.
37. Ciudad Mante.
38. Ciudad Valles.
39. Tuxpan.
40. Poza Rica.
41. Tulancingo.
42. Pachuca.
43. San Juan del Río.
44. Querétaro.
45. Celaya.
46. Salamanca.
47. Guanajuato.
48. León.
49. Lagos de Moreno.
50. Aguascalientes.
51. Tepic.
52. Puerto Vallarta.
53. Ocotlán.
54. Zamora.
55. Iranuato.
56. Morelia.
57. Zitácuaro.
58. Toluca.
59. México.
60. Ciudad Sahagún.
61. Apizaco.
62. Jalapa.
63. Veracruz.
64. Córdoba.
65. Orizaba.
66. Tlaxcala.
67. Puebla.
68. Izucar de Matamoros.
69. Cuautla.
70. Cuernavaca.
71. Iguala.
72. Huixtapan.
73. Lázaro Cárdenas.
74. Colima.
75. Manzanillo.
76. Zihuatanejo.
77. Acapulco.
78. Chilpancingo.
79. Tehuacán.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	

80. Oaxaca.
81. Coatzacoalcos-Minatitlan.
82. Salina Cruz.
83. Tuxtla Gutierrez.
84. Juchitan.
85. Cárdenas.
86. Villa Hermosa.
87. Campeche.
88. Chetumal.
89. Mérida.
90. Tampico-Ciudad Madero.
91. Tapachula.
92. Cancún.
93. Ciudad del Carmen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-1, 2, 4.

EXTRACCION FUTURA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

Región	Millones de M ³ /año.	
	1990	2000
Baja California	44	71
Noroeste	432	728
Pacífico Centro	655	1070
Balsas	614	1139
Pacífico Sur Istmo	2057	3391
Bravo	624	1027
Golfo Norte	1130	1850
Papaloapan	2170	3577
Grijalva Usamacinta	316	513
Península de Yucatán	79	123
Cuencas Cerradas	195	288
Terma	595	960
Valle de México	565	788
Costa Centro	49	55
TOTAL NACIONAL	9525	15580

y la navegación, que no han registrado un uso de agua importante: pero podrán tener efectos relevantes en el manejo del agua a nivel local.

En el cuadro C-1.2.5. se muestra en resumen, el desarrollo de las principales actividades dependientes del agua.

I.3. El agua subterránea.

El agua subterránea constituye una importante fuente de abastecimiento y en algunas áreas es el recurso único para satisfacer las demandas. El agua subterránea mantiene una interrelación con el agua superficial: " la explotación de los acuíferos implica en muchas ocasiones la disminución del flujo base de un río y de la descarga de manantiales: en otros casos, la interacción del escurrimiento superficial mediante obras artificiales puede disminuir o cambiar la recarga de los acuíferos".

En las zonas costeras, los acuíferos se localizan principalmente en los aluviones recientes (gravas, arenas y arcillas); mientras que en el noroeste, en la península de Yucatán y en los altos de Chiapas los principales acuíferos se encuentran en calizas. En la parte central del país los acuíferos se encuentran ubicados predominantemente en las cuencas terciarias (sedimentos lacustres, conglomerados intercalados con rocas ígneas extrusivas).

La evaluación de la disponibilidad del agua subterránea se hizo mediante los resultados obtenidos en aproximadamente 250 estudios detallados, los cuales incluyen aspectos cuantitativos y cualitativos y cubren una superficie de 470,000 kilómetros cuadrados. Dichos estudios se complementarán con otros de reco

nocimiento regional.

La evaluación regional del agua subterránea renovable dio como resultado un volumen total de 31,000 millones de metros cúbicos anuales. Con respecto al volumen no renovable, hasta --- 1982 se habían realizado estudios en solo 5 regiones, lo que -- significa el 57% del área total del país; este volumen se calculo en 110,000 millones de metros cúbicos.

Existen otras zonas con posibilidades de mayor explotación de agua subterránea donde falta por realizar estudios.

Por lo que respecta a los estudios regionales por efectuar corresponden a un 27% del país, lo que equivale a 573,600 kiló-metros cuadrados.

Aunque todavía existen acuíferos subanrovechados, la sobrexplotación del agua subterránea se está generalizando principalmente en las zonas áridas y semiáridas, lo que ha ocasionado perjuicios prácticamente irreversibles, tales como: intrusión salina, hundimiento en el terreno y bombeo a profundidades económicamente incosteables.

El agua subterránea se sobrexplota en más de 30 acuíferos y en algunos de ellos puede llegarse a su inutilización completa; además, diversos acuíferos presentan problemas de contaminación debido a la infiltración de aguas negras.

Algunos de los efectos producidos por la sobrexplotación - del agua subterránea en diversas áreas son: en El Valle de Santo Domingo, BCS., parte del acuífero tiene abatimientos totales de 9.0 metros bajo el nivel del mar, lo que ha ocasionado intrusión salina: en la Comarca Lagunera, Coah., el nivel estático - ha descendido hasta alcanzar más de 60.0 metros de profundidad,

hecho que aumenta los costos de bombeo y perforación; en las -- Costas de Hermosillo, Son., se presenta un descenso general del nivel estático, el cual se encuentra bajo el nivel del mar lo -- que ha provocado intrusión salina, incremento en los costos de bombeo y el abandono de los pozos cercanos a las costas; en El Valle de México, la sobrexplotación de los acuíferos ha ocasionado el hundimiento del centro de la Ciudad de México y generado grietas que pueden afectar la infraestructura subterránea, -- así como edificaciones (Figura F-I.3.1.).

Para regular la explotación de las aguas subterráneas, se han establecido zonas de veda, en las cuales la extracción de -- agua se encuentra reglamentada y se efectúa con mayor o menor -- rigidez.

En el año de 1982 se tenía bajo veda el 55% del territorio nacional, además de la veda, se han iniciado acciones que permitan una mejor regulación de la extracción del agua subterránea en los acuíferos del Valle de México, Comarca Lagunera, Costa -- de Hermosillo y Valle de Santo Domingo (Figura F-I.3.2.).

Calidad del Agua.

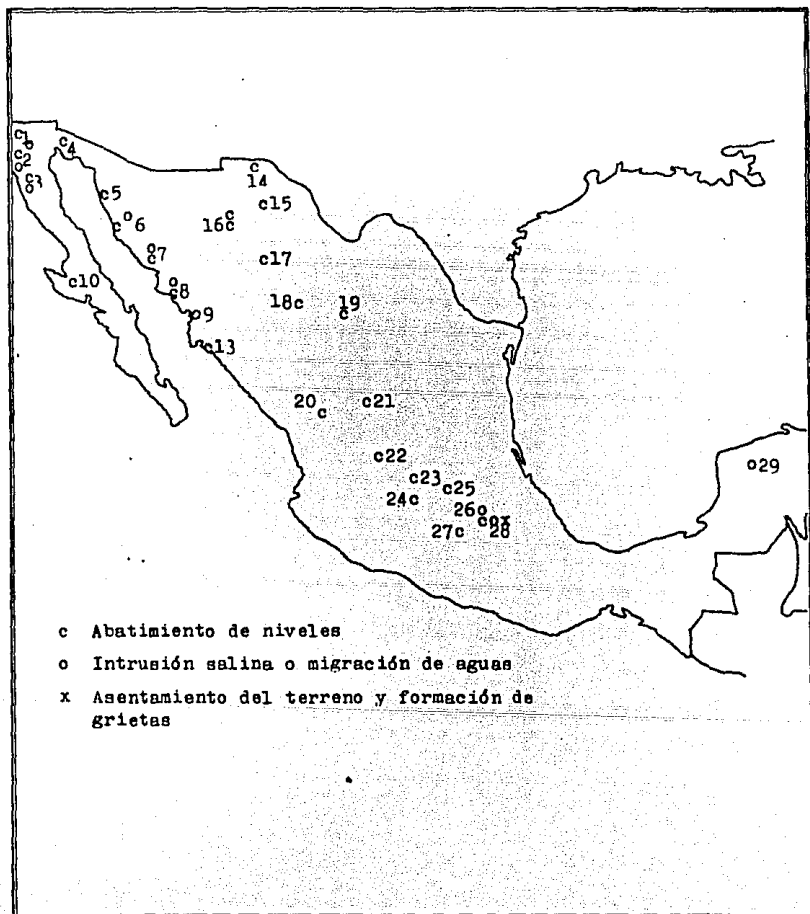
La contaminación de ríos, lagos, lagunas, estuarios, aguas litorales y mantos subterráneos; se origina por la descarga de sustancias que modifican la calidad natural del agua en los --- cuerpos receptores, e impide con ello desarrollar al máximo el potencial de uso del recurso. Los principales contaminantes -- son: materia orgánica y nutrientes, que ocasionan déficit de -- oxígeno disuelto, aumento del contenido de nutrientes y provoca la eutroficación; grasas y aceites los cuales, entre otros perjuicios disminuyen la transferencia de oxígeno; coliformes que



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1960.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-1.3.1.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERREHA.	

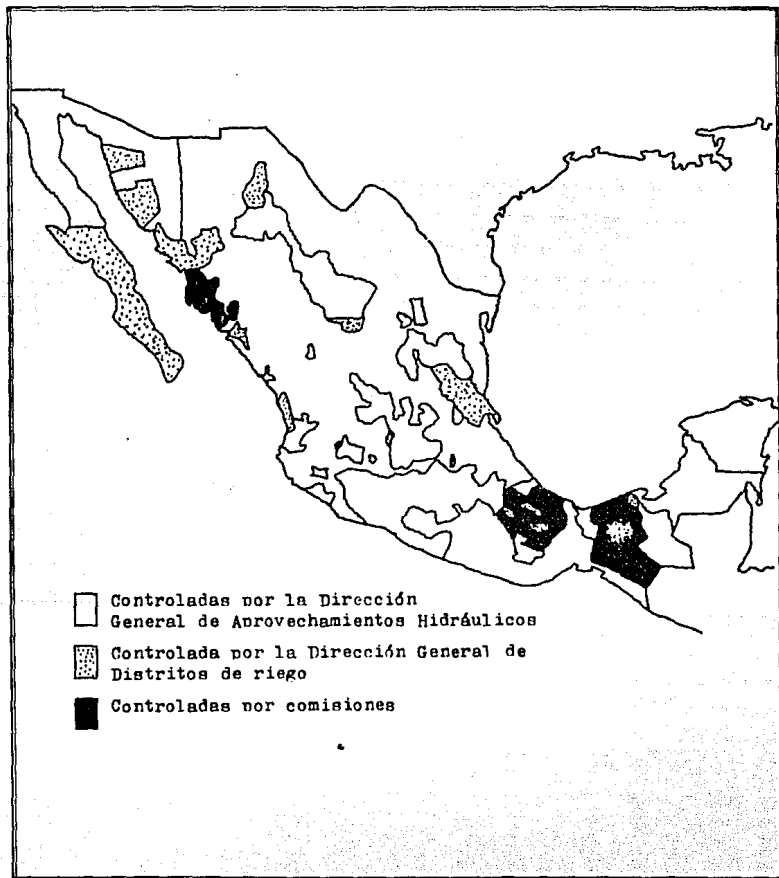
1. Ojos Negros.
2. Maneadero.
3. San Quintin.
4. Mexicali.
5. Caborca.
6. Hermosillo.
7. Guaymas.
8. Yaqui.
9. Mayo.
10. Vizcaíno.
11. Santo Domingo.
12. La Paz.
13. Sinaloa.
14. V. de Juárez.
15. V. Ahumada.
16. Casas Grandes.
17. Aldama.
18. Jiménez.
19. La Laguna.
20. Guadina-Poanas.
21. Catera.
22. Aguascalientes.
23. León.
24. Celaya.
25. Querétaro.
26. Tula.
27. Toluca.
28. Valle de México.
29. Mérida.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FIDRES HERRERA	FIGURA F-1.3.2.



afectan la salud, y metales pesados y pesticidas que ejercen -- efectos letales a corto, mediano y largo plazo sobre la flora y fauna acuáticas.

De una manera general, la calidad del agua es excelente en regiones con alta disponibilidad, como en las regiones Balsas, Pacífico Sur Istmo, Golfo Norte y Grijalva-Usumacinta; en contraste con las de baja disponibilidad: Lerma, Bravo, Cuencas cerradas y Valle de México, donde la calidad del agua varía de -- fuertemente contaminada a contaminada.

Un problema grave que enfrenta un gran número de acuíferos es la recirculación que se hace de sus aguas, lo que ha provocado la degradación del recurso particularmente en zonas como El Valle de México, Tula y Mérida; donde se infiltran aguas negras (Figuras P-1.3.3. y P-1.3.4.).

I.4. Balance hidráulico.

Se ha denominado balance hidráulico a la comparación que se realiza entre los volúmenes que se extraen y consumen los diferentes usuarios, y la disponibilidad anual de agua renovable.

La escasez de agua o la posibilidad de que ocurra se detecta mediante balances a nivel regional. El cálculo de la oferta natural de agua se basa a nivel de cuenca, en el volumen superficial escurrido y en las recargas naturales a los acuíferos. Los escurrimientos se estiman mediante los registros hidrométricos de 998 estaciones y la recarga a los acuíferos se cuantifica de acuerdo con la información actual.

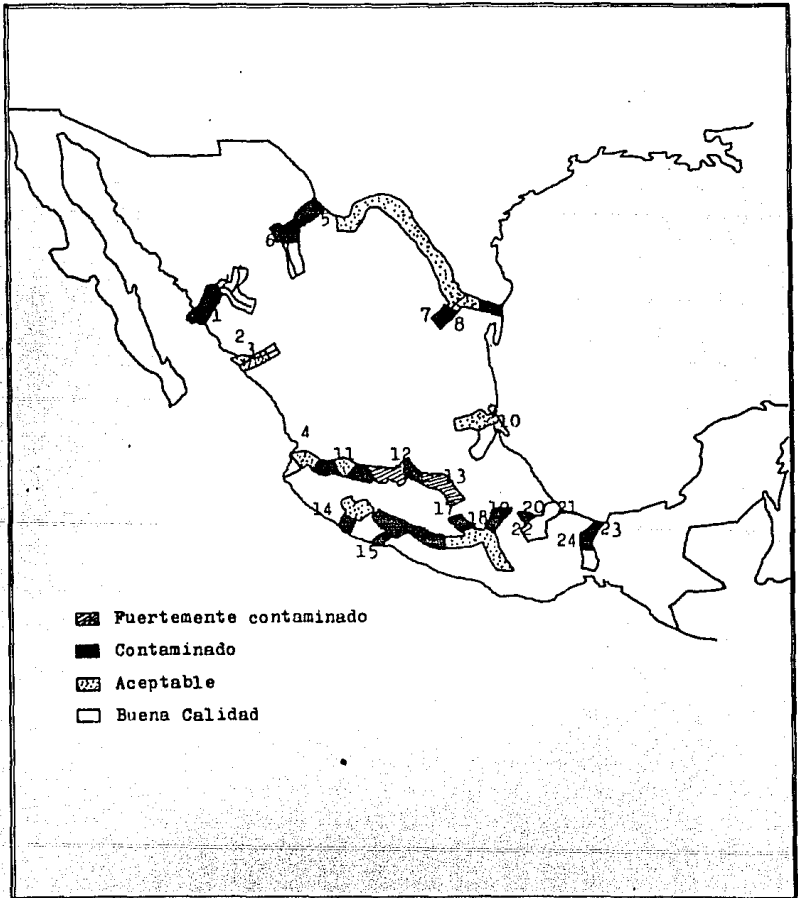
La oferta efectiva de agua en una cuenca depende de la infraestructura hidráulica construida y de la prevista. Al calcul



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-1.3.3.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1989.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	

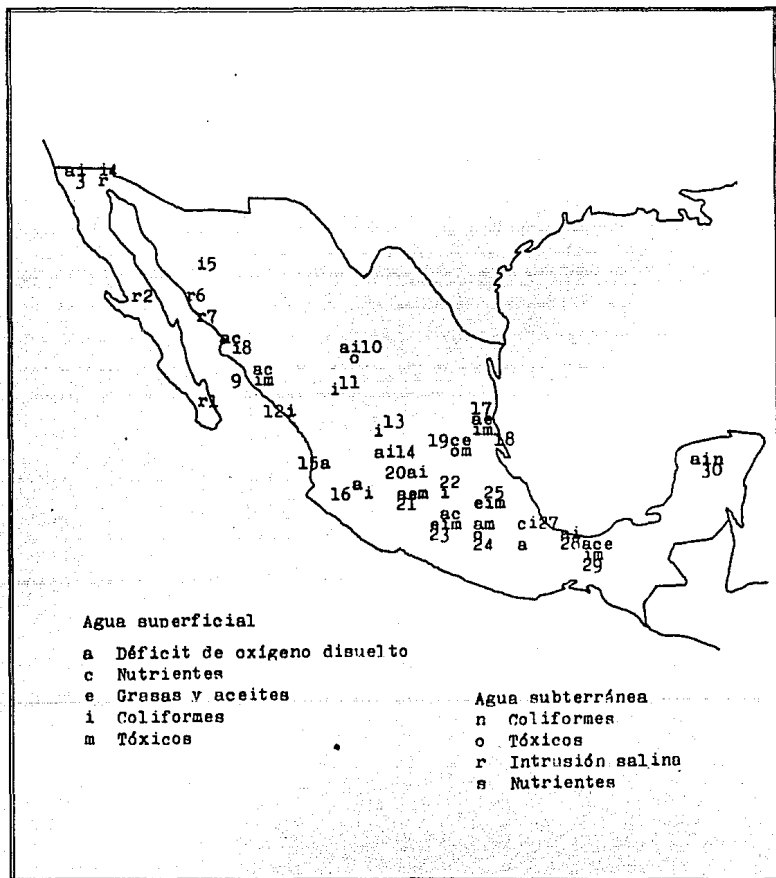
1. Los Mochis.
2. Culiacán.
3. El Dorado.
4. Tepic.
5. Ojinaga.
6. Chihuahua.
7. Monterrey.
8. Cadereyta.
9. Ciudad Madero.
10. Tampico.
11. Guadalajara.
12. Salamanca.
13. Querétaro.
14. Tecomán.
15. Lázaro Cárdenas.
16. Ciudad Altamirano.
17. Toluca.
18. Cuernavaca.
19. Puebla.
20. Córdoba.
21. Veracruz.
22. Orizaba.
23. Coatzacoalcos.
24. Minatitlán.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FIDRES HERRERA	FIGURA F-1.3.4.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN



INGENIERIA CIVIL

TESIS PROFESIONAL .	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS .	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	

1. Ia Paz.
2. Vizcaíno.
3. Tijuana.
4. Mexicali.
5. Hermosillo.
6. Costa de Hermosillo.
7. Guaymas.
8. Los Mochis.
9. Culiacán.
10. Torreón-Gómez Palacio.
11. Durango.
12. Mazatlán.
13. Zacatecas.
14. Aguascalientes.
15. Tepic.
16. Guadalajara.
17. Tampico.
18. Ciudad Madero.
19. Ciudad Valles.
20. León.
21. Salamanca.
22. Querétaro.
23. Toluca.
24. México, D. P.
25. Tula.
26. Orizaba y Córdoba.
27. Veracruz.
28. Cosamaloapan.
29. Coatzacoalcos y Minatitlán.
30. Mérida.

lar dicha oferta se tomó en cuenta el agua superficial y la explotación de los acuíferos; así como las obras actuales y las de proyecto de grande y nequeña irrigación, drenaje, temporal, abastecimiento a ciudades e industrias y obras hidroeléctricas.

El cuadro C-I.4.1. muestra el comportamiento hidráulico -- por regiones.

Al inicio del año 1980 se extraía un volumen anual de ---- 155,000 millones de metros cúbicos, equivalente al 39% de la -- disponibilidad media anual de agua renovable. Se estima que na ra el año 2000 se demandaran alrededor de 500,000 millones de -- metros cúbicos, que equivaldrán al 126% de la disponibilidad me dia anual; de este volumen, el 75% corresponderá a la generación de energía eléctrica. Se espera que en el período de 1980 a -- 2000 la extracción se incrementará con un ritmo del 6.1% anual.

En 1980 el consumo de agua fue de 42,000 millones de metros cúbicos, que equivalieron al 11% de la disponibilidad media --- anual; de los cuales el 91% correspondio a la agricultura. Se estima que para el año 2000 el consumo se incrementará a 90,000 millones de metros cúbicos que representan el 23% de la disponi bilidad media anual; aunque la agricultura absorberá el 90% del total, la industria, la poblución y la generación de energía -- eléctrica registrarán incrementos importantes. De 1980 al año 2000 se prevé que el consumo de agua se duplicará, con una tasa anual de crecimiento del 3.5%.

El pronóstico de que se extraerá hacia fines del siglo un volumen de agua superior a la disponibilidad media anual renova ble, implica la necesidad de manejar los recursos hidráulicos -- mediante obras de propósitos múltiples, así como incrementar el



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-1.4.1.

EXTRACCION Y CONSUMO DE AGUA POR REGIONES

Millones de M³

Región	Extracción			Consumo		
	1980	1990	2000	1980	1990	2000
Baja California	3649	3524	3344	2848	2616	2366
Noroeste	23234	30999	42555	11544	14270	16681
Pacífico Centro	3481	16290	29582	1897	4275	6173
Balsas	36911	49769	70354	3575	5813	6510
Pacífico Sur Istmo	2270	5922	57908	930	2260	7813
Bravo	11461	15862	17749	6184	7380	8477
Golfo Norte	3613	8838	23456	820	4554	11548
Papaloapan	11398	17263	29556	1984	3849	6574
Grijalva Usumacinta	35760	66419	168309	275	2086	3095
Península de Yucatán	516	1304	1905	330	860	1562
Cuencas Cerradas	2867	3493	4048	2147	2589	2913
Lerma	11331	13417	15115	4585	5945	6523
Valle de México	5820	7148	8951	3676	4398	5392
Costa Centro	3503	6876	8358	877	1742	2949
TOTAL	155814	247129	481190	41672	62637	88576

"reuso del agua" y crear sistemas organizativos que contemplen la participación responsable de los distintos usuarios.

Es importante hacer notar que a partir de las consideraciones anteriores, el presente trabajo se delimitara exclusivamente a la Cuenca del Valle de México y específicamente al Distrito Federal.

El acelerado incremento de la población del Distrito Federal en los últimos años ha provocado que las fuentes de abastecimiento de agua potable sean insuficientes para proporcionar el servicio adecuado a sus habitantes.

Desde 1940 se han estado explotando los acuíferos de los Valles de México y Lerma, con el objeto de abastecer a toda el Área Metropolitana de la Ciudad, la cual incluye la zona conurbada del Estado de México.

Actualmente, dichos acuíferos están sobreexplotados; es decir, la extracción es mayor que el volumen que se infiltra.

La solución sería captar nuevas fuentes lo más cercanas a la Ciudad de México, pero que no afecten las condiciones hidrológicas del subsuelo y permitan al mismo tiempo reducir la explotación de los acuíferos mencionados. El inconveniente que existe, es que estas nuevas fuentes tienen niveles muy bajos con respecto a la Cuenca del Valle de México, lo que originaría costos cada vez mayores (Cuadro C-1.4.2.).

El Distrito Federal ocupa aproximadamente 15% de los 9600 kilómetros cuadrados del Valle de México, donde la mayor parte de la lluvia se concentra de junio a septiembre. Del volumen de lluvia medio anual, equivalente a 213 metros cúbicos por se-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYDN.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-1.4.2.

EVOLUCION DE LAS FUENTES ACTUALES Y FUTURAS

Fuente	Aportación M ³ /seg.				
	1985	1986	1987	1988	2000
Valle de México.					
- Pozos municipales	4.800	4.088	3.376	2.600	2.600
- Pozos del sur	1.612	1.506	1.400	1.400	1.400
- Sistema Xoch-Mixquic-Kotepingo	5.803	5.263	4.683	4.683	4.683
- Sistema Tlahuac-Netzahuac coyotl	0.459	0.371	0.211	0.160	0.160
- Sistema Aguas del Norte					
Tizayuca-Pachuca	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Reyes-Ferrocarril	4.010	3.804	3.598	3.598	3.598
Reyes-Ecatepec	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Valle Lerma.	7.800	7.500	7.200	6.900	3.600
Fuentes lejanas.					
- Cutzamala					
1a. etapa	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
2a. etapa	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
3a. etapa	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
- Amacuzac					
1a. etapa		8.800	8.800	8.800	8.800
2a. etapa					3.000
3a. etapa					1.000
- Tecolutla					17.700
TOTAL:	48.984	55.832	53.768	52.641	70.241
- Fuentes alternativas potenciales					
Tepeji-Tlautla-Rosas	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Presa Guadalupe		3.000	3.000	3.000	3.000
Libres oriental		7.000	7.000	7.000	7.000

gundo (M3/seg.), se estima que 171 M3/seg. se evapotranspiran; 23 M3/seg. recargan el acuífero y 19 M3/seg. escurren superficialmente; de estos se regulan 3 M3/seg. para su aprovechamiento y se desalojan los 16 M3/seg. restantes.

Los estudios realizados hasta la fecha para conocer las necesidades de agua futuras en el Distrito Federal, tienen como punto de partida las proyecciones de población realizadas por el Colegio de México, el cual adoptó la hipótesis de crecimiento demográfico de Ciudad descentralizada, que plantea la descentralización administrativa del Distrito Federal y por tanto un crecimiento más uniforme de los servicios lo cual se traduce en mayor disponibilidad de expansión del área urbana. Esta hipótesis estima una población de 17 millones de habitantes en el año 2000 para el Distrito Federal, y para el Área Metropolitana de la Ciudad de México de 28.6 millones de habitantes.

En base a ésta hipótesis se espera tener el siguiente comportamiento:

AÑO	POBLACION(1)	DEMANDA(2)
1985	11.1461	47.7780
1990	13.1167	54.7730
1995	15.2377	60.9550
2000	17.0229	70.9040

Hacia el año 2000, el Distrito Federal producirá aproximadamente 50 metros cúbicos por segundo de aguas residuales, que constituyen un recurso valioso; debidamente tratadas podrían aprovecharse en el mismo Distrito Federal para usos recreativos y en algunas actividades industriales y comerciales.

(1) millones de habitantes

(2) metros cúbicos por segundo

Para entonces el incremento en el uso de aguas negras tratadas reducirá la demanda de agua potable; será necesario disminuir a 12.941 M³/seg. los caudales de agua subterránea por los problemas de sobreexplotación e importar agua de cuencas vecinas. Al respecto la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos desarrolla proyectos que permitirán transportarla desde las --- cuencas de Cutzamala, Amacuzac y Tecolutla: ya que de seguir so brexplotando el acuífero del Valle de México, se acelerarían -- los efectos destructivos del hundimiento y podrían llegar a extraerse aguas fósiles de calidad indeseable (Figura P-I.4.1.).

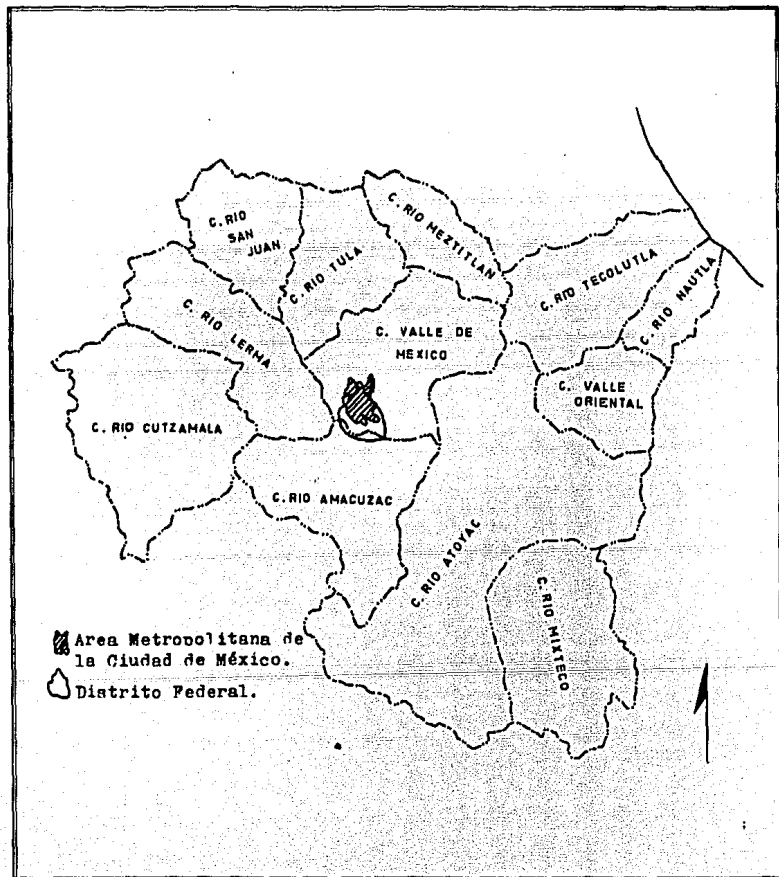
El cuadro C-I.4.3. muestra el balance hidráulico estimado para el año 2000.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO. ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-1.4.1.



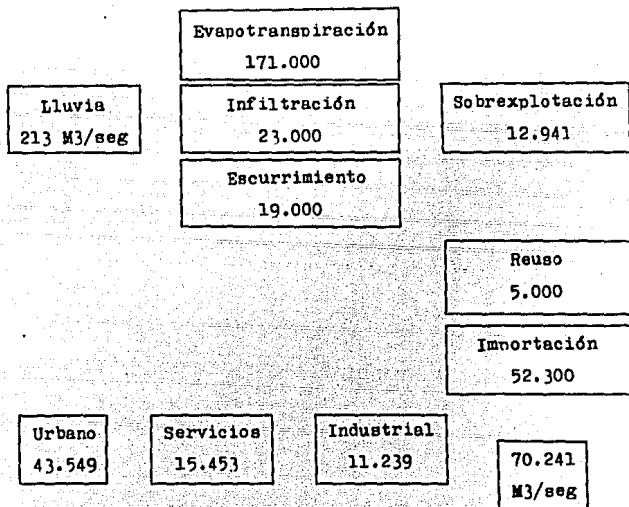


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-143.

BALANCE HIDRAULICO



CAPITULO I I

II. ESTUDIOS PREVIOS.

II.1. Estudio geológico.

La recarga de los acuíferos del Valle de México con aguas residuales tratadas, que es la finalidad que persigue el presente trabajo, requiere como punto de partida un conocimiento detallado de las condiciones geológicas e hidrológicas en el Valle.

En tanto que los procesos geológicos confinaron al Valle su configuración actual, la cual concluyó hace miles de años; - la actividad hidrológica se inició apenas un siglo y en el transcurso de los últimos decenios ha aumentado a un ritmo asombroso con todas las consecuencias que ello implica. Una de estas consecuencias es la necesidad ineludible de reducir el sobrebombeo del acuífero y de importar agua potable de otras cuencas.

La cuenca del Valle de México está comprendida en el centro de una gran zona volcánica, cuyas erupciones ocurridas en distintas fases han formado acumulaciones extraordinarias de lavas, tobas y brechas; que dependiendo de su edad geológica se hallan en distinto grado de conservación.

La cuenca del Valle de México tiene un contorno irregular, estando alargada de Norte a Sur, partiendo el eje mayor desde las chinampas de Xochimilco al suroeste, hasta las regiones semiáridas de Pachuca en el Norte con una extensión de aproximadamente 110 kilómetros. Su eje menor en una extensión de 80 kilómetros desde los bosques de la sierra de Las Cruces en el oeste, hasta las cimas nevadas del Iztaccihuatl en el este.

Esta gran planicie al centro tiene una altitud de aproximadamente 2240 metros sobre nivel de mar y 2390 metros sobre nivel de mar en el norte, contando con numerosos lagos someros; siendo el lago de Texcoco el mayor y el que ocupó el nivel más bajo, - siguiéndole en importancia la laguna de Zumpango y el lago de Chalco (Fig. P-II.1.1.).

El Distrito Federal ocupa una superficie de 1480 kilómetros cuadrados en la región suroeste del Valle, y en ella se levanta la Ciudad de México; parte esta desplazada en las estribaciones de la sierra de Las Cruces y la restante sobre el fondo del lago de Texcoco.

El subsuelo de la Ciudad de México es complejo y su estructura es en gran medida desconocida. Se ha planteado la conveniencia de obtener un mayor conocimiento del subsuelo para poder dictaminar con mayor precisión mediante estudios geofísicos; explorando los 200 metros superficiales por medio de sondeos eléctricos de resistividad y a profundidades mayores con métodos -- sismológicos.

De los estudios realizados, es posible reconocer las siguientes fases que intervinieron en la formación de la cuenca del Valle de México:

- Calizas marinas del Cretácico plegadas en el Eoceno Inferior.
- Formación del Morro.
- Formación de vulcanitas Xochitepec del Oligo-Mioceno.
- Grupo de las sierras menores.
- Grupo de las sierras mayores pliocénicas con sus abanicos volcánicos.

- Basaltos del Cuaternario Superior con el grupo chichinautzin.

- Relleno Cuaternario.

Para describir la geología de la Ciudad de México, basta con referirse a las últimas cinco formaciones.

- Formación de vulcanitas Xochitpec del Oligo-Mioceno.

El basamento volcánico del Terciario Medio de la cuenca -- del Valle de México representado por la formación de Xochitpec, está afectado por dos sistemas de fracturas y fallas. Uno, el más antiguo corre de suroeste (SW) a noreste (NE); el otro subsecuente corre de sureste (SE) a noroeste (NW). Ambos sistemas han creado hundimientos escalonados, es decir fosas y nilares. Es muy difícil definir con claridad las estructuras individuales de este tectonismo, en vista de escasos afloramientos de rocas de esta edad de la cuenca.

El fracturamiento SW-NE está bien caracterizado por la falla Apan-Tlaloc que afecta en su prolongación sur la sierra del Tepozteco. El fracturamiento SE-NW está señalado en parte por el alineamiento Popocatepetl-Cerro de los Pinos de Chimalhuacán y sierra de Guadalupe. Ambos fracturamientos que forman una -- equis, probablemente son el resultado de tectónicas antiguas: -- aunque reactivadas en el Terciario por movimientos laterales de la Placa de Cocos acoplados con hinchamientos al crearse la Paja Volcánica.

- Grupo de las sierras menores.

A fines del Mioceno se formaron las sierras de Pachuca, de Tepetzotlán, de Guadalupe, del Patlichique y del Tepozan. Consisten en estrato-volcanes menores y medianos de composición --

andesítica y dacítica, así como de domos esencialmente dacíticos (Fig. P-II.1.2.).

Estas formaciones están por lo general ligadas a fosas individuales. Así, la sierra de Guadalupe está relacionada con una fosa dirigida al este-sureste (ESE), delimitada al sur por el cerro de Santa Isabel. La sierra de Tenotzotlan obedece a un control tectónico dirigido al norte-noreste (NNE) y a un segundo dirigido al este-sureste (ESE). La sierra de Pachuca, -- constituye el borde de un graben dirigido al este-sureste (ESE), sobre cuyo borde sur se eleva la sierra de Guadalupe.

*Grupo de las sierras mayores pliocénicas con sus abanicos volcánicos.

Subsecuentemente se crearón las elevadas sierras al este y al oeste de la cuenca del Valle de México. La sierra de Las -- Cruces al oeste y la sierra Nevada al este. Estas sierras esen cialmente de lavas norfidoandesíticas son el producto de numero sos estrato volcanes de prodigiosa erutividad. La formación - Tarango, consistente en piroclásticos depositados a los pies de estas sierras, es testigo de dicha actividad explosiva (Fig. P-II.1.3.).

Tanto la sierra de Las Cruces como la sierra Nevada, constituyen promontorios dirigidos al norte-noroeste (NNW). En el caso de la sierra de Las Cruces es posible considerarla una pro longación al sur-sureste (SSE) de un prominente alineamiento de fallas que provienen del área de Querétaro.

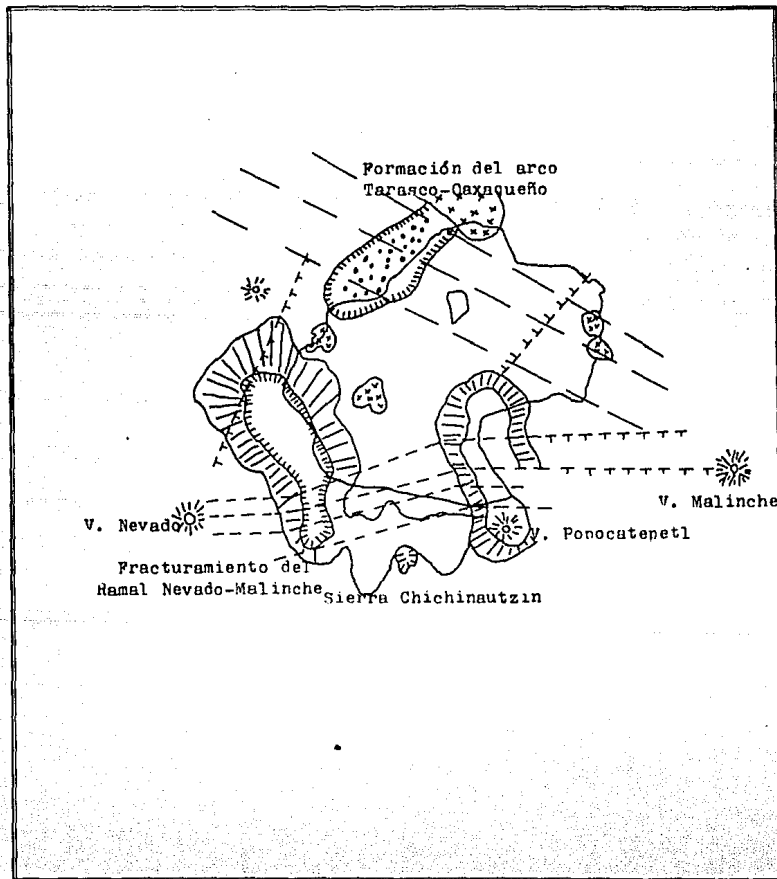
El fracturamiento dirigido al noroeste afecta claramente - la sierra de Salazar con un graben que se extiende hasta el ce rro del Ajusco en el sur; mientras que el fracturamiento dirigi



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-11,1,2.

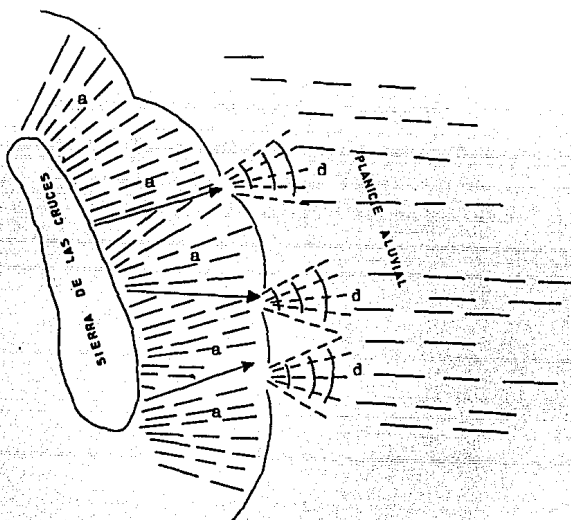




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
REGARSA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F - II.1.3.



a abanicos volcánicos
d deltas fluviales en planicie

do al noreste, afecta los elementos antiguos del cerro de las - Palmas en la barranca de Contreras. Afuera del espacio de estas sierras es probable que la fosa de Cuatlenec, que corta la sierra de Guadalupe en sentido noreste, se halla formado en el mismo tiempo.

Red de valles del Plioceno-Cuaternario.- Durante este tiempo continuaron erupciones en las cumbres de las grandes sierras, formando a menudo domos andesíticos y dacíticos. Al mismo tiempo se desarrolló por enfriamiento del clima y principio de glaciaciones la red fluvial que drena hacia el Alto Amacuzac. De aquí, es posible reconstruir dos valles; el mayor drenando al área de Cuernavaca y el menor al área de Cuautla (Fig. P-II.1.4).

En el suroeste de la cuenca del Valle de México, la evidencia morfológica, así como datos derivados de la perforación de pozos, permiten reconstruir al pie de las lomas; entre el cerro de Chapultepec en el este y el Peñon de Los Baños en el oeste, - un valle importante que corre desde la sierra de Guadalupe hasta el espacio entre la sierra de Zempoala y la sierra del Tepozteco. Debajo de Xochimilco, este valle sepultado acusa una profundidad erosional de unos 600 metros. El mencionado valle recibe cuatro importantes efluentes; al norte el río Hondo, al centro los ríos de Mixcoac y Contreras y al sur el río Ajusco, este último sepultado hoy por las lavas del Pedregal.

•Basaltos del Cuaternario Superior con el grupo Chichinautzin.

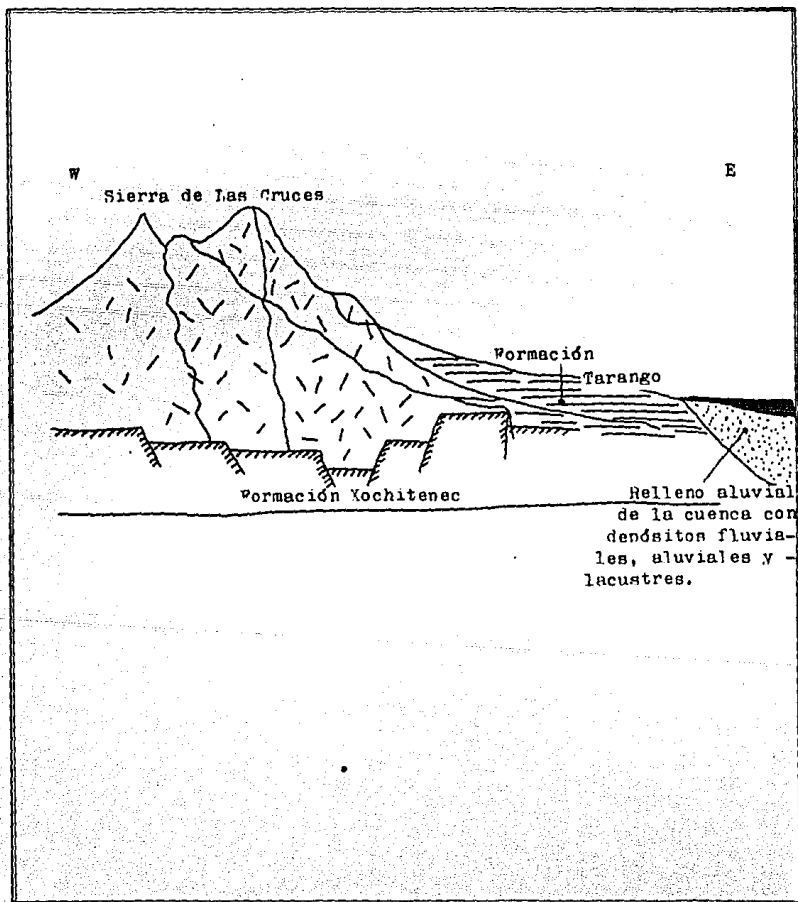
Hacia fines del Plioceno cambio el régimen tectónico, se formaron fracturas dirigidas esencialmente de este-oeste (fracturamiento Malinche-Nevado). En el sur de la cuenca esta fami-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J A RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F FLORES HERRERA.	FIGURA F-11.1.



lia de fracturas sufrió una ligera deflexión, manteniendo una dirección WSW-ENE (Fig. P-II.I.2.). Así se produjo el alineamiento volcánico de la sierra de Santa Catarina, repetido en numerosas hileras de conos de Tezontle en las cumbres de la sierra del Chichinautzin. Este tectonismo dió origen primero a andesitas, enseguida a andesitas basálticas y finalmente en el Cuaternario Superior abrió paso a las grandes masas de basalto con olivino que constituyeron la mencionada sierra del Chichinautzin, con un volumen aproximado de 1000 kilómetros cúbicos de lavas. Esta sierra, caracterizada en la superficie por más de 120 conos cónicos cerró la cuenca del Valle de México.

Helleno Cuaternario.

Las erupciones de la sierra del Chichinautzin se produjeron de acuerdo con mediciones paleomagnéticas en los últimos 700,000 años. Una vez cerrado el espacio entre el Popocatepetl y la sierra de Zempoala en el sur y las cabeceras del sistema hidrográfico por Pachuca en el norte, éste se fue azolvando rápidamente.

Cada río descendía de las sierras y fue formando hacia las partes centrales de la cuenca un abanico de dyección de clásticos que guardaba semejanza con un delta. Así es posible, suponer en el subsuelo de la Ciudad de México potentes abanicos de gravas y arenas formados por los ríos Hondo, Mixcoac, Contreras y Ajusco. En otras parte de la cuenca el río de las Avenidas de Pachuca, los ríos Cuatitlan, Teotihuacan y Compañía también formaron deltas importantes (Fig. P-II.I.5.).

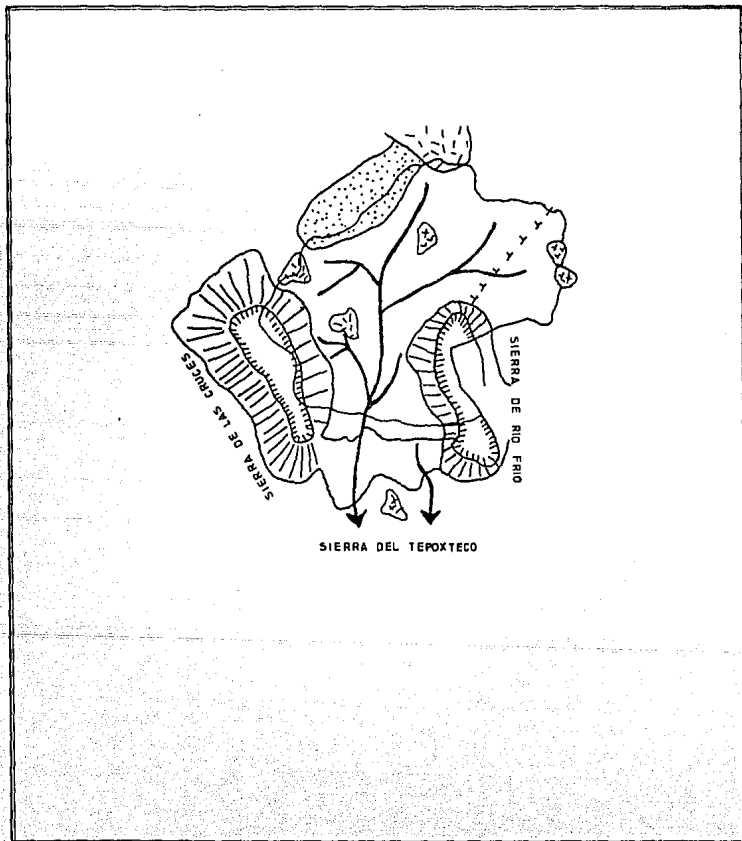
Las partes centrales de la cuenca (Fig. P-II.I.6.), alejadas de los bordes, eventualmente fueron llenandose con depósitos limo-arenosos, los cuales se interestratificaron con suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J.A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1980.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-11.1.5.

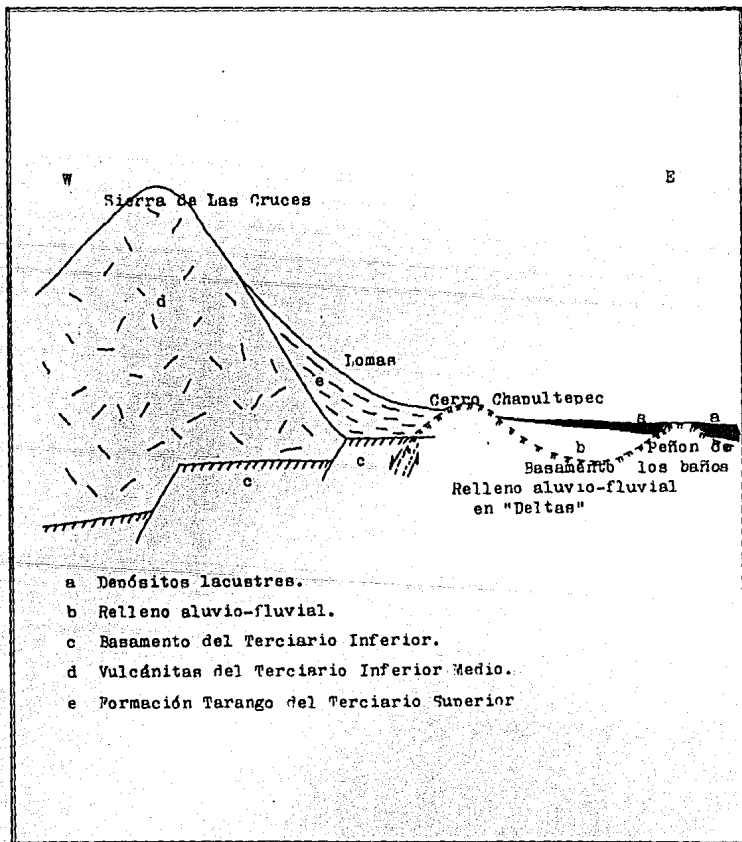




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-11.1.6



y canas de cenizas y pómez provenientes de las erupciones volcánicas originadas principalmente en el sur. A medida que se rellenaba la cuenca fueron apareciendo lagos, principalmente en las partes centrales bajas del sur (Fig. P-II.1.7.). Finalmente durante las glaciaciones de los últimos 2 millones de años, acompañadas de lluvias abundantes, pudieron formarse cuernos -- de agua importantes, que a veces se unían en un sólo gran lago meridional.

En relación a los lagos pleistocénicos y recientes, puede establecerse una división en dos:

- a) lagos formados en las partes bajas, que constituyen vasos de evaporación y por ello, en ocasiones, fueron salobres. Se trata de los lagos de Xaltocan y Texcoco.
- b) lagos que se formaron al pie de la sierra del Chichinautzin que fueron nutridos continuamente por manantiales -- prolíficos y que por ello fueron de agua dulce.

El antiguo lago de Tenochtitlan, así como también el de -- Zumpango representan un caso intermedio, habiendo sido casi --- siempre dulce debido a los manantiales de Chapultepec y a las -- importantes aportaciones de arroyos de las lomas. Sin embargo, su límite oriental con el lago de Texcoco fue siempre dinámico, avanzando y retrocediendo las aguas salobres del último, de --- acuerdo con el régimen de lluvias.

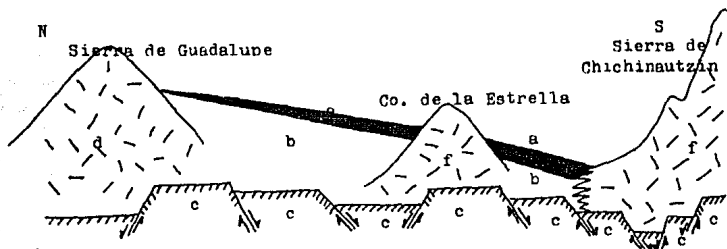
Dependiendo de las condiciones climáticas, húmedas o secas glaciales o interglaciales, los lagos crecían o se reducían. -- Así los depósitos lacustres en el centro de la cuenca, por el -- área al noroeste de Chimalhuacan, alcanzan un espesor que va -- disminuyendo al este y al oeste, acusando debajo del zócalo unos



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-11.1.7.



- a Depósitos lacustres.
- b Relleno aluvio-fluvial.
- c Basamento del Terciario Inferior.
- d Vulcánitas del Terciario Inferior Medio.
- f Vulcánitas del Cuaternario.

60 metros y desapareciendo al pie de las Lomas de Chapultepec. Intercalados en la formación de arcillas lacustres, aparece entre 20 y 40 metros una capa dura debajo de gran parte de la Ciudad de México, la cual desaparece hacia el centro del vaso de Texcoco. Esta capa es testigo de una época seca en la que se redujeron considerablemente los lagos centrales.

II.2. Estudio geohidrológico.

La cuenca del Valle de México semeja una gran olla cuyas paredes y fondo impermeable son las rocas volcánicas, andesitas y dacitas del Terciario Medio y del Terciario Superior. Dicha olla está llena de sedimentos fluviales, lacustres y volcánicos producidos en el Cuaternario reciente al cerrarse la cuenca por el sur: contiene rocas, clásticos de erupciones basálticas o andesitas de todo el período Cuaternario. Estas últimas formaciones permeables y de alta porosidad incluyen la sierra del Chichinautzin, por lo que, geohidrológicamente, es probable que la cuenca no sea cerrada hacia el sur. Así las aguas almacenadas en la cuenca del Valle de México contribuyen seguramente al gran caudal de aguas que afloran al sur de Cuautla y Cuernavaca en prodigiosos manantiales.

Por otra parte el basamento oligocénico tan fracturado posibilita ciertas fugas al norte y noroeste. Se comprobó las fugas al norte por mediciones piezométricas que acusan un descenso de los niveles freáticos a partir de Zumpango hacia el norte y otro descenso más a partir de Huehuetoca al oeste.

Sobre las andesitas al este, oeste y norte de la Ciudad de México, descansa la formación Tarango, con antecedente en el Plioceno por clásticos sedimentarios, depósitos de piemonte, pi

roclustos, conglomerados pluviales y depósitos de pómez; es muy variada y tiene alguna cementación, por lo que no es muy permeable.

En la parte central del Valle, los depósitos son de origen fluvial o lacustre muy recientes; su permeabilidad depende, principalmente del tamaño del sedimento, que varía desde arenas hasta arcillas como consecuencia de los cambios climáticos que producían crecimiento y reducción en la superficie de los lagos al centro del Valle: los últimos 100,000 años fueron de mucha actividad volcánica y humedad, lo que provocó abundantes depósitos de arcilla de origen volcánico cuya estructura, formada en un ambiente húmedo, es de grandes huecos llenos de agua. Estos depósitos son impermeables, se hallan cubiertos por una capa de suelo vegetal o rellenos artificiales muy recientes y descansan sobre intercalaciones de arenas, limos y arcillas más permeables en el fondo de la cuenca.

Los estratos de arcilla superior e inferior del subsuelo juegan un papel muy importante para la Ciudad de México, ya que sobre ellos descansan los cimientos de las construcciones; además son mantos que ceden agua, por lo que se asientan al abatirse las presiones en el acuífero profundo, debido al bombeo. Las propiedades que influyen en el comportamiento de estos mantos son: Permeabilidad, Coeficiente de compresibilidad y Relación de vacíos.

A continuación se mencionan algunos conceptos básicos, para tener una idea más clara en lo que consiste el estudio geohidrológico.

Acuífero.- Es una zona subterránea natural que almacena y

transmite agua de buena calidad de tal manera que puede extraerse en cantidad económicamente aprovechable.

Se considera acuífero a una arenisca que da unos cuantos litros por segundo en una región desértica; y se considera roca impermeable a la misma formación si está en un valle aluvial de gravas y arenas.

Acuífugo.- Es una zona subterránea natural que no almacena ni transmite agua.

Acuícludo.- Es una zona subterránea natural que almacena agua pero que no la transmite en cantidades significativas en un balance regional de aguas subterráneas.

Acuífardo.- Es una zona subterránea que almacena agua y la transmite en cantidades que afectan un balance regional de agua subterránea pero que no se puede aprovechar directamente mediante pozos.

Acuífero libre.- Un acuífero que tiene como límite superior el nivel freático se le llama acuífero libre.

Acuífero semiconfinado.- Un acuífero limitado superiormente por una formación poco permeable y que tiene agua a mayor presión que la atmosférica se le llama acuífero semiconfinado.

Acuífero confinado.- Si la permeabilidad del material confinante es tan baja que prácticamente no interactúa con el acuífero se dice que éste es confinado (Fig. F-II.2.1.).

Porosidad (n).- Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de un material, expresada en porcentaje.

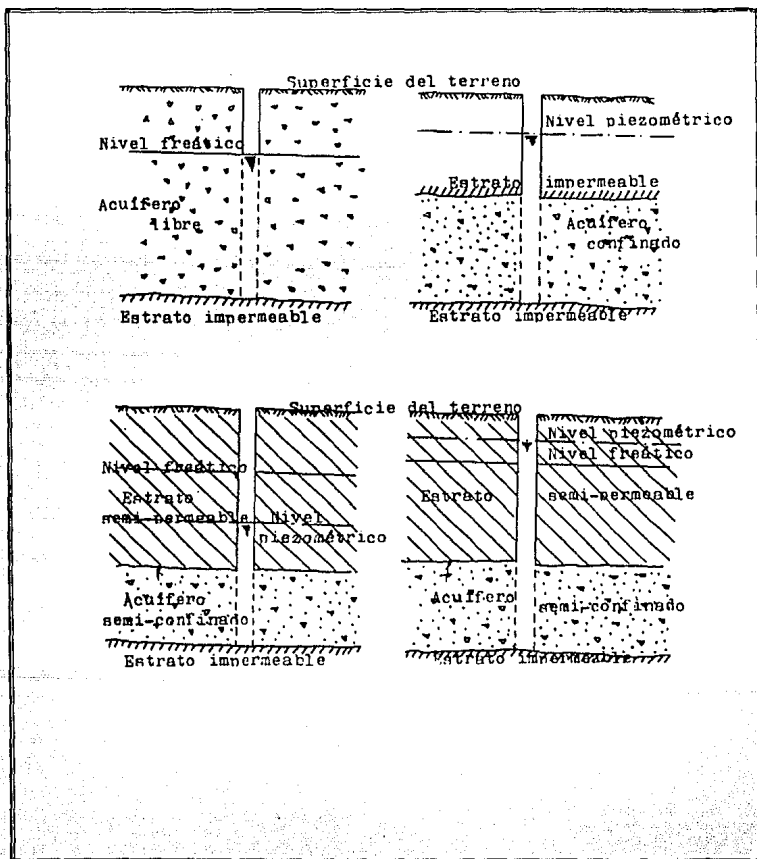
$$n(\%) = \frac{V_v}{V_t} \times 100 \quad \text{ec. II.2.1.}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA 6-11.2.1.



donde: V_v volumen de vacíos, en metros cúbicos

V_t volumen total, en metros cúbicos

Porosidad primaria.- Cuando se refiere a los poros intergranulares originales de la roca o espacios en planos de estratificación.

Porosidad secundaria.- Es el resultado de fracturas o canales formados por procesos posteriores a la formación de la roca.

La porosidad intergranular se presenta principalmente en materiales arcillo-arenosos y su magnitud depende del tamaño de las partículas, arreglo; así como de su homogeneidad, incluye también el grado de cementación. La porosidad en rocas fracturadas es difícil de cuantificar.

La porosidad es independiente de la permeabilidad y del volumen de agua que una roca puede almacenar por inyección, sin embargo, una roca con alta porosidad es más probable que pueda utilizarse para recarga, que una en la que no exista porosidad. La mayoría de los valores de porosidad fluctúan entre 20% y 5%.

Rendimiento específico (S_y).- Es la cantidad de agua que libera un material drenado por gravedad, por unidad de volumen total.

Retención específica (n_r).- Es la cantidad de agua retenida por un material contra la gravedad por unidad de volumen total; es agua retenida por fuerzas moleculares y capilares.

Coefficiente de permeabilidad (K).- La permeabilidad de una roca es la capacidad de transmisión de un fluido, sujeto a un gradiente.

$$\frac{Q}{A} = K \frac{h}{l} \quad \text{ec. II.2.2}$$

donde: Q flujo filtrado en m³/seg
 A área normal al flujo, en m²
 h gradiente, en m
 l longitud de filtrado, en m
 K coeficiente de permeabilidad, en m/seg

La permeabilidad intergranular está directamente influenciada por el tamaño de los granos de la roca; en contraste con la porosidad, donde el tamaño de los granos es independiente. A menor tamaño de grano, menor será la permeabilidad; así, las arcillas prácticamente no presentan permeabilidad, razón por la que se considera a estos materiales como intervalos confinantes. La permeabilidad se calcula como el cociente del gasto entre el área.

Valores de permeabilidad para zonas donde se va a efectuar una recarga son mayores de 1×10^{-5} m/seg, valores de 1×10^{-3} m/seg se consideran valores buenos. Las arcillas llegan a presentar valores de 1×10^{-7} m/seg.

Almacenamiento específico.- Es el volumen de agua que sale por unidad de volumen de un acuífero cuando la carga hidráulica desciende una unidad de longitud. En acuíferos confinados el agua que sale al descender la presión hidráulica proviene de la expansión elástica de la propia agua y de la compresión de la estructura sólida que recibe la presión que deja de soportar el agua.

En acuíferos libres el efecto descrito es muy pequeño comparado con el drenado del material cerca de la superficie freática.

tica de donde proviene el agua que sale del acuífero al descender la carga hidráulica.

Si la estructura sólida del acuífero es elástica el almacenamiento específico es el mismo al aumentar que al disminuir la carga hidráulica; de lo contrario es menor. El almacenamiento específico debido sólo a la expansión del agua es de 10^{-6} m^{-1} .

Compresibilidad.- La compresibilidad en un acuífero involucra tanto la compresibilidad de los granos como la del fluido que contiene. Los valores medios de un acuífero varían de 3.5×10^{-7} Kg/cm^2 a 7×10^{-7} Kg/cm^2 .

Coefficiente de transmisividad (T).- Indica la capacidad del acuífero para transmitir agua horizontalmente en todo su espesor y se define como el producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado del acuífero. En otras palabras, es la cantidad de agua que atraviesa por una franja vertical de ancho unitario y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando el gradiente hidráulico es unitario.

Transmisividades medias aceptables para un sitio seleccionado para recarga artificial son del orden de 10^{-3} m^2/seg a 10^{-1} m^2/seg .

Coefficiente de almacenamiento (S).- Es la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece en una unidad. Este valor es adimensional y generalmente varía de 5×10^{-5} a 5×10^{-3} en acuíferos confinados y de 0.02 a 0.20 en acuíferos libres.

Capacidad específica.- Se puede expresar como la produc--

ción de un nozo en términos de metro cúbico por minuto, por metro de descenso.

Los acuíferos existentes en el Valle de México pueden dividirse en dos categorías:

Freáticos, en los cuales el agua proviene generalmente de la infiltración directa de las lluvias que caen sobre el terreno subyacente y penetran verticalmente hasta el manto.

Confinados o semiconfinados, en los cuales el agua llega al acuífero principalmente por flujo lateral.

En el centro del valle la mayoría de los acuíferos pertenecen a la segunda categoría mientras que en las zonas periféricas al pie de las estructuras geológicas constituidas por basaltos, andesitas y rocas de la formación Tarango, los acuíferos pertenecen en su mayoría al tipo freático.

El desplazamiento del agua dentro de los acuíferos, y en particular su velocidad y dirección, dependen de las diferencias en la presión a que se encuentra sometida el agua en cada punto, así como de los parámetros físicos e hidrológicos del acuífero y de la ubicación de sus salidas.

En lo que respecta a sus características hidrológicas y físicas, los acuíferos del Valle de México, pueden agruparse en tres tipos:

- Acuíferos aluviales
- Acuíferos basálticos
- Acuíferos de la Formación Tarango

• Acuíferos aluviales.- Están constituidos por relleno aluvial de origen lacustre-clástico en capas alternas de arena, ar

cilla y limo, que fueron depositados en el fondo de los lagos y sobre los terrenos del valle. Los materiales así acumulados -- provienen de la erosión de las sierras que circundan el valle. Si bien el espesor de este relleno lacustre-aluvial alcanza en algunos lugares centenares de metros, sólo una pequeña parte de este complejo puede considerarse propiamente como acuífero, des de el punto de vista hidrológico. De acuerdo a resultados de estudios anteriores y a evaluaciones indirectas, se estima que, a pesar del considerable espesor de estas formaciones, su transmisividad está comprendida entre 500 y 5000 m²/día y su coeficiente de almacenamiento varía entre 2×10^{-1} para las partes freáticas del acuífero y 1×10^{-3} para las partes confinadas. Su capacidad específica varía entre 5 y 20 m³/hora por metro de abatimiento.

•Acuíferos basálticos.- Están constituidos por rocas magmáticas (lavas, basaltos y andesitas), que se ubican principalmente en la parte meridional del valle y también, en menor medida, en las restantes partes del mismo. Estos acuíferos presentan - fracturas, grietas y cavidades de la roca.

La capacidad específica de estos acuíferos varía entre --- cien y varios cientos de metros cúbicos/hora por metro de abatimiento, es decir que pueden alcanzar producciones elevadas con abatimientos reducidos.

Teóricamente no cabe definir un coeficiente de almacenamiento para este tipo de acuíferos, pero para grandes extensiones puede considerarse un valor promedio global de alrededor de 10% a 15%. El valor de la transmisividad del acuífero basáltico del Valle de México es también muy elevado y es estimado en 10,000 a 40,000 m²/día.

•Acuíferos de la Formación Tarango.- Están constituidos por alternancias de capas de arena volcánica, tobas y conglomerados. Las capas acuíferas se localizan principalmente en la parte occidental de la zona, aunque también al norte y al este se encuentran afloramientos de estas formaciones.

Las características de estos acuíferos son similares a las de las formaciones aluviales, tanto desde el punto de vista de la producción como en lo referente a su capacidad específica.

II.3. Estudio piezométrico.

El estudio piezométrico se refiere a la medición de la magnitud de la intensidad de presión, para lo cual es necesario hacer observaciones periódicas de los niveles piezométricos y --- muestras de agua del acuífero.

La medición de niveles debe hacerse cuando los pozos no están funcionando ya que se requiere el nivel estático, no afectado por bombeo. Inicialmente debe procurarse observar todos los pozos, aún los que estén cercanos entre sí, ya que pueden mostrar diferencias significativas: sólo si consistentemente se obtiene la misma información piezométrica y de calidad de agua, - se escogerá el más accesible para formar parte de la red de observación.

La frecuencia con la que deben hacerse las observaciones - depende de las características climatológicas y de permeabilidad del acuífero. En general para observaciones piezométricas, un mes es el intervalo usual entre dos lecturas para acuíferos en sedimentos no consolidados, y el máximo tres meses; escogidos de tal manera para obtener los quiebres de las variaciones estacionales.

Diseño constructivo de piezómetros.

El piezómetro consiste en la colocación de un dispositivo dentro del pozo, para registrar la carga piezométrica de un estrato a una profundidad determinada.

Es un requisito indispensable para la instalación de piezómetros, el conocer el corte litológico y la terminación del pozo, para en base a esto seleccionar las profundidades a las que se pretende y pueda conocer su piezometría (Fig. P-II.3.1.).

Para instalar los piezómetros se debe tener en cuenta lo siguiente:

El pozo que se va a utilizar, se rellena de arcilla en su porción inferior. El estrato más profundo en donde se va a instalar un piezómetro, se rellena con arena gruesa colocando en su parte intermedia un cilindro de lucita conectado a una manguera que llegue hasta la superficie. Posteriormente se coloca material arcilloso hasta el siguiente sitio donde se va a instalar el segundo piezómetro, en la misma forma que el anterior. Cubriendo el resto del pozo con arcilla.

Mediciones piezométricas.

El acuífero del Valle de México requiere de una vigilancia continua de las fluctuaciones del nivel piezométrico, ya que éste corresponde a una superficie en constante movimiento provocado por la extracción y recarga de agua subterránea.

De acuerdo a la constitución del valle y al funcionamiento geohidrológico, se dividió el acuífero en tres subsistemas como sigue:

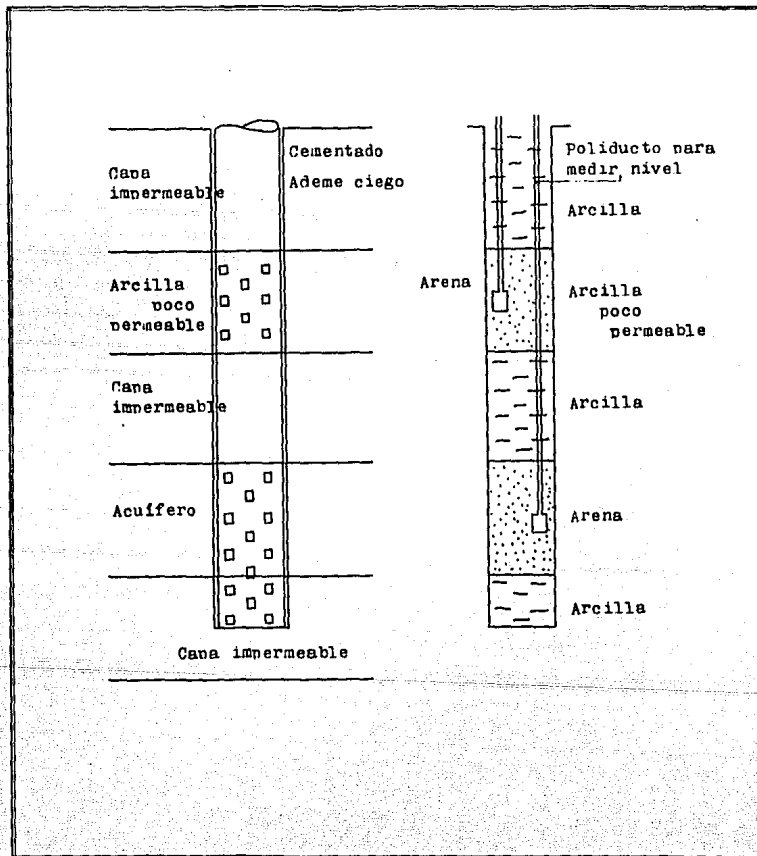
Ciudad de México.- Está constituido esencialmente por ma-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RINGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F FLORES HERRERA.	FIGURA F-II.3.1.



teriales granulares de permeabilidad media y baja, y es recarga do principalmente de la sierra del poniente y los alrededores - de Tlalpan. En el oriente del valle, a la altura del aerouer- to Benito Juárez, existe un flujo subterráneo que corre en di- rección este-oeste, hacia el centro de la Ciudad de México.

Dentro de la Ciudad existe un domo y un cono piezométrico. El cono piezométrico corresponde a una salida de agua hacia el área de Azcapotzalco, provocado por la extensiva explotación -- que seguramente se hace del acuífero en esta zona. El domo pie- zométrico se localiza entre las delegaciones Venustiano Carran- za y Cuauhtémoc, y aparentemente es ocasionado por la recarga a través de fugas de la red de distribución de agua potable.

Valle Xochimilco-Tlahuac-Chalco.- Este es recargado por - la infiltración del agua de lluvia en las estribaciones de las sierras de Santa Catarina y Chichinautzin, que lo limitan al -- norte y sur respectivamente. El flujo subterráneo se establece hacia el centro del Valle Xochimilco-Chalco, donde antiguamente ocasionaba un nivel freático somero. Actualmente el agua es ex traída a través de pozos y el nivel ha ido descendiendo.

Lago de Texcoco.- La información geohidrológica es escasa. Existe una recarga procedente de la sierra ubicada al oriente de Chicoloapan de Juárez, la cual fluye en dirección al vaso del - lago de Texcoco. Dentro del lago no existe información sobre - su movimiento pero aparentemente el agua se encuentra estática. Los materiales que constituyen esta zona son de baja permeabili- dad; no existen extracciones considerables y el gradiente es -- prácticamente nulo.

En la porción occidental del vaso, a la altura del asero---

puerto Benito Juárez, se vuelve a detectar el flujo subterráneo en dirección este-oeste, incrementando el gradiente y pasando al subsistema Ciudad de México.

Nivel estático.

En la configuración del nivel estático realizada en el mes de agosto de 1986, las curvas varían de 2240 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta 2180 msnm.

Las curvas con valores más altos se localizan al pie de las sierras del poniente y sur, y disminuyen en forma gradual hacia la parte central del valle (Fig. F-II.3.F.).

Evolución del nivel estático.

Con los datos relativos a las mediciones piezométricas que se han realizado a partir de 1984, se estudio una variación respecto al tiempo para lo cual se seleccionaron los periodos más representativos para elaborar configuraciones de la evolución del nivel estático.

Evolución Julio 1984 - Agosto 1986.- Se tienen datos exclusivamente para la zona Metropolitana, ya que no existen registros para la zona de ampliación hacia la porción oriental del Valle de México (Fig. F-II.3.2.).

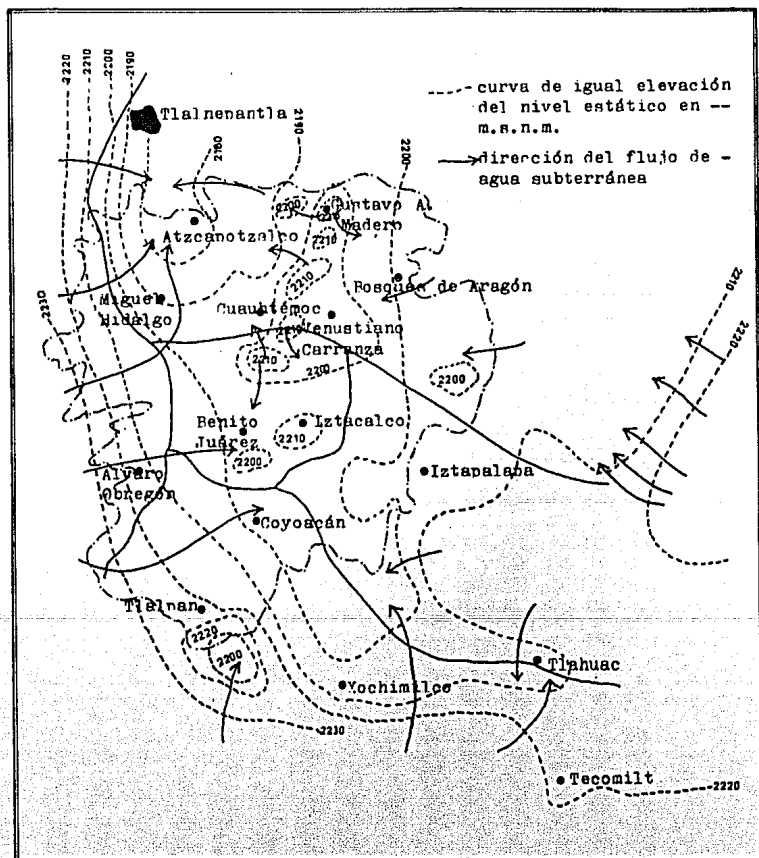
Se presentan evoluciones positivas, correspondientes al área de recarga ubicada en la sierra del poniente; así como la parte centro-norte de la ciudad, o sea al poniente del aeropuerto Benito Juárez, sitio que coincide con las áreas de domos piezométricos que se han detectado. Existen también algunas zonas locales con evoluciones positivas al centro y sur de la zo-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-11.3.1.

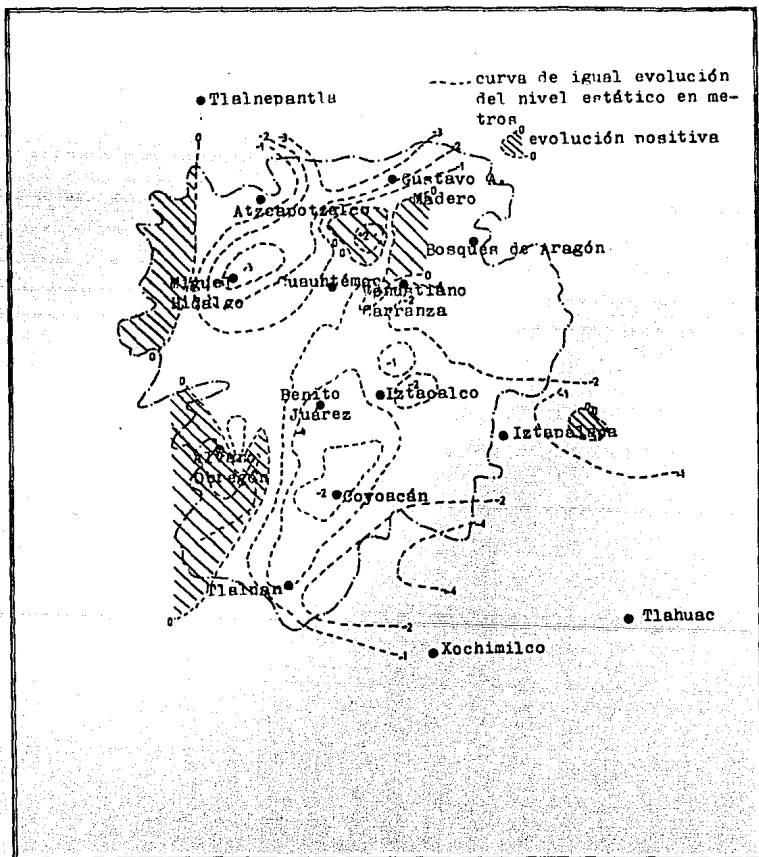




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-11.3.2



na Metropolitana.

Con excepción de los sitios mencionados anteriormente y cubriendo la mayor parte de la zona estudiada, se presentan evoluciones negativas entre 0 y 4 metros. Las áreas con mayor evolución entre -2 y -4 metros, corresponden a:

Zona Norte: entre las delegaciones Miguel Hidalgo, Azcapotzalco y Gustavo A. Madero: área donde ya en años anteriores se han detectado abatimientos aparentemente causados por un sobrebombeo.

Zona Central Sur: entre las delegaciones Benito Juárez, -- Coyoacán y Tlalman.

Zona Coapa: en especial la zona a lo largo del Periférico Sur donde se encuentran enclavados varios pozos.

Evolución Octubre 1985 - Octubre 1986.- Se obtuvo y configuró la evolución de la superficie piezométrica del acuífero -- tanto para la zona Metropolitana como para la zona de Ampliación donde la evolución media fue de -1.0 metros (Fig. P-II.3.3.).

Se presentan evoluciones positivas en las tierras del poniente y sur con valores generalmente menores a 1.0 metros. Entre las delegaciones Venustiano Carranza y Cuauhtémoc, se presentan áreas con evoluciones de hasta 1.0 metros las cuales han sido asociadas al domo piezométrico y recarga que sufre el acuífero en dicha zona.

Se encuentran algunos puntos aislados con evoluciones positivas de hasta 1.0 metros, las cuales se consideran como locales por el poco tiempo que representan.

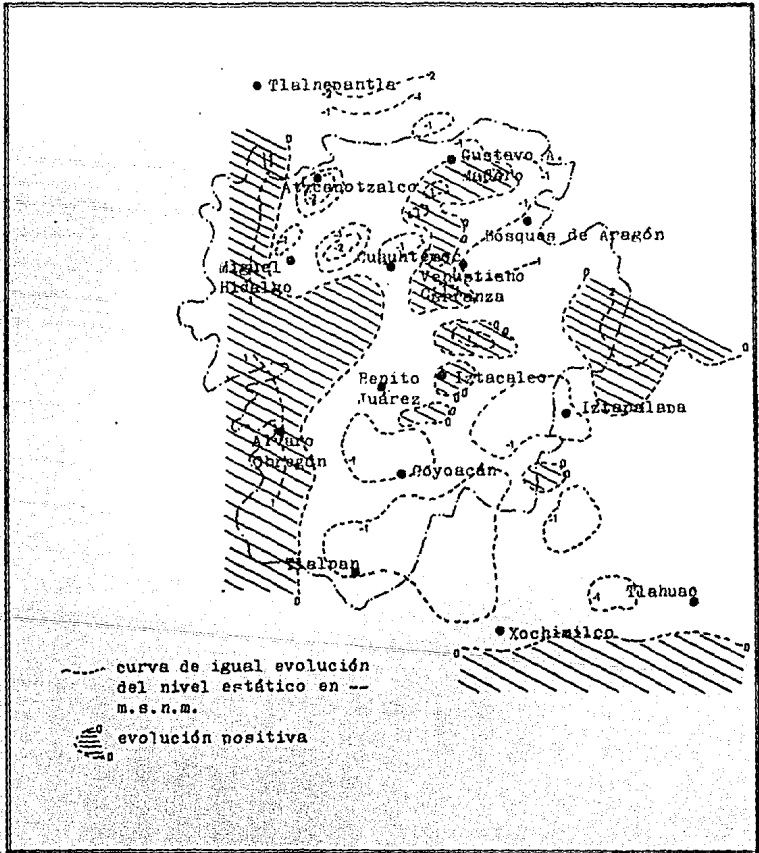
Por lo que se refiere a las evoluciones negativas, éstas -- se presentan prácticamente en toda la zona Metropolitana, inclu



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	F. GURA F-11.11.



yendo el Valle de Xochimilco-Chalco, con valores de alrededor de 1.0 metros. En los alrededores de Tlalvan y en general en el Periférico Sur, se observa claramente el trazo de una curva con valor de -1.0 metros que prácticamente limita a los pozos perforados a lo largo del periférico, mostrando la clara tendencia de dicha zona al abatimiento.

II.4. Estudio sobre la tratabilidad del agua residual.

Las aguas negras se deben tratar para proteger la salud pública, para evitar perjuicios, para impedir la polución de las aguas superficiales y subterráneas, y evitar los daños correspondientes.

Las aguas residuales constituyen un peligro para la salud, por contener bacterias patógenas y otros organismos productores de enfermedades.

Las aguas negras constituyen una carga para la comunidad que las produce. Es cierto que contienen ingredientes recuperables, pero, no se ha ideado ningún proceso de tratamiento de las aguas residuales, para producir un caudal higiénico que resulte beneficioso y económico; sin embargo, como es indispensable tratar las aguas residuales puede sufragarse una parte del costo del tratamiento, mediante la recuperación de productos útiles.

Las aguas residuales tratadas se han usado en los siguientes fines: riego, enfriamiento de los evaporadores en instalaciones productoras de energía, diversos fines en las instalaciones industriales, reposición del agua subterránea mediante la recarga de mantos acuíferos.

Entre las recuperaciones que pueden obtenerse de las aguas residuales figuran: el lodo por su valor como fertilizante y su contenido de calor, la grasa, y el gas combustible procedente de la digestión del lodo. Se ha podido recuperar vitamina B-12 del lodo de las aguas residuales, pero el proceso no es todavía económico.

En general es necesario prever un tratamiento parcial o -- completo de las aguas residuales, antes de reutilizarlas.

Para escoger un método o una combinación de métodos de tra tamiento se requieren cuidadosos estudios. Los factores que se deben considerar para adoptar una decisión de tratamiento son:

- a. sistema de desague final
- b. características del agua residual
- c. habilidad requerida por el método operativo y la cali--
dad de la labor que las instalaciones pueden recibir
- d. características del emplazamiento de la instalación y -
la posibilidad de que dé origen a problemas si se produ-
cen olores u otras molestias.
- e. altura manométrica de que se dispone para la instala---
ción y necesidad de elevar las aguas residuales, si ---
aquella es insuficiente.
- f. costo inicial y costo de operación
- g. facilidad de incrementar la capacidad de la instalación
en el futuro

También debe tenerse en cuenta las disposiciones del Sec--
tor Salud, que se refiere a la obligación de que las aguas que
salen de las instalaciones de tratamiento sean de una calidad -
adecuada al uso que se les pretende dar, para evitar molestias
y riesgos a la salud pública.

A continuación se incluye un esquema de los métodos de tratamiento.

Se denomina tratamiento primario de las aguas residuales, a los métodos de eliminación de una parte de los sólidos suspendidos y flotantes. En los tratamientos secundarios se suministran medios para satisfacer la demanda de oxígeno y vienen en general precedidos de uno o más tratamientos primarios. El tratamiento terciario o avanzado se emplea debido a que el efluente del tratamiento secundario da un agua combinada con nitratos, sulfatos, nitrógeno, bióxido de carbono, metano, ácido sulfhídrico; el tratamiento terciario trata de remover estos nutrientes, algún elemento químico, turbiedad o color.

Métodos de tratamiento de las aguas residuales.

I. Tratamiento primario.

a. Eliminación de sólidos flotantes y materia en suspensión con:

1. rejillas
2. mallas medianas
3. tanques desarenadores
4. desgrasadores con aireación o sin ella

b. Eliminación de sólidos finos en suspensión con:

1. mallas finas
2. sedimentación por:
 - 2.1. tanques de simple sedimentación con -- dispositivos mecánicos para eliminar -- los lodos
 - 2.2. tanques sépticos
 - 2.3. tanques imhoff

2.4. tanques de precipitación química

II. Tratamiento secundario.

a. Oxidación por:

1. filtros

1.1. filtros de arena intermitentes

1.2. filtros de contacto

1.3. filtros percoladores

2. aireación

2.1. lodos activados

2.2. aireadores de contacto

3. cloración

4. balsas de oxidación

III. Desinfección.

a. Cloración.

IV. Tratamiento avanzado.

a. Procesos físicos.

1. arrastre del amoníaco

2. filtración

2.1. medio múltiple

2.2. lecho diatomeas

2.3. microfiltros

3. destilación

4. flotación

5. fraccionamiento de espuma

6. congelación

7. separación fase-gas

8. aplicación al terreno

9. ósmosis inversa

10. sorción

b. Procesos químicos.

1. adsorción con carbón
2. precipitación química
3. nrecipitación química en lodo activado
4. intercambio iónico
5. tratamiento electroquímico
6. electrodiálisis
7. oxidación
8. reducción

c. Procesos biológicos.

1. asimilación bacteriana
2. desnitrificación
3. cultivo de algas
4. nitrificación-desnitrificación

El constante aumento de la demanda de agua y las inversiones cada vez mayores para satisfacerlas, hacen atractivo reutilizar el agua con base en la idea de utilizar la renovada en as pectos que no requieren agua notable.

El Departamento del Distrito Federal ha creado en los últimos 40 años, infraestructura que comprende 10 (diez) plantas de tratamiento y 500 kilómetros de tuberías para distribución.

Para lograr un aprovechamiento efectivo de las aguas residuales es necesario controlar la calidad de las descargas al drenaje.

Existen numerosas posibilidades de utilización de las aguas renovadas; estas posibilidades dependen básicamente del nivel de calidad que alcancen las aguas renovadas despues de su trata miento, así como de factores ambientales, sanitarios, estéticos

y económicos bajo los siguientes alineamientos;

- a. sustitución paulatina en usos no domésticos
- b. aprovechamiento de la capacidad instalada
- c. rehabilitación y mantenimiento preventivo
- d. preservación de la calidad del agua en cuernos receptores

Para el año 1987 se puede poner en práctica tratamientos terciarios, cuya tecnología es conocida, pero poco aplicada.

La tecnología aplicada para el tratamiento de las aguas residuales ha respondido a dos enfoques diferentes: tratar de prevenir y controlar la contaminación, y tratar para reusar las aguas. En algunos casos, los requerimientos que establece el reglamento para prevenir y controlar la contaminación del agua obligan a tratamientos que producen efluentes de calidad física, química y biológica aceptable, principalmente para ciertos usos industriales. En cambio los requisitos de calidad para reusar las aguas son más estrictos, dependiendo de la actividad usuaria a que se destinen, lo que implica un desarrollo tecnológico que permita remover los contaminantes tanto domésticos como industriales. Esto se logra con mejores resultados si los contaminantes de origen industrial se remueven en su origen.

En cuanto a la capacidad de tratamiento, es importante tomar en cuenta la carga y el caudal del material contaminante que puede manejar cada proceso. La carga se refiere al número y variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos y de contaminantes biológicos; el caudal se refiere al volumen de agua residual sujeto a tratamiento. Dado que se requiere flexibilidad en la operación de las plantas de tratamiento, también es importante definir la sensibilidad de cada proceso a cambios momen-

táneos tanto de carga como de caudal.

Con el objeto de incorporar las nuevas tecnologías a los procesos de tratamiento que se emplean en el Distrito Federal, es necesario tener la experiencia práctica, por lo menos a escala reducida. Por ello, se diseñó una planta piloto con una capacidad de 10 litros por segundo, tomando en cuenta la calidad de las aguas residuales y las tecnologías que conviene desarrollar.

El objetivo principal de esta planta es conocer la posibilidad de producir agua con calidad física, química y biológica similar a la potable, y determinar a la vez si la tecnología -- disponible en México permite producir tanto el equipo necesario para efectuar los diferentes procesos unitarios, como el instrumental para el control hidráulico y analítico del proceso.

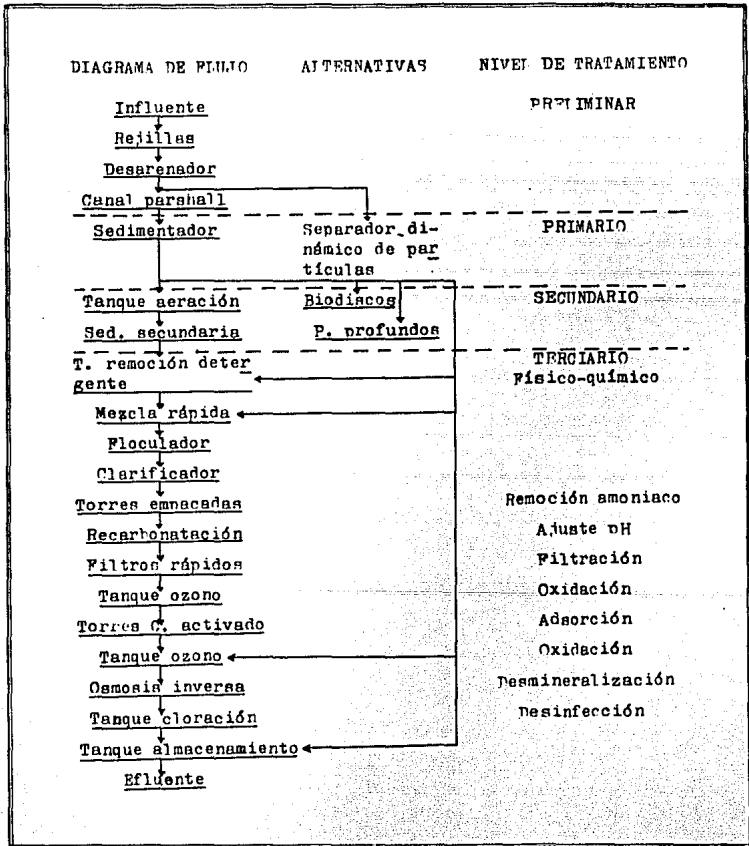
Una evaluación general de la estructuración del tren de -- tratamiento se proporciona en la figura P-II.4.1. en la que se analizan las posibilidades de cada operación y proceso unitario para remover los compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, y los contaminantes biológicos presentes en las aguas residuales.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F- II.4.1.



C A P I T U L O I I I

III. CAPTACION DEL AGUA.

III.1. Infraestructura hidráulica.

El desarrollo del Distrito Federal y especialmente la ---- Ciudad de México ha requerido de condiciones sociales cada vez mayores, por lo que fue necesario entubar los cauces más importantes de la ciudad, tales como: el río de la Piedad, río Churubusco, río Mixcoac, río Consulado; con lo que se han reducido los focos de infección y el peligro de inundaciones.

Las aguas residuales generadas en la Ciudad de México y en el Area Metropolitana, se recolectan por el sistema de drenaje y se desalojan fuera de la cuenca a través del Gran Canal y los Emisores Poniente y Central. Parte de los caudales son aprovechados dentro del Area Metropolitana a través de las plantas de tratamiento, en reusos municipales e industriales; en tanto que el resto se descarga en la cuenca del Río Tula, donde sus volúmenes son utilizados en el Distrito de Riego 03 "Tula" y en las áreas del Plan Hidráulica del Centro.

En el Distrito Federal el sistema de drenaje está compuesto por red secundaria, red primaria y la red de drenaje profundo.

Red secundaria.

La red secundaria está formada por conductos de diámetro inferior a 60 centímetros. Se desconoce con exactitud la longitud total en cada delegación; sin embargo la longitud total ---- aproximada es de 11,891 kilómetros.

Las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Azcapotzalco y parte de las delegaciones Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza e Iztacalco cuentan con el servicio.

La delegación Gustavo A. Madero es la que presenta mayor déficit, debido al alto desarrollo demográfico de la zona del río Cuauhtepac.

La delegación Tlahuac se ubica fuera del sistema de drenaje del Distrito Federal, por lo que las aguas residuales son --descargadas en fosas sépticas o pozos de absorción, con el peligro de contaminar el acuífero. En una situación parecida se encuentra la delegación Coyoacán, cuyo asentamiento urbano descansa en basaltos, donde son aprovechadas las grietas para descargar las aguas residuales.

Por su parte las delegaciones de Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco resuelven en parte los problemas de servicio, descargando sus aguas negras a barrancas y cauces; provocando con esto contaminación del medio ambiente y efectos de insalubridad.

Finalmente las delegaciones que presentan el mayor problema para dotar de una red de alcantarillado son la Alvaro Obregón Cuajimalpa de Morelos y Magdalena Contreras, ya que están asentadas en áreas con pendiente muy pronunciadas.

Red primaria.

La red primaria constituye la liga entre la red secundaria y el sistema general de desagüe, actualmente se poseen 1176 kilómetros de tubería con características de diámetro que varían de 60 centímetros a 300 centímetros.

En la parte Centro-Poniente de la ciudad, el sistema escu

re de sur a norte y descarga en varios puntos sobre los conductos que van de oeste a este. Al sur de la ciudad, la red no tiene un sentido claramente definido, aún cuando la tendencia es similar a la del resto de la red.

La infraestructura que se encuentra integrada a la red primaria son las plantas de bombeo de aguas negras, tanques de tormenta y obras auxiliares como lagos y lagunas de regulación (Fig. F-III.1.1.).

El sistema de drenaje del Distrito Federal, actualmente cuenta con 48 plantas de bombeo con capacidad conjunta de 469 metros cúbicos por segundo aproximadamente; existiendo además otras plantas construidas y operadas por particulares como es el caso del aeropuerto Benito Juárez y de unidades habitacionales.

Debido al acelerado crecimiento urbano que sigue teniendo y el hundimiento del subsuelo, se han ocasionado problemas de insuficiencia en la red de drenaje existentes. Las áreas servidas por los colectores primarios se han incrementado y los movimientos del subsuelo se han traducido en una disminución de las pendientes hidráulicas de los colectores y por tanto de su capacidad de conducción.

La construcción de infraestructura para proporcionar otros servicios urbanos a la población, como en el caso del Sistema de Transporte Colectivo, ha obligado a construir sifones invertidos: originándose con esto una disminución de la capacidad de conducción, así como problemas de azolves en los sifones.

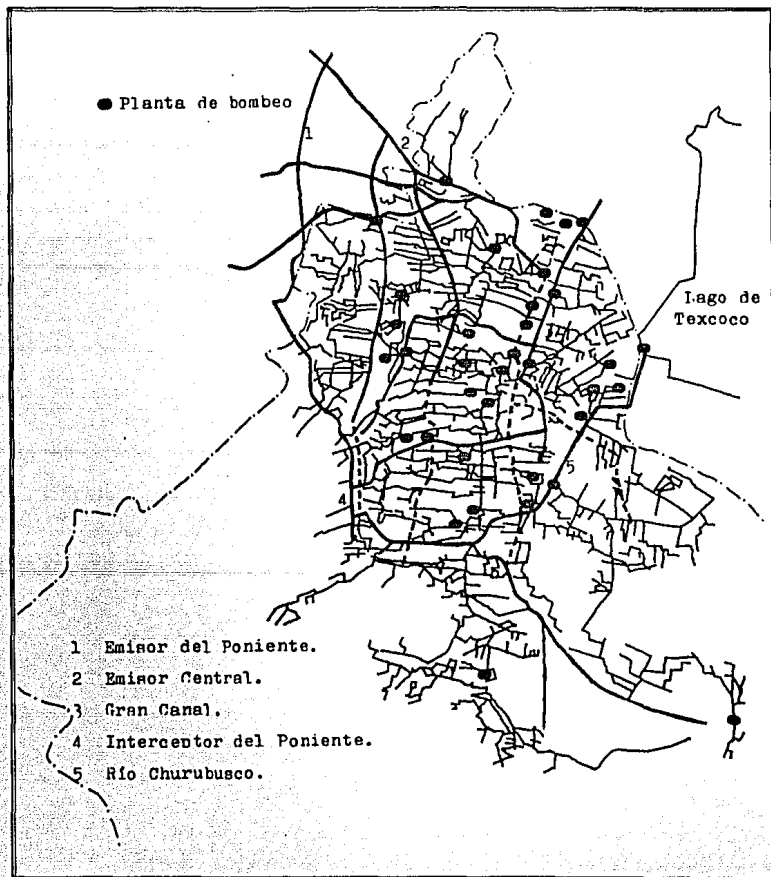
Otro problema identificado en la red primaria es la acumulación de azolves en los colectores, el cual es resultado de acarreo de materiales producto de la erosión de los suelos, así



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-III.1.1.



como de la basura y desperdicios arrojados por los usuarios.

Respecto a las plantas de bombeo, el mantenimiento diferido que se les ha proporcionado a los equipos, ha disminuido su vida útil; encontrándose en algunos casos la necesidad de reponer el equipo completo.

Red de drenaje profundo.

La red de drenaje profundo se construyó bajo la necesidad de desalojar las aguas residuales fuera de la ciudad, debido en gran parte al hundimiento cada vez mayor de ésta; originándose insuficiencia en el desalojo de las aguas residuales en la red existente.

Interceptor y Emisor del Poniente.- Constituye una de las obras más importantes del sistema de drenaje, ya que su principal función es la de recibir y desalojar los escurrimientos de la zona alta del poniente, situada a una elevación de 2260 metros sobre el nivel del mar. Tiene un área de captación de aproximadamente 267 kilómetros cuadrados y una longitud de 16.5 kilómetros; inicia en el Jardín del Arte en San Angel, hasta descargar al Vaso del Cristo en Tlalnepantla.

Interceptor Central.- Este interceptor drena parte de las zonas norte y centro del Distrito Federal por medio de descargas controladas. En su primer etapa se construyeron 11.6 kilómetros; al finalizar la segunda etapa se pretende satisfacer la zona centro del Distrito Federal.

Interceptor Centro-Poniente.- Este sistema de drenaje capta los escurrimientos provenientes de una parte del área perteneciente al Estado de México.

Interceptor Oriente.- La longitud total del interceptor oriente es de 10.29 kilómetros y una pendiente promedio de 0.0005 con lo cual se puede transportar un gasto de 110 metros cúbicos por segundo.

Emisor Central.- Constituye la columna vertebral del sistema, ya que es una de las más importantes estructuras evacuadoras de las aguas negras y pluviales de la Ciudad de México. Está constituido por 25 lumbreras, con una profundidad que varía de 48.30 metros hasta 216.00 metros y una profundidad media de 127.00 metros.

La longitud de su trazo es aproximadamente 49.7 kilómetros con una pendiente de 0.0002 y una capacidad de conducción de 200 metros cúbicos por segundo (Fig. P-III.1.2.).

De acuerdo a la información proporcionada por la Dirección General de Planificación del Departamento del Distrito Federal, sobre la ubicación de las zonas industriales (Fig. P-III.1.3.), se localizaron 15 sitios de muestreo, cuyas zonas de aportación son las mostradas en la figura P-III.1.3. que a continuación se describen:

Gran Canal 1.- Del análisis de resultados se deduce que la aportación industrial a este sitio es alta y probablemente proviene de la zona industrial situada en las columnas Transito y Lorenzo Boturini, además puede influir también la zona situada al inicio del río de la Piedad ya que el interceptor Poniente no capta la totalidad de los efluentes de esa zona.

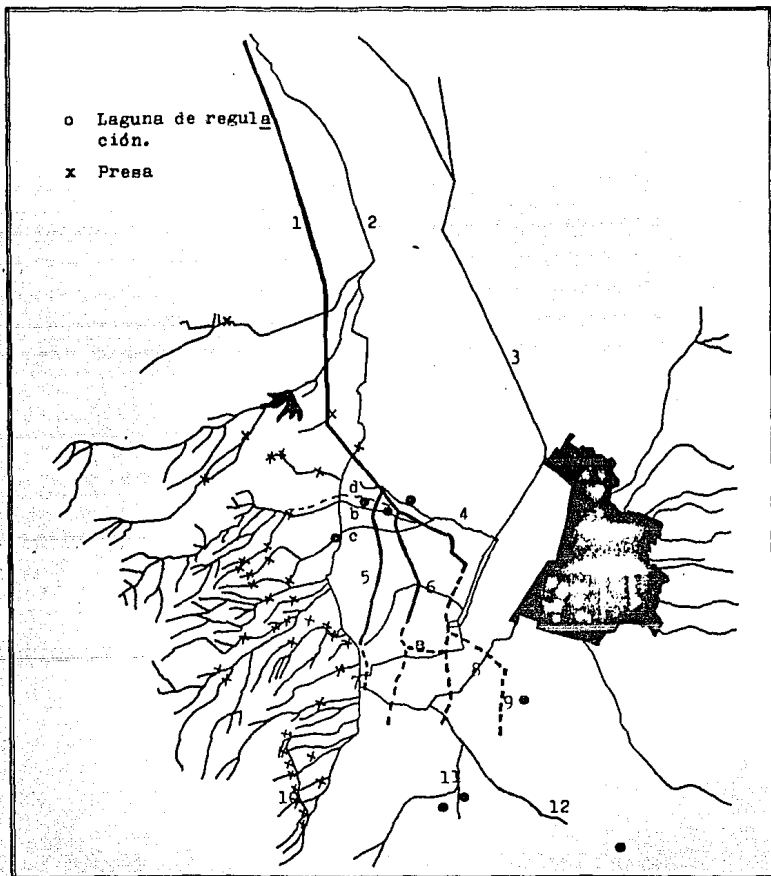
Gran Canal 2.- Para este sitio se incrementa la carga industrial debido a la aportación de los colectores 11A, 11B, 13 y 15, los cuales provienen de las zonas industriales ubicadas



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-III.1.2.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA. MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

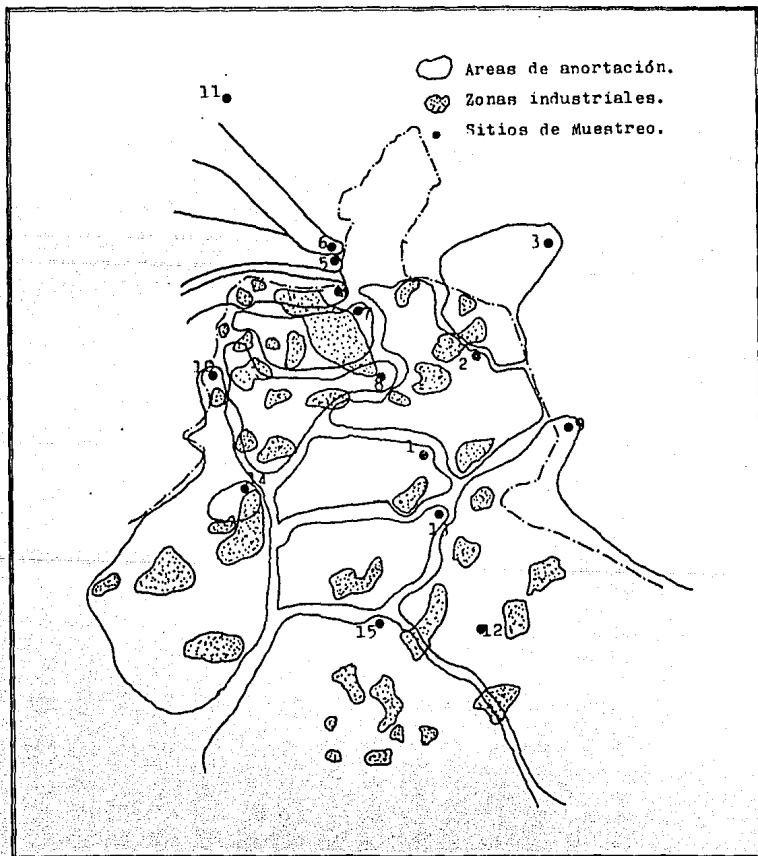
- 1 Emisor Central.
- 2 Emisor del Poniente.
- 3 Gran Canal.
- 4 Interceptor Oriente.
- 5 Interceptor Centro-Poniente.
- 6 Interceptor Central.
- 7 Interceptor del Poniente.
- 8 Río Churubusco.
- 9 Interceptor Oriente-Sur.
- 10 Interceptor Poniente Alto.
- 11 Canal Nacional.
- 12 Canal de Chalco.
 - a Interceptor Centro-Centro.
 - b Río de los Remedios.
 - c Río Tlalnepantla.
 - d Río San Javier.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-III.1.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	

1. Gran Canal 1
2. Gran Canal 2
3. Gran Canal 3
4. Río de los Remedios
5. Río Tlalnenantla
6. Río San Javier
7. Lumbrera 7
8. Colector 13
9. Bordo xochiaca
10. Interceptor Poniente
11. Teneji del Río
12. Cerro de la Estrella
13. Ciudad Deportiva
14. Chaultecec
15. Canal de Miramontes

en las colonias Gertrudis Sánchez, Exhipodromo de Peralvillo, - Emiliano Zanata, Santa María Insurgentes, Atrampa, Vallejo y -- parte de la Santa María la Rivera.

Gran Canal 3.- En el sitio 3 del Gran Canal se aprecia un aumento considerable en la carga industrial causadas por la anor tación de las colonias Nueva Atzacolco, Gonzáles Romero y ---- Martín Carrera además de Xalostoc y Santa Clara en el Estado de México.

Canal de Miramontes.- En el sitio del Canal de Miramontes se aprecia una carga industrial media debida principalmente a - las aportaciones de las zonas industriales situadas en Tlalpan, Xochimilco, Coyoacán y Churubusco.

Cerro de la Estrella.- En el sitio de Cerro de la Estrella el cual recibe las aguas de la planta de bombeo de Aculco se -- aprecia un aumento en la carga industrial muy nequeño.

Bordo Xochiaca.- En el Bordo Xochiaca se aprecia un amen to considerable en la carga industrial.

Colector 13.- En el colector 13 se aprecia una influencia industrial alta causada por las aportaciones de las zonas indus triales de las colonias Popo, Irrigación y de la Refineria 18 - de Marzo.

Lumbrera 11.- En la lumbrera 11 se aprecia un efecto de - dilución general y una influencia industrial alta causada por - las aportaciones industriales de las colonias Industrial Valle- jo, Pantaco y San Marcos.

Tepeji del Río.- En el sitio de Tepeji del Río, se apre-- cia un efecto de dilución debido al recorrido por el emisor cen

tral, presentando de esta manera una influencia industrial baja.

Río de los Remedios.- Este sitio abarca los efluentes de parte de la zona de Naucalman de Juárez y por lo mismo tiene -- una alta influencia industrial.

Río Tlalnepantla.- En este sitio se aprecia una alta influencia industrial ya que el río colecta los efluentes de la zona de Tlalnepantla.

Río San Javier.- Este sitio es el que presenta mayor carga industrial, cuya zona industrial que aporta es la parte norte de Tlalnepantla que es donde se localiza la mayor actividad industrial de la zona.

Interceptor Poniente.- La afluencia industrial a este sitio se considera mediana por efectos principalmente de dilución de aguas pluviales y residuales domésticas.

Ciudad Deportiva.- A este sitio llegan los influentes de las zonas industriales de la colonia Granjas México.

Chapultepec.- El influente de este sitio no tiene casi influencia industrial en lo relacionado con sustancias orgánicas sintéticas.

III.2. Plantas de Tratamiento.

Una planta de tratamiento es un conjunto de recursos por medio de los cuales es posible llevar a cabo la autoturificación dentro de un área limitada y bajo condiciones controlables.

La autoturificación es un proceso para recuperar la calidad del agua mediante un recorrido a través de diferentes proce

ses en un determinado tiempo, debido a la estabilización de la materia.

En el Distrito Federal existen las siguientes plantas de tratamiento (Fig. P-III.2.1.).

Acueducto de Guadalupe.

Bosques de las lomas.

Cerro de la Estrella.

Chapultepec.

Ciudad Deportiva.

Ciudad Universitaria.

Coyoacán.

El Rosario.

San Juan de Aragón.

San Luis.

Tlatelolco.

De las mencionadas plantas de tratamiento, las siguientes diez son operadas por el Departamento del Distrito Federal a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica con una capacidad instalada de 4300 litros por segundo.

Acueducto de Guadalupe.

Bosques de las lomas.

Cerro de la Estrella.

Chapultepec.

Ciudad Deportiva.

Coyoacán.

El Rosario.

San Juan de Aragón.

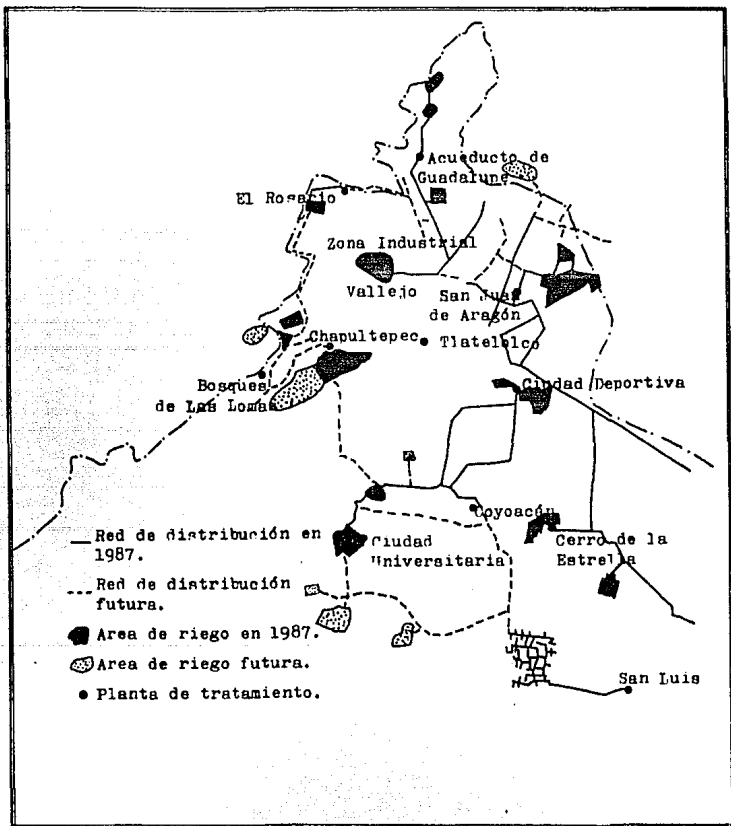
San Luis.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
REGARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-III.2.1.



Tlatelolco.

De dichas plantas la de mayor importancia por su alto volumen de agua tratada corresponde a la del Cerro de la Estrella, siguiéndole en importancia la de San Juan de Aragón y Ciudad Deportiva.

Las aguas residuales se tratan a nivel secundario aplicando el proceso biológico conocido como "lodos activados" y desinfección con cloro, cuyo efluente ha tenido el uso tradicional del riego de áreas verdes: principalmente de la Ciudad Deportiva de la Magdalena Mixhuca, primera y segunda secciones del Bosque de Chapultepec, parque Tezozomoc; además, se mantienen los niveles de los lagos recreativos del Bosque de Chapultepec, San Juan de Aragón y los canales de Xochimilco.

Cada planta consta de los siguientes procesos de tratamiento:

Tratamiento preliminar.

- Canal desarenador
- Rejas de barras
- Tanques desgrasadores
- Tanques de compensación
- Desmenzadores

Tratamiento primario.

- Tanques de sedimentación
- Vertedores y canaletas de recolección
- Mamparas deflectoras
- Rastras
- Canaletas de desnate

Tratamiento secundario.

- Tanque de aeración

Canaletas y vertedores para recolección de licor mezclado.

Caja partidora para la recirculación

Tanque de sedimentación

Vertedores y canaletas de recolección

Mamparas deflectoras

Rastras

Canaletas de desnate

Desinfección.

Tanque de contacto

Tanques de almacenamiento de cloro gaseoso

Almacenamiento y Distribución.

Tanque de almacenamiento

Son una excepción las plantas de tratamiento Bosques de las lomas, en la cual se trata el agua por medio de aeración extendida; El Rosario donde adicionalmente se tiene un tratamiento avanzado a base de filtración y adsorción, Tlatelolco y Cerro de la Estrella donde se aplica un tratamiento físico-químico a nivel avanzado.

Actualmente como se pretende hacer la recarga del acuífero con agua residual tratada, se han realizado estudios para determinar la calidad Físico-Química-Biológica de las aguas residuales.

Con esta información se harán análisis para determinar la correlación que existe entre las áreas tributarias de los diferentes subsistemas de colectores con las zonas industriales --- identificadas en el Distrito Federal. Los resultados obtenidos servirán para determinar el proceso de tratamiento necesario en

en las plantas de acuerdo con los valores de dichos parámetros.

A continuación se describirán brevemente cuatro de las --- principales plantas de tratamiento.

Planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec.

La planta se encuentra ubicada a un costado del parque --- "Rosario Castellanos" sobre el camino de acceso a la calle Pe--- dredgal, entre las avenidas Paseo de la Reforma al norte, boulev--- vard López Mateos al oriente, Alecastre al sur y FPCC de Cuerna--- vaca al poniente, ocupando un área aproximada de 5 hectáreas.

La planta de tratamiento de aguas residuales Chapultepec está diseñada para tratar un caudal de 160 litros por segundo --- mediante dos unidades de lodo activado convencional de 80 litros por segundo cada una. El tren de tratamiento consta de: trata--- miento preliminar, primario, secundario con difusión de aire --- comprimido, desinfección y digestión anaerobia de lodos; además de los equipos auxiliares.

La planta es abastecida por los colectores 100 casitas, --- Montes Urales y Pedregal, estos últimos reciben descargas de --- los colectores Virreyes y Monte Athos (Fig. F-III.2.2.).

La planta de tratamiento Chapultepec fue la primera plan--- ta construida en nuestro país, para ahorrar la demanda de agua potable en actividades tales como riego de áreas verdes y llena--- do de lagos.

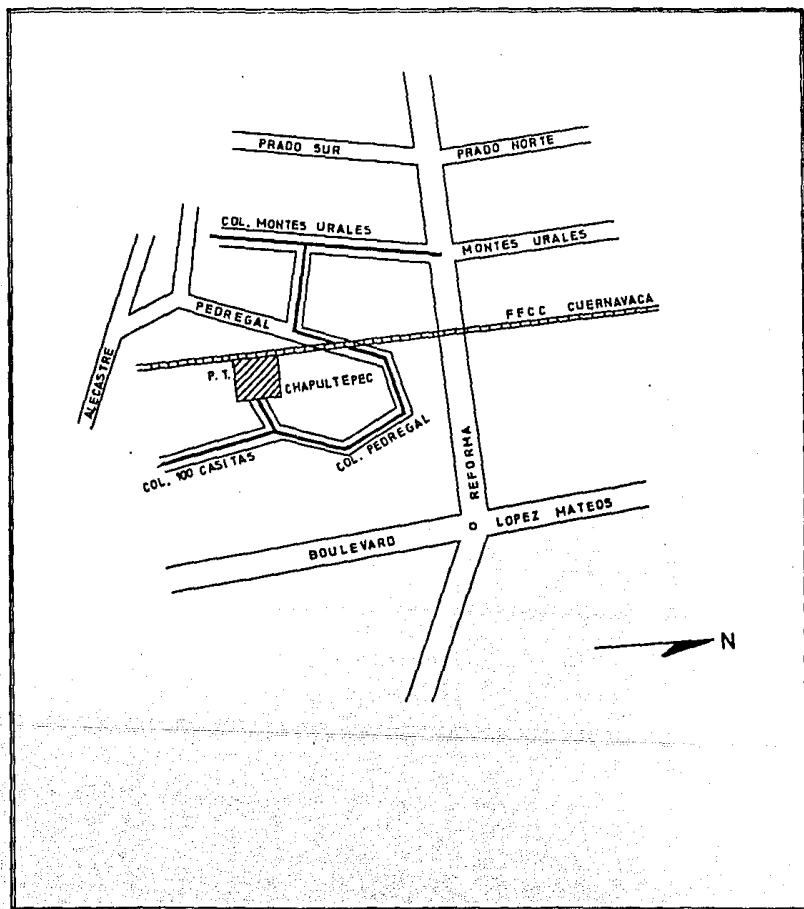
La fecha de arranque de la planta fue el año de 1956, bajo la necesidad de contar con agua suficiente para regar el bosque de Chapultepec sin recurrir a las aguas subterráneas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO, J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-111.2.2.



Planta de tratamiento Ciudad Deportiva.

La planta de tratamiento de aguas residuales Ciudad Deportiva se encuentra ubicada en la esquina del cruce de la avenida Río Churubusco y Viaducto Piedad, colonia Gómez Farías delegación Iztacalco. Se localiza dentro de la Ciudad Deportiva de la Magdalena Mixhuca, en la parte posterior del estadio principal ocupando un área de 12.07 hectáreas aproximadamente.

La planta comenzó a operar en 1958 y consta de dos unidades de tratamiento de lodos activados convencional, diseñadas para tratar caudales de 80 y 150 litros por segundo respectivamente. El tren de tratamiento consta de: tratamiento primario, tratamiento secundario con difusión de aire comprimido y desinfección mediante cloración.

La planta es abastecida con agua proveniente del colector Churubusco a través de un carcamo localizado sobre la avenida - Río Churubusco (Fig. P-III.2.3.).

Planta de tratamiento San Juan de Aragón.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón se encuentra ubicada en la colonia San Juan de Aragón de la delegación Gustavo A. Madero, ocupando un área de 5 hectáreas aproximadamente. Al este se encuentra limitada por la avenida 503, al oeste por la avenida Gran Canal, al sur por la avenida Tlacos y al norte por la avenida oriente 101.

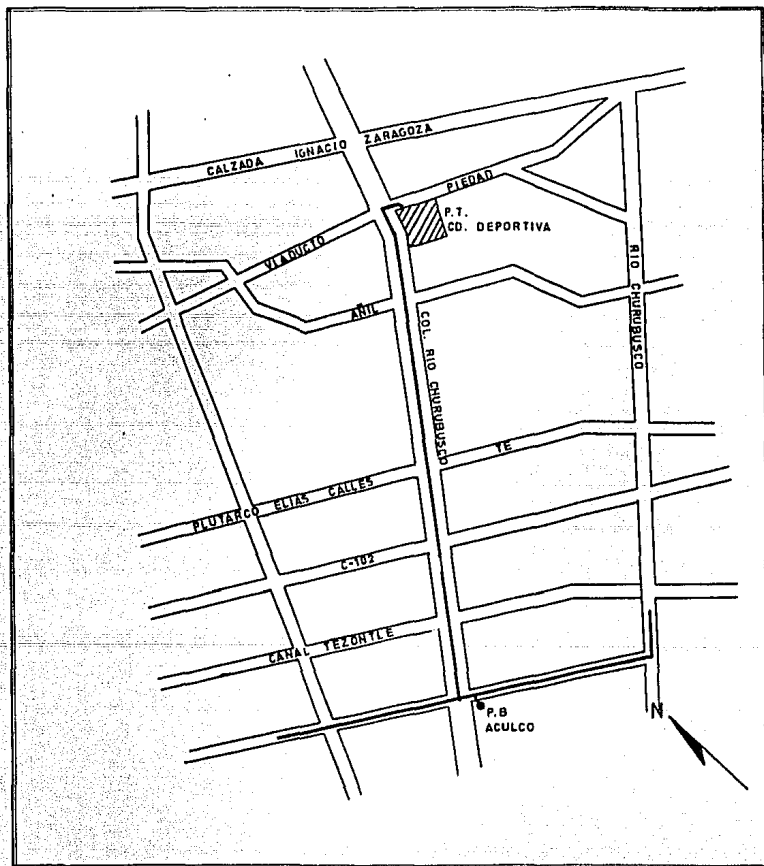
La planta inició su operación en 1964 y está diseñada para tratar un caudal de 500 litros por segundo por medio de dos unidades de tratamiento de lodos activados convencional. El tren de tratamiento consta de: tratamiento preliminar, primario, se



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-III.2.3.



cundario con difusión de aire comprimido y desinfección.

El agua proveniente del Gran Canal es captada por medio de una tubería de 36 pulgadas de diámetro localizada en uno de los bordes del Gran Canal y a una profundidad media, con objeto de evitar la entrada de la mayor cantidad posible de grasas, aceites y material flotante que se encuentre en la superficie del cauce, así como arenas y material sedimentado que se arrastra en el fondo del Gran Canal (Fig. P-III.2.4.).

Planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

La planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella se encuentra ubicada en la avenida San Lorenzo Tezonco colonia San Nicolás Tolentino, a un costado del Panteón Civil de San Nicolás Tolentino ocupando un área aproximada de 9 hectáreas.

La planta inicio su operación en el año de 1973, pero en el año de 1978 aumento su capacidad. Consta de dos unidades de tratamiento de lodos activados convencional, diseñadas para tratar un caudal de 1000 litros por segundo cada una. El tren de tratamiento consta de: tratamiento primario, secundario con difusión de aire comprimido y desinfección, además de los equipos que integran la infraestructura de apoyo.

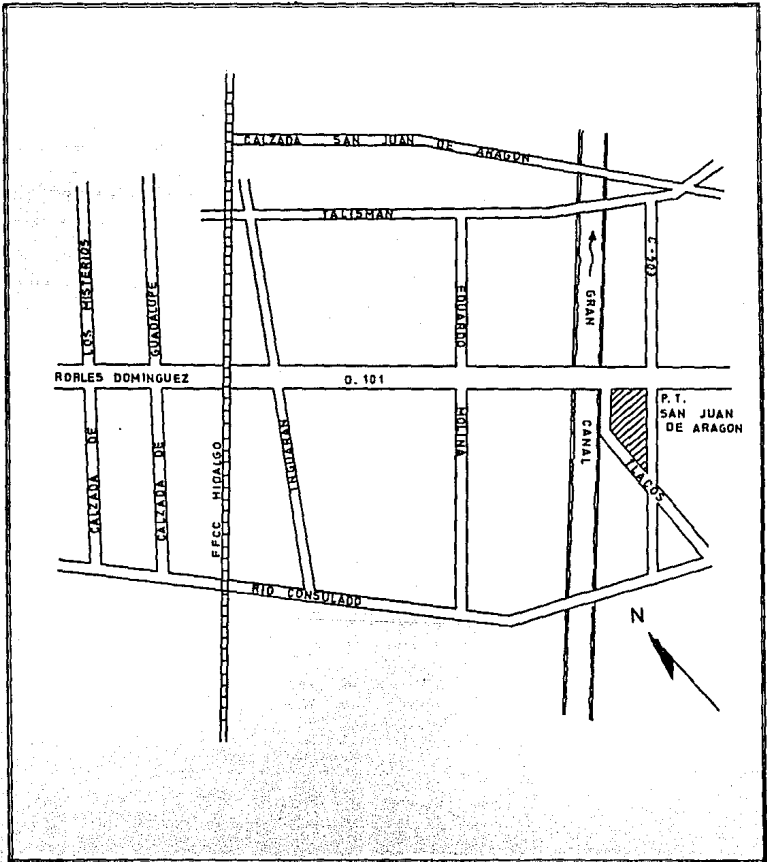
Actualmente se tiene proyectado dar un tratamiento avanzado al efluente secundario con miras a complementar el suministro de agua a la ciudad. Los nuevos procesos factibles de ser simulados son: espumación, tratamiento químico, desorción, recarbonatación, filtración, adsorción, ozonación, ósmosis inversa y cloración.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-III.2.4.



La planta es abastecida por el cárcamo de bombeo de Aculco, en donde el agua recibe un tratamiento preliminar, consistente en la eliminación de sólidos grandes por medio de rejillas.

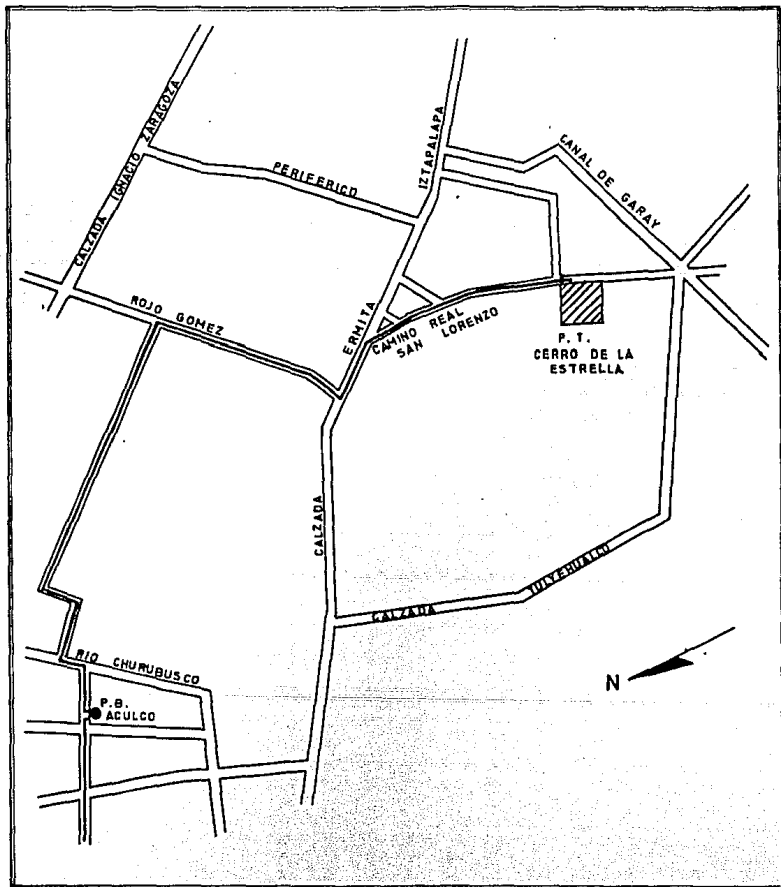
El agua del colector Anatlaco se deriva al cárcamo general del sistema Aculco, de éste se tiene una derivación al cárcamo que alimenta a las plantas de tratamiento Cerro de la Estrella y Coyocacán (Fig. P-III.2.5.).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J A RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F FLORES HERREHA	FIGURA F-111.2.5.



CAPITULO IV

IV. TRATAMIENTO.

IV.1. Características de las aguas residuales.

La demanda de agua en el Distrito Federal durante las últimas décadas se ha incrementado de tal manera que resulta necesario establecer ciertos planes para optimizar su manejo, distribución y aprovechamiento; entre ellos se encuentra el enfocado al tratamiento y reúso de las aguas residuales generadas en la Ciudad de México, cuyo objetivo principal es rescatar volúmenes apreciables de aguas de primer uso sustituyéndolas por aguas residuales tratadas en aplicaciones tales como el riego de áreas verdes, llenado de lagos recreativos, suministro a industrias, recarga al acuífero y a largo plazo para consumo humano.

Para la Ciudad de México, las aguas residuales son un conjunto de descargas líquidas hechas en el sistema de drenaje y que pueden provenir tanto de las precipitaciones pluviales como de las aguas de abastecimiento que tras de haber sido utilizadas en casas habitación, comercios, industrias o servicios públicos han perdido las características que las hacían potables.

La calidad de las aguas negras que llegan a una instalación de tratamiento es variado constantemente. Estos cambios son -- originados por cambios en la cantidad de agua de dilución, provocado por la entrada de aguas de lluvia, las fluctuaciones en las actividades domésticas, y las características de las industrias que descargan distintas clases de productos de desecho; -- según el proceso de fabricación. En general las aguas residuales de la noche son menos concentradas que las del día, tanto --

en lo que se refiere a desechos domésticos, como a desechos industriales.

Se analizan las características de las aguas negras para determinar aquellos constituyentes que puedan causar dificultades para su tratamiento o evacuación, o para facilitar la elección del tipo de tratamiento más conveniente. También se analizan las aguas finales del tratamiento para comprobar el progreso de la polución y de la autpurificación.

Con frecuencia se emplea el término "fuerza" o "concentración" de las aguas negras como un índice de su potencialidad para causar perjuicios. La fuerza de un caudal de aguas negras se mide por la capacidad potencial de producción de perjuicios de su olor, su contenido de sólidos y su demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Aunque las aguas residuales están constituidas por agua en más de un 99%, la pequeña proporción de sólidos ejerce una acción muy importante en sus efectos.

Las aguas negras domésticas tienen un olor ligeramente jabonoso o aceitoso, y un aspecto turbio con un color análogo al de una solución jabonosa.

Los líquidos residuales corrompidos tienen un olor fuerte, desagradable, de ácido sulfhídrico y otros compuestos sulfurosos; siendo menor el tamaño de las partículas sólidas y su color es negruzco. Cuanto mayor sea la concentración del líquido más pronunciados serán el olor y la turbidez. La concentración puede considerarse como fortaleza, de tal modo que los líquidos más fuertes serán los de mayor proporción de compuestos putrescibles.

Características físicas.

La característica física más importante del agua residual es su contenido total de sólidos, el cual está compuesto por materia flotante y materia en suspensión, en dispersión coloidal y en disolución. Otras características son la temperatura, color y olor.

Los sólidos totales del agua residual proceden del agua de abastecimiento, del uso industrial y doméstico; y por la entrada de aguas de lluvia.

Los sólidos domésticos proceden de inodoros, fregaderos, - baños, lavaderos, etc.

Los sólidos totales comprenden a la vez los sólidos en suspensión y los disueltos. Los sólidos suspendidos son los que, mediante filtros se pueden separar y desecar, son relativamente ricos en materia orgánica. Los sólidos disueltos se obtienen - evaporando una muestra filtrada, como contienen las sales minerales de la fuente de suministro, su cantidad tiende a ser más variable; siendo más pobres en materia orgánica. Los sólidos - sedimentables son los suspendidos que se depositan en tanques - de sedimentación. Los coloides son sólidos en suspensión tan - finamente divididos que no sedimentan. Los sólidos volátiles - son aquellos que quedan después de la evaporación o filtración, se secan, se pesan y se queman; generalmente son materia orgánica. Finalmente el remanente se considera como sólidos fijos y por lo general es materia orgánica.

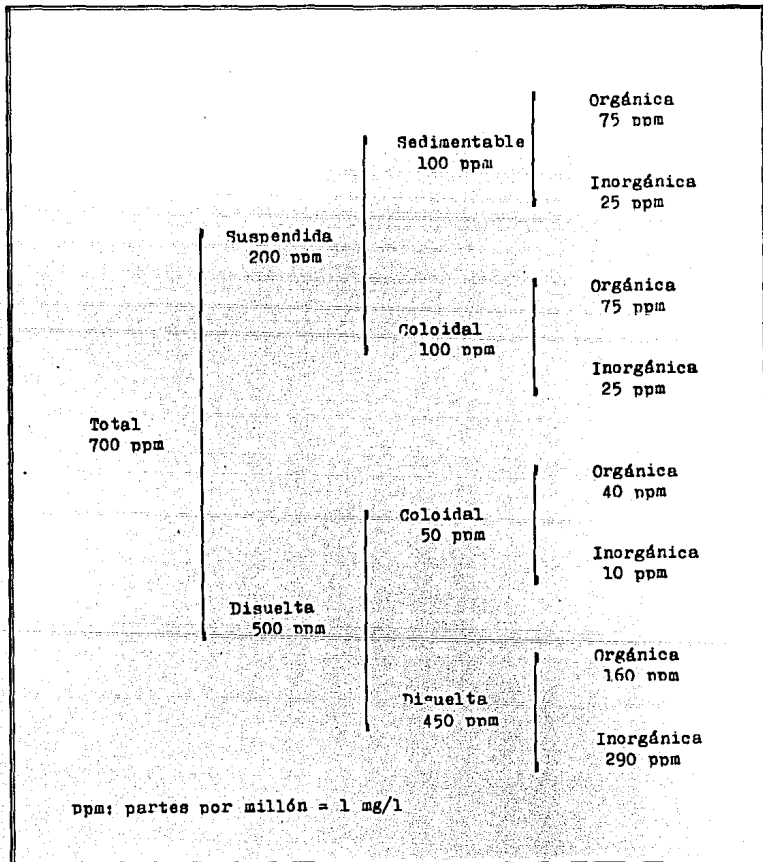
El contenido de sólidos de un agua residual de intensidad media puede clasificarse aproximadamente como se indica en la - figura P-IV.1.1.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO. ING. F FLORES HERRERA.	FIGURA F-(V.1.1).



Temperatura.- La temperatura indica los antecedentes de las aguas negras, su efecto sobre las actividades biológicas, la solubilidad de los gases y el efecto de la viscosidad sobre la sedimentación.

La temperatura normal de las aguas negras es ligeramente mayor que la del agua de abastecimiento a causa del calor agregado durante la utilización del agua. Temperaturas superiores a la normal indican residuos industriales calientes, y temperaturas inferiores indican la incorporación de agua subterránea o superficial.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en el agua caliente que en el agua fría. La actividad biológica se efectúa a temperaturas aproximadamente de 60 °C. A temperaturas mayores que la normal disminuye la viscosidad incrementándose la sedimentación.

Color.- El agua residual reciente suele ser gris; sin embargo, como quiera que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica. Algunas aguas residuales de tipo industrial añaden color al agua residual doméstica.

Olor.- Las aguas negras domésticas normales recientes, son prácticamente inodoras. Los olores son debidos a los gases producidos por la descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar algo desagradable, pero más tolerable que el agua residual séptica. Los olores más característicos del agua residual séptica es a podrido, así como a ácido sulfhídrico producido por los microorganismos anaerobios.

robios que reducen los sulfatos a sulfitos. Ciertos desechos - industriales pueden dar a las aguas negras olores característicos.

Turbidez.- Las aguas residuales son turbias normalmente, cuanto mayor es su fuerza mayor es la turbidez.

Características químicas.

Las características químicas de las aguas residuales se dividen en cuatro categorías generales que tratan de:

La materia orgánica.

La medida del contenido orgánico.

La materia inorgánica.

Los gases.

Materia orgánica.

En un agua residual de intensidad media, un 75 % de los sólidos suspendidos y un 40 % de los sólidos disueltos son de naturaleza orgánica.

Los compuestos orgánicos están formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos. Existen otros elementos importantes tales como azufre, fósforo e hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas son las proteínas, carbonhidratos y grasas, y aceites.

La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico, así como un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas.

Las proteínas son los principales componentes del organismo animal, en las plantas se encuentra en menor grado. Son de

estructura química compleja e inestable, estando sometidas a muchas formas de descomposición: algunas son solubles en agua y - otras en cambio no lo son. La química de la formación de proteínas supone la combinación o formación de cadenas de un gran número de aminoácidos.

Todas las proteínas contienen carbono, que es común a todas las sustancias orgánicas: así como oxígeno e hidrógeno. -- Además contienen como característica que las distingue, una proporción bastante elevada y constante de nitrógeno. Cuando este elemento se presenta en grandes cantidades, es posible que se produzcan olores extremadamente desagradables debido a la descomposición.

Los carbohidratos incluyen azúcares, almidones, celulosa y fibra de madera, contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Algunos carbohidratos, especialmente los azúcares son solubles en agua: otros tales como los almidones son insolubles. Los azúcares tienen predisposición a la descomposición con las enzimas de ciertas bacterias. Los almidones, son más estables pero se transforman en azúcares por la actividad microbiana así como -- por los ácidos minerales diluidos. Desde el punto de vista de volumen y resistencia a la descomposición, la celulosa es el -- carbohidrato más importante que se encuentra en el agua residual.

El término grasa, incluye las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes que se hallan en el agua residual. Las grasas animales y aceites son compuestos de alcohol o glicerol (glicerina) y ácidos grasos. Los ésteres de ácidos grasos que son líquidos a las temperaturas ordinarias se llaman aceites

y los que son sólidos se llaman grasas. Ambos están compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Las grasas son uno de los compuestos orgánicos más estables y se descomponen fácilmente por las bacterias. Sin embargo, los ácidos minerales las atacan, dando como resultado la formación de glicerina y ácido graso. En presencia del hidróxido sódico, la glicerina se libera y se forman sales alcalinas de los ácidos grasos.

Las sales alcalinas son conocidas como jabones, siendo estables. Son solubles en agua, pero en presencia de los constituyentes de la dureza, se transforman en sales cálcicas y magnésicas de ácidos grasos, también conocidas como jabones minerales que son insolubles y precipitan.

Los agentes tensoactivos son grandes moléculas orgánicas, ligeramente solubles en agua, que causan espuma. Estos elementos tienden a acumularse en la interfase aire-agua. Durante la aireación del agua residual, estos compuestos se acumulan sobre la superficie de las burbujas de aire causando por ello una espuma muy estable.

El tipo de agente tensoactivo presente en los detergentes sintéticos, llamados sulfonatos alquilo-lineales son biodegradables por medios biológicos, reduciéndose en gran medida la formación de espuma.

Los fenoles son también importantes constituyentes, se producen principalmente por operaciones industriales y aparecen en las aguas residuales que contienen desechos industriales.

Medida del contenido orgánico.

Para determinar el contenido orgánico de las aguas residuales los métodos más utilizados son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y carbono orgánico total (COT). Otro ensayo más reciente es la demanda total de oxígeno (DTO). Complementando estos ensayos, se cuenta también con el llamado demanda teórica de oxígeno (DTeO).

Otros métodos utilizados anteriormente fueron: nitrógeno total, albuminoide, orgánico y amoniacal, y oxígeno consumido. Estas determinaciones, a excepción del nitrógeno albuminoide y del oxígeno consumido, figuran aún en los análisis completos de aguas residuales. Actualmente estas pruebas se usan para determinar la disponibilidad de nitrógeno para mantener la actividad biológica en los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales y para evitar el crecimiento de algas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).- Supone esta determinación la medida de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. La medida de la DBO es importante porque se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

El parámetro de polución orgánica más utilizado en las aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅).

La oxidación bioquímica es un proceso lento y teóricamente tarda un tiempo infinito en completarse. Al cabo de un período normal (20 días), la oxidación se ha completado en un 95 a un 99 % y en un plazo de 5 días utilizado en la DBO₅, la oxidación se ha efectuado en un 60 a 70 %. La temperatura de 20 °C em---

pleada es un valor medio para los cursos de agua que circulan a baja velocidad y es fácilmente obtenible en un incubador.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).- Se emplea para determinar el contenido de materia orgánica. El equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse se mide utilizando el dicromato potásico. El ensayo debe realizarse a temperatura elevada y para facilitar la oxidación de ciertas clases de compuestos orgánicos se necesita un catalizador (sulfato de plata).

El ensayo de la DQO se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales y municipales - que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La demanda química de oxígeno de un agua residual es, por lo general, mayor que la demanda bioquímica de oxígeno, porque es mayor el número de compuestos que pueden oxidarse por vía química que -- biológicamente.

En muchos tipos de aguas residuales es posible correlacionar la DQO con la DBO, ello puede resultar muy útil porque la DQO se puede determinar en 3 horas comparado con los 5 días que supone la DBO.

Carbono Orgánico Total (COT).- Es especialmente aplicable a pequeñas concentraciones de materia orgánica. El carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico en presencia de un catalizador. Durante la aireación y la acidificación se elimina la presencia de carbono inorgánico. El ensayo puede realizarse en muy poco tiempo y su uso se está extendiendo muy rápidamente. No obstante, algunos compuestos orgánicos existentes pueden no oxidarse y el valor medido del carbono orgánico total será ligeramente inferior a la cantidad real presente.

Demanda Total de Oxígeno (D_{TO}).- Es otro método para medir el contenido orgánico de las aguas residuales. En este ensayo, las sustancias orgánicas y, en menor escala las inorgánicas se transforman en productos finales estables mediante la presencia de un catalizador (platino). La D_{TO} se determina observando el contenido del oxígeno presente en el gas que transporta el nitrógeno, pueden determinarse rápidamente y los resultados se pueden correlacionar con la D_{QO}.

Demanda Teórica de Oxígeno (D_{TeO}).- La materia orgánica de origen animal o vegetal en las aguas residuales es, por lo general, una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Si se conoce la fórmula química de la materia orgánica, la D_{TeO} puede calcularse mediante relaciones químicas.

Materia inorgánica.

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos que se añaden en el ciclo de su utilización.

Potencial Hidrógeno (pH).- La concentración del ion hidrógeno es un importante parámetro de calidad de las aguas residuales. El intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos.

Cloruros.- Los cloruros de las aguas negras, no deben confundirse con el cloro a veces presente en ellas, como residuo -

de la agregación de cloro a las aguas residuales. Los cloruros son sustancias inorgánicas que se encuentran comúnmente en la orina del hombre. El contenido de cloruros, puede ser afectado por ciertos desechos industriales, como los de las fábricas de helados o los procesos de salado de carnes. Como los cloruros son sustancias inorgánicas en solución, no son afectados por los procesos biológicos, ni por sedimentación.

Alcalinidad.- La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco. Siendo los más frecuentes el bicarbonato magnésico y cálcico. El agua residual es generalmente alcalina, recibiendo su alcali nidad del agua de suministro, subterránea y de la materia añadida durante el uso doméstico.

Nitrógeno.- El nitrógeno es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, y como tal, es el principal elemento nu tritivo.

En las aguas residuales se puede encontrar el nitrógeno en 5 formas: amoníaco libre, amoníaco albuminoide, nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos.

El nitrógeno orgánico, el amoníaco libre, los nitritos y los nitratos constituyen el nitrógeno total.

El nitrógeno orgánico y el amoníaco libre, son considerados conjuntamente como un índice de la materia nitrogenada orgánica contenida en las aguas negras, y el amoníaco albuminoide puede tomarse como un índice del nitrógeno orgánico descomponible que existe. El amoníaco libre o nitrógeno amoniacal, es el resultado de la descomposición bacteriana de la materia orgánica

ca. Las aguas residuales recientes y frías son relativamente ricas en nitrógeno orgánico y pobres en amoníaco libre. Las aguas residuales alteradas y calientes son relativamente ricas en amoníaco libre y pobres en nitrógeno orgánico. La concentración total de ambas formas de nitrógeno, es una indicación valiosa de la concentración de las aguas residuales.

Los nitritos y los nitratos sólo se encuentran en las aguas residuales recientes, en concentraciones menores a una parte por millón (ppm). Los nitritos no son estables y se reducen dando amoníaco, o se oxida para formar nitratos. Su presencia indica que hay una transformación en proceso.

Los nitratos constituyen la forma más estable del nitrógeno en las aguas residuales, y por lo tanto, su presencia puede ser indicio de estabilidad.

Fósforo.- El fósforo es también esencial para el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos.

Las formas más frecuentes en que se encuentra el fósforo son ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. Los ortofosfatos se hallan disponibles para el metabolismo biológico. Los polifosfatos sufren la hidrólisis y vuelven a sus formas de ortofosfato; sin embargo, esta hidrólisis es generalmente de menor importancia en la mayoría de las aguas residuales domésticas, pero puede ser un importante constituyente de las aguas residuales industriales y lodos de las aguas residuales.

Azufre.- El ion sulfato se presenta naturalmente en la mayoría de las aguas residuales. El azufre es requerido en la síntesis de las proteínas y es liberado en su degradación. Los sulfatos son reducidos químicamente a sulfuros y a sulfuro de -

hidrógeno por las bacterias en condiciones anaerobias.

Metales pesados.- Vestigios de muchos metales, tales como el níquel (Ni), manganeso (Mn), plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y mercurio (Hg) son importantes constituyentes de muchas aguas residuales. Algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica y su ausencia en cantidades suficientes podría limitar el crecimiento de algas. La presencia de cualesquiera de los metales antes citados en cantidades excesivas puede provocar problemas por su alta toxicidad, por tanto, conviene casi siempre medir y controlar las concentraciones de dichos metales.

Gases.

Los gases más frecuentemente encontrados en el agua residual sin tratar son nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), anhídrido carbónico (CO_2), sulfuro de hidrógeno (SH_2), amoníaco (NH_3) y metano (CH_4). Los tres primeros gases son comunes en la atmósfera y se encuentran en todas las aguas que estén expuestas al aire. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

Existen otros gases como son el cloro (Cl_2), ozono (O_3) y los óxidos de azufre y nitrógeno.

Oxígeno disuelto.- La solubilidad del oxígeno en las aguas residuales, es afectado por la turbulencia en la superficie, por la temperatura, por la presión atmosférica, por el porcentaje de oxígeno en la atmósfera, por la deficiencia de oxígeno en el agua, por el área expuesta a la atmósfera.

La solubilidad de oxígeno en las aguas negras es aproxima-

damente el 95 % de la solubilidad en el agua dulce.

La presencia de materia orgánica en las aguas residuales - reduce el contenido de oxígeno, hasta hacerla igual a cero, y - por tal motivo tiende a pudrirse.

Sulfuro de hidrógeno.- El sulfuro de hidrógeno se forma, por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre o por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. No se forma en presencia de un abundante suministro de oxígeno, se trata de un gas incoloro, inflamable, que tiene el olor característico de huevos podridos. El color negro del agua residual y del lodo se debe generalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (FeS). Aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas formado más importante desde el punto de vista de los olores, pueden formarse otros compuestos volátiles tales como el indol, escatol y mercaptanos durante la descomposición anaerobia que pueden producir olores peores que el del sulfuro de hidrógeno.

Metano.- El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. Normalmente no se encuentran grandes cantidades en el agua residual, porque incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción de metano. Sin embargo, a veces se produce metano como resultado de una descomposición anaerobia en los depósitos del lodo.

Características biológicas.

Microorganismos.- Los grupos principales de organismos --

que se encuentran en las aguas residuales se clasifican en protistas, plantas y animales.

La categoría de los protistas incluyen las bacterias, hongos, protozoos y algas. Como plantas, se clasifican los invertebrados y vertebrados. Los virus, que también se encuentran en el agua residual, se clasifican según el sujeto infectado. Los protistas son en su clase, el grupo más importante de los organismos que se encuentran en las aguas residuales, especialmente las bacterias, algas y protozoos.

Dado el amplio y fundamental papel que representan las bacterias en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, deben conocerse bien sus características, funciones, metabolismo y síntesis.

Las bacterias coliformes se utilizan como un indicador de polución producida por vertidos de origen humano.

Los protozoos de importancia son las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos. Estas protistas se alimentan de las bacterias y de otras protistas microscópicas y son básicas en el funcionamiento de los procesos biológicos de tratamiento.

Los virus excretados por los humanos pueden llegar a ser un peligro importante para la salud pública. Por ejemplo, se sabe a través de estudios experimentales que de 10,000 a 100,000 dosis infecciosas del virus de la hepatitis son emitidas por cada gramo de heces de un paciente de dicha enfermedad. Se sabe con certeza que algunos virus viven hasta 41 días en el agua residual a 20 °C.

Las plantas y animales de importancia varían en tamaño desde rotíferos microscópicos y gusanos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos es útil al valorar la toxicidad de las aguas residuales, y al observar la efectividad de la vida biológica en los procesos secundarios de tratamiento utilizados para destruir los residuos orgánicos.

Organismos coliformes.- El tracto intestinal del hombre contiene innumerables bacterias en forma de bastoncillo conocidas como organismos coliformes. Cada persona evacua de 100,000 a 400,000 millones de organismos coliformes por día; además de otras clases de bacterias. Los organismos coliformes no son dañinos al hombre y de hecho, son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales.

Los organismos patógenos son evacuados por los seres humanos que estén afectados con alguna enfermedad o que sean portadores de alguna enfermedad particular.

Dado que el número de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son pocos y difíciles de aislar, el organismo coliforme que es más numeroso y de determinación más sencilla, se utiliza como organismo indicador. La presencia de organismos coliformes se interpreta como un indicador de que los organismos patógenos también pueden estar presentes, y su ausencia indica que el agua se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

IV.2. Operaciones unitarias.

Los principios básicos del tratamiento de las aguas negras

descansan sobre una cimentación de física, química, bacteriología y bioquímica. Desde el momento en que los excrementos abandonan el cuerpo humano, los organismos empiezan a descomponer la materia orgánica y a transformar sus constituyentes. Cuando las aguas residuales llegan a las instalaciones de tratamiento, se aplican los principios de la física en los aparatos, y también se puede considerar la ayuda de las bacterias; así como de diversos productos químicos.

Un principio básico en el tratamiento de aguas residuales es la separación del líquido de los constituyentes indeseables, o la alteración de sus propiedades físico-químicas o biológicas con el objeto de alcanzar niveles compatibles en los requisitos de descarga de un proyecto específico. Por lo general los elementos constituyentes son separados en forma de sólidos, a través de lodos; por lo que los procesos de tratamiento de lodos - constituye un aspecto importante, ya que son parte significativa de los costos iniciales y de operación de las plantas.

La selección de alternativas se debe efectuar considerando los aspectos técnico-científico-económico-social.

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales están formados por combinaciones de operaciones unitarias, que generalmente son originarias de la ingeniería química, adaptada a la ingeniería sanitaria.

De las operaciones unitarias, no todas son factibles de utilizar en la práctica; muchas de ellas representan soluciones muy costosas o son desarrollos tecnológicos que aún no han pasado a la categoría de práctica común.

Los desechos de origen doméstico son fácilmente tratables

mediante la utilización de procesos biológicos convencionales, sin embargo la presencia de desechos industriales pueden causar dificultades.

Los medios de tratamiento en que se aplican predominantemente fuerzas físicas se llaman operaciones unitarias, tales como el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, elutriación, filtración al vacío, transferencia térmica y secado. Los medios de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se consigue mediante la adición de productos químicos o por actividad biológica se conocen por procesos unitarios, ejemplos de estos son la precipitación, combustión y oxidación biológica.

Operaciones físicas unitarias.

Desbaste.- La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la operación de desbaste. Una rejilla es un dispositivo con aperturas generalmente de tamaño uniforme, utilizado para retener los sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual. Los elementos separadores pueden ser alambres, varillas, rejillas, tela metálica o placas perforadas: las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque generalmente son ranuras circulares o rectangulares.

Los dispositivos de desbaste se usan para proteger contra obstrucciones equinos de aeración, bombas, tuberías y otras partes de la planta, así como para dar una mejor apariencia a la planta de tratamiento reduciendo el volumen de flotantes.

Los elementos retenidos, son de dimensiones relativamente grandes que estén en suspensión o flotación, tales como: papel,

estopa, productos de higiene femenina, cáscaras de frutas, restos de vegetales, pedazos de madera, latas, materiales plásticos y otros objetos que puedan pasar por los inodoros o por las coladeras de la red de alcantarillado.

Mezclado.— El mezclado es una importante operación unitaria en muchas fases del tratamiento de aguas residuales en las que una sustancia tenga que ser totalmente entremezclada con otra. Por ejemplo el mezclado de productos químicos como el cloro o el hipoclorito se mezclan con el efluente procedente de los tanques de sedimentación secundaria. Los productos químicos se mezclan igualmente con el lodo para mejorar sus características de deshidratación antes de la filtración por vacío. En el tanque de digestión se utiliza el mezclado para asegurar un contacto íntimo entre el sustrato y los microorganismos. En el tanque de procesos biológicos, el aire deberá mezclarse con el lodo activado a fin de proporcionar a los organismos el oxígeno requerido.

El mezclado de un líquido puede realizarse de varias formas:

- En resaltes hidráulicos en canales.
- En tubos tipo Venturi.
- En conducciones.
- En bombas.
- En recipientes con ayuda de medios mecánicos.

El mezclado tiene lugar en las cuatro primeras formas citadas como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de circulación. En la quinta, la turbulencia es inducida por el uso de impulsores giratorios como paletas, turbinas y hélices.

La energía introducida por unidad de volumen es una medida aproximada del rendimiento del mezclado, basándose este supuesto en que una mayor energía introducida origina una mayor turbulencia y ésta da lugar a un mezclado mejor.

Floculación.- Una parte esencial de cualquier sistema de precipitación química, es la agitación con vistas a aumentar la posibilidad del contacto entre partículas, tras la adición de los productos químicos. La floculación se ve favorecida por una agitación moderada con paletas a poca velocidad. A veces la acción es mejorada por la instalación de aletas auxiliares fijas, situadas entre las paletas móviles, que sirven para interrumpir la rotación de masa del líquido y activar el mezclado. Un mayor contacto entre las partículas favorecerá la formación de flóculos: sin embargo, si la agitación es demasiado fuerte, los esfuerzos cortantes que se producen romperán el flóculo en partículas más pequeñas. La agitación debe controlarse, de modo que los flóculos sean del tamaño adecuado para que se depositen rápidamente.

Sedimentación.- La sedimentación es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad. Se utiliza para la eliminación de arena, de la materia particulada en el tanque de decantación primaria, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodo.

En la mayoría de los casos, el propósito fundamental es obtener un efluente clarificado, pero también es necesario producir un lodo con una concentración de sólidos que pueda ser tra-

tado y manejado con facilidad.

En base a la concentración y tendencia a la interacción de las partículas pueden efectuarse cuatro clasificaciones generales sobre la forma en que dichas partículas se depositan:

El tipo 1 se refiere a la sedimentación de partículas discretas en una suspensión de sólidos de concentración baja. Las partículas depositan como elementos individuales y no existe -- una interacción significativa con las partículas proximas.

El tipo 2 se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agragan o floculan durante la sedimentación. Al agregarse, las partículas aumentan de masa y se depositan -- más rápidamente.

El tipo 3 tiene lugar en suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas interparticulares son suficientes para retardar la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer entre sí en posiciones fijas y la masa de las mismas se deposita como una unidad.

El tipo 4 tiene lugar cuando las partículas alcanzan tal concentración que se forma una estructura y sólo puede producirse un nuevo asentamiento por compresión. La compresión ocurre por el peso de las partículas que continuamente se van añadiendo a la estructura por sedimentación del líquido sobrenadante.

Flotación.- La flotación es utilizada para separar partículas líquidas o sólidas de las aguas residuales. La separación se consigue introduciendo burbujas finas de gas. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula-burbujas es tal, que hace que la partícula suba a

la superficie. De esta forma se puede hacer ascender a partículas de mayor a menor densidad que la que posee el agua negra.

En el tratamiento de las aguas negras se utiliza la flotación para eliminar la materia suspendida y concentrar los lodos biológicos, la principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras pueden eliminarse mejor y en menor tiempo. Una vez que las partículas están flotando, pueden recogerse mediante un raspado superficial.

Actualmente la flotación, se realiza mediante el uso de aire como agente de flotación a través de alguno de los métodos siguientes:

- Aireación a presión atmosférica (flotación por aire).
- Inyección de aire mientras el líquido se halla bajo presión, seguido de liberación de la presión (flotación por aire disuelto).
- Saturación con aire a presión atmosférica, seguido de aplicación de vacío al líquido (flotación por vacío).

Para facilitar el proceso de flotación, se pueden emplear algunos productos químicos. Estos productos en su mayor parte, funcionan de manera que crean una estructura que puede atrapar fácilmente las burbujas de aire. Los productos químicos pueden ser de origen inorgánico, tales como las sales de hierro, aluminio y sílice activada, o productos químicos orgánicos.

Elutriación.- En esta operación los diversos componentes químicos son lixiviados del lodo digerido, la operación consiste en mezclar íntimamente un sólido, o una mezcla de un sólido y un líquido, con otro líquido a fin de transferir ciertos com-

ponentes de aquel al líquido último.

La operación normal de lixiviación se compone de dos fases:

- Mezclado profundo del sólido o de la mezcla sólido-líquido con el líquido de lixiviación.
- Separación del líquido de lixiviación.

Filtración por vacío.- El objetivo de esta operación es reducir el contenido del lodo; ya sea crudo, digerido o elutriado, de modo que la concentración de sólidos aumente desde el 5 - 10 % hasta un 30 % aproximadamente. A este porcentaje elevado, el lodo es una torta húmeda fácil de manipular.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la filtración por vacío es una operación continua que se efectúa por lo general en filtros cilíndricos de tambor. Estos filtros tienen un medio filtrante, que puede ser una tela de fibras sintéticas o naturales, muelles en espiral o tela de malla metálica.

Transmisión térmica.- La transferencia térmica es la transmisión de energía calorífica desde un medio a otro. Especialmente es utilizada en la digestión y secado de lodos. Los digestores anaerobios se mantiene a 32 °C o más mediante transmisión térmica por medio de intercambiadores de calor o serpentines, y el secado de los lodos se consigue mezclándolos íntimamente con aire caliente en un secador o situándolos en lechos de secado cubiertos con vidrio o a cielo abierto.

Secado.- El secado del lodo es una operación unitaria que consiste en reducir el contenido de agua por vaporización de ésta al aire ambiente. En los lechos de secado, las diferencias de presión del vapor son la causa de la evaporación a la atmósfera. En los dispositivos mecánicos de secado se dispone de ca

lor adicional para aumentar la capacidad de retención del vapor del aire ambiente y proporcionar así calor latente de evaporación.

Procesos químicos unitarios.

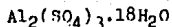
Los procesos químicos unitarios más utilizados en el tratamiento de aguas residuales son: precipitación química, transferencia de gases, adsorción, desinfección y combustión.

Precipitación química.— La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de eliminar determinados componentes del agua residual.

El grado de clarificación obtenido depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controle el proceso. Por medio de la precipitación química es posible obtener un efluente limpio, sustancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal. Mediante la precipitación química llega a eliminarse del 80 al 90 % de la materia total suspendida, del 50 al 55 % de la materia orgánica y del 80 al 90 % de las bacterias. Estas cifras pueden compararse con las de la sedimentación normal, donde se elimina del 50 al 70 % de la materia suspendida y del 30 al 40 % de la materia orgánica.

Los productos químicos añadidos al agua residual en la precipitación química reaccionan con las sustancias que se hallan normalmente presentes en dicha agua, los más frecuentes son los siguientes:

Sulfato de alúmina



Sulfato de hierro	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Cal	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
Acido sulfúrico	H_2SO_4
Anhídrido sulfuroso	SO_2
Cloruro férrico	FeCl_3
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

Transferencia de gases.- La transferencia de gases es vital en los procesos de tratamiento de las aguas residuales. -- Además de la presión parcial que presenta el gas en contacto -- con el líquido, la cantidad de gas que puede contener un líquido depende de las reacciones que pueda sufrir el gas una vez -- que se ha disuelto.

La transferencia efectiva de gas depende también de la agitación del agua, la turbulencia reduce el espesor de la capa líquida y disminuye la resistencia a la transferencia y a la dispersión del gas disuelto una vez que haya tenido lugar la transferencia.

Así por ejemplo, el funcionamiento de los procesos aero---bios tales como lodos activados, filtros biológicos y digestión aerobia dependen de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. El cloro gas es transferido al agua, con objeto de desinfectar un proceso para eliminar compuestos de nitrógeno -- consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y en transferir este último del agua al aire.

Si el agua residual que entra a la planta de tratamiento es séptica, se tendrá que añadir aire antes de la sedimentación primaria, en depósitos de preaireación o en los desarenadores - aireados, a fin de eliminar los olores y mejorar su tratabili---dad.

Adsorción.- El proceso de adsorción consiste, en la captación de sustancias solubles presentes en una solución por una interfase conveniente. La interfase puede encontrarse entre el líquido y un gas, un sólido u otro líquido.

La adsorción puede describirse como el proceso en el que las moléculas abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces físicos y químicos. A las moléculas se les llama adsorbatos y al sólido se le denomina adsorbente. Si los enlaces que se forman son muy fuertes, el proceso es casi siempre irreversible y se dice que ha tenido una quimioadsorción. Por otro lado, si los enlaces que se forman son débiles, se dice que ha tenido lugar una adsorción física.

El proceso de adsorción no se ha empleado demasiado en la purificación de las aguas residuales, pero la necesidad de una mayor calidad en el efluente del agua residual tratada, ha llevado a un detenido examen del proceso de adsorción sobre carbón activo.

Desinfección.- La desinfección consiste en la destrucción de los organismos causantes de enfermedades. Los organismos de mayores consecuencias son las bacterias, virus y quistes amebianos.

No todos los organismos se destruyen durante el proceso, y esto es lo que diferencia la desinfección de la esterilización, la cual conduce a la destrucción de todos los organismos.

En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la desinfección suele realizarse mediante:

Agentes químicos.- Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son: fenol y compuestos fenólicos; alcoholes

yodo, cloro y sus compuestos, bromo, ozono, metales pesados y compuestos afines, colorantes, jabones y detergentes sintéticos, compuestos amoniacales cuaternarios, agua oxigenada, diversos álcalis y ácidos.

Agentes físicos.- Los desinfectantes físicos más utilizados son la luz y el calor, luz solar y radiación ultravioleta.

Medios mecánicos.- Los procesos más utilizados para la destrucción de las bacterias son los siguientes: rejillas gruesas, rejillas finas, tanques desarenadores, sedimentación simple, precipitación química, filtros percoladores, lodos activados, cloración.

Radiación.- Los principales tipos de radiación son electromagnética, acústica y de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de radioisótopos tales como el cobalto 60.

Combustión.- La combustión tiene como finalidad reducir el peso y volumen del lodo y producir un residuo inerte e inodoro para su eliminación final. La incineración de lodos es el término con el que se conoce la combustión seca del lodo, que generalmente ha sido sometida previamente a filtración por vacío para reducir su contenido de agua.

La incineración del lodo implica la combustión de todas las sustancias orgánicas presentes, cuyos elementos predominantes en los carbohidratos, grasas y proteínas que contienen la materia volátil del lodo son carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno.

Procesos unitarios biológicos.

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

Los siguientes microorganismos son los más importantes en los procesos de tratamiento biológico:

Bacterias

Hongos

Algas

Protozoos

Rotíferos

Crustáceos

Virus

Estos organismos pueden clasificarse según su capacidad para utilizar oxígeno. Los organismos aerobios sólo pueden existir en presencia de oxígeno molecular. Los organismos anaerobios existen solamente en un ambiente privado de oxígeno. Los organismos facultativos tienen la capacidad de sobrevivir con o sin oxígeno libre.

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue mediante microorganismos aerobios y facultativos; en los procesos anaerobios, se utilizan los microorganismos anaerobios y facultativos. Cuando se encuentran presentes los tres tipos de microorganismos, a los procesos se les llama aerobio-anaerobio o

facultativos.

Los procesos aerobios que se consideran son:

Lodos activados.- En el proceso de lodos activados el agua residual se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aerobias. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos.

Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o curgada.

En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica. En el reactor, parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias facultativas o aerobias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

Siendo las bacterias los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico del afluente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes; por ejemplo los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han flocculado y los rotíferos consumen cualesquiera partículas biológicas pequeñas que no hallan sedimentado.

Del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan rápidamente como sea posible, también lo es el que formen un flóculo adecuado, puesto que ello es un requisito previo para la separación de los sólidos -

biológicos a través de la sedimentación.

El proceso de lodos activados no se limita a la degradación biológica aerobia de la materia orgánica, conviene también estabilizar aquellos compuestos inorgánicos que produzcan una demanda bioquímica de oxígeno (DBO), siendo el amoníaco el compuesto inorgánico más importante.

Filtro percolador.- En el filtro percolador el agua residual es rociada sobre un lecho y se deja que filtre a través de éste. El filtro percolador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10.0 centímetros de diámetro y la profundidad de las piedras varían de acuerdo con cada diseño en particular, pero generalmente la profundidad media es de 1.80 metros.

El lecho del filtro es circular y el residuo líquido se distribuye por encima mediante un distribuidor giratorio. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio.

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio. Dicha materia orgánica es adsorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película, por tanto, se establece un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

El tratamiento anaerobio de aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia - de oxígeno molecular.

Los microorganismos causantes de la descomposición de la - materia orgánica se dividen en dos grupos: el primero hidroliza y fermenta compuestos orgánicos complejos a ácidos simples, de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido - propiónico.

El segundo grupo convierte los ácidos orgánicos formados - por el primer grupo en gas metano y anhídrido carbónico, y en - esta segunda fase se tiene realmente la estabilización del resi- duo, al convertirse los ácidos orgánicos en metano y anhídrido carbónico: el gas metano así obtenido es sumamente insoluble y su separación de la solución representa la estabilización real del residuo.

Una desventaja del tratamiento anaerobio, radica en el len- to crecimiento de las bacterias formadoras de metano de las cu- ales son particularmente importantes las causantes de la fermentación de los ácidos acético y propiónico, por ello, se necesitan periodos de tiempo relativamente largos para establecer un sistema equilibrado.

Los estanques en los que se efectúa la estabilización de - aguas residuales mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, se conoce con el nombre de estanques de estabilización aerobios-anaerobios. tales tanques tienen una capa aerobia superior y otra anaerobia inferior.

En la práctica, el oxígeno se mantiene en la capa superior por la presencia de algas o por el uso de aireadores de superfi-

cie, mientras que los microorganismos en la capa inferior del estanque son facultativas y anaerobias.

Tratamiento avanzado del agua residual.

Muchas de las sustancias halladas en el agua residual se ven poco o nada afectadas por los procesos y operaciones de tratamientos convencionales.

La selección de una operación o proceso, o una combinación de ambos, depende de: el uso a efectuar con el efluente tratado, la naturaleza del agua residual, la compatibilidad de las distintas operaciones y procesos, los medios disponibles para la evacuación de los contaminantes finales, y la posibilidad económica de las distintas combinaciones.

Operaciones físicas.

Separación del amoniaco por arrastre con aire.- El arrastre con aire del amoniaco es una modificación del proceso de aireación utilizado para la eliminación de gases disueltos en el agua. Los iones amonio se encuentran en el agua residual en equilibrio con el amoniaco, cuando el pH aumenta por encima de 7.0 el ion amonio se convierte en amoniaco, el cual puede extraerse como un gas agitando el agua residual en presencia de aire. Esto suele conseguirse en una torre de arrastre equipada con un soplante de aire.

Filtración.- La filtración se usa para preparar el agua residual para procesos de tratamiento posteriores o para la utilización directa como agua con un grado de clarificación muy elevado. Puede aplicarse directamente al efluente de un tratamiento biológico, o a continuación del proceso coagulación-sedi

mentación, según el grado de clarificación requerido.

La finalidad de la filtración es producir un efluente que satisfaga convenientemente los criterios establecidos para el tratamiento al mínimo costo posible.

La filtración se puede realizar, utilizando alguno de los siguientes métodos:

- Filtros de medio doble y múltiple.- Algunos de los filtros de medio doble son: antracita y arena, carbón activo y arena, lechos de resina y arena, lechos de resina y antracita. Los filtros de medios múltiples son: antracita-arena y granate, carbón activo, antracita y arena, perlas de resina esféricas, antracita y arena, carbón activo, arena y granate.

- Filtros de tierra de diatomeas.

- Microfiltros.

Destilación.- La destilación es una operación en la que los componentes de una solución líquida son separados mediante vaporización y condensación. De los muchos procesos de destilación, la evaporación por vacío en varias fases, la evaporación de efecto múltiple y la destilación vapor-compresión parecen los más realizables para la purificación de aguas residuales.

Flotación.- La eliminación de la materia suspendida y coloidal finamente dividida que se halla en el agua residual tratada, puede lograrse mediante flotación. Su uso en esta y otras aplicaciones semejantes va en aumento, especialmente junto con el uso de polímeros.

Fraccionamiento de espumas.- El fraccionamiento de la es-

puma significa la separación de la materia coloidal y suspendida por flotación y de la materia orgánica disuelta por adsorción. Cuando se burbujea aire en el agua residual se produce espuma o bien ésta es inducida por la adición de productos químicos.

Congelación.- En la congelación el agua residual es rocida en una cámara que funciona al vacío. Parte del agua residual se evapora y el efecto refrigerante produce cristales de hielo sin contaminante en el líquido que queda. Seguidamente se extrae el hielo y se funde por el calor de la condensación de los vapores de la fase de vaporización.

Separación de la fase gas.- Un prometedor método para la eliminación de amoníaco como gas, es el desarrollo de membranas permeables a la fase gas. El agua residual se hace pasar a través de tubos forrados con dicho tipo de membranas, el gas atraviesa las membranas y permanece negado al exterior del tubo. - El gas adherido se despega inyectando aire o nitrógeno tangencialmente a lo largo de los tubos.

Ósmosis inversa.- En la ósmosis inversa el agua se separa de las sales disueltas en solución filtrando a través de una membrana semipermeable a una presión mayor que la osmótica causada por las sales disueltas en el agua residual.

Sorción.- El tratamiento convencional con sulfato de alúmina para la eliminación de fosfatos aumenta la concentración del ion sulfato en solución. La alúmina activada se utiliza para sorber fosfatos sin aumentar la concentración del sulfato, - haciendo pasar una corriente de agua a través de la columna de sorción.

Aplicación al terreno.- En este proceso, el agua residual se distribuye uniformemente sobre la superficie del terreno, que sirve y actúa como un filtro de tipo lento. Las partículas suspendidas se filtran, los coloides y materia orgánica son absorbidos por las partículas de tierra, los nutrientes son utilizados por la vegetación y las materias orgánicas más complejas se descomponen en compuestos inorgánicos simples por las bacterias del suelo.

Procesos químicos.

Adsorción con carbón.- La adsorción se realiza en columnas de lecho fijo y expandido de carbón granulado, así como en tanques que utilizan carbón en polvo.

Precipitación química.- La precipitación del fósforo en el agua residual suele conseguirse mediante la adición de coagulantes tales como sulfato de alúmina, cal, sales de hierro y polielectrólitos. La precipitación química puede llevarse a cabo en los tanques de sedimentación primaria o de lodos activados, o como una operación aparte.

En la fase preliminar, la mayoría del fósforo se separa en el tanque de sedimentación primaria. El fósforo restante se elimina normalmente por asimilación en la fase de tratamiento biológico.

Intercambio iónico.- El intercambio iónico es un proceso unitario según el cual los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio por otros iones de una especie diferente que se encuentra en solución. Las operaciones de intercambio iónico pueden ser de tipo continuo o discontinuo. En un proceso discontinuo, la resina se agita sim

plemente con el agua que se ha de tratar en un reactor hasta -- que se complete la reacción.

En un proceso continuo, el material de intercambio se coloca en un lecho o una torre y se hace pasar por ella el agua que se debe tratar.

Electrodialisis.- Los componentes iónicos de una solución son separados por el uso de membranas semipermeables selectivas de iones, la aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos causa una corriente eléctrica que atraviesa la solución, la cual a su vez, origina una migración de cationes hacia el electrodo negativo y de aniones hacia el electrodo positivo. Dado el espaciado alternado de las membranas permeables a los cationes y aniones, se forman células de sales concentradas y diluidas.

Oxidación.- En las aplicaciones del tratamiento avanzado del agua residual, puede utilizarse la oxidación química para eliminar amoníaco, reducir la concentración de materia orgánica remanente y el contenido de virus y bacterias de las aguas residuales.

Un problema que se presenta al aplicar este método de tratamiento al agua residual es la presencia de distintos compuestos orgánicos e inorgánicos que ejercerán una demanda de cloro.

Reducción.- El nitrato puede reducirse electrolíticamente así como por el uso de fuertes agentes reductores. Cuando se utilicen agentes reductores, la reacción debe generalmente catalizarse.

Procesos biológicos.

Asimilación bacteriana.- La eliminación del nitrógeno y del fósforo mediante tratamiento biológico depende del hecho de que el crecimiento normal y continuo de los microorganismos requieren de la disponibilidad de ciertos elementos y nutrientes, así como de una fuente de energía.

Cultivo de algas.- El nitrógeno del agua residual puede eliminarse mediante cultivos de algas. Este concepto viene a ser el mismo en la eliminación biológica del nitrógeno por asimilación mediante la transformación del nitrógeno coloidal y soluble en tejido celular de las algas.

Aunque este proceso es teóricamente realizable, deberá suplementarse el residuo crudo con anhídrido carbónico para completar la eliminación del nitrógeno en aquellos casos en que deban eliminarse grandes cantidades de nitrato.

Nitrificación-desnitrificación.- De los métodos de tratamientos biológicos para la eliminación de nitrógeno, el proceso de nitrificación-desnitrificación parece ser el más prometedor, las razones para afirmar esto son: gran eficiencia potencial de eliminación, estabilidad y fiabilidad del proceso, control sencillo del mismo, necesidad relativamente pequeña de terreno, -- costo moderado.

La eliminación del nitrógeno con este proceso se lleva a cabo en una o dos fases, según la naturaleza del agua residual. Si la que ha de tratarse contiene nitrógeno en forma de amoníaco se requerirán dos fases. En la primera de ellas, el amoníaco es convertido por vía aerobia a la forma de nitrato (NO_3) (nitrificación). En la segunda fase, los nitratos son convertidos

por vía anaerobia a gas nitrógeno (desnitrificación).

Si el nitrógeno del agua residual se hallase ya en forma de nitrato, sólo se requerirá la fase de la desnitrificación.

IV.3. Características del agua de las plantas de tratamiento.

El objetivo de todos los métodos de tratamiento de las --- aguas residuales empleados hasta hoy, ha sido transformarlas en un residuo líquido que pueda evacuarse sin originar perjuicios y, en ciertos casos, evitar la contaminación en las aguas de -- abastecimiento público.

Debe tenerse en cuenta que como el objetivo de todo tratamiento de las aguas residuales, reside en producir un líquido - derivado de ellas que se pueda eliminar sin causar ningún per-- juicio, deberá adoptarse el método más sencillo con el que pueda obtenerse este resultado dentro de las condiciones particulares de cada caso específico.

Las aguas negras no se pueden purificar, no puede obtenerse de ellas agua potable de un modo práctico, económico y en -- gran escala.

Por otro lado, el arte del tratamiento de las aguas negras está en una fase de evolución a causa del constante cambio y aumento en los conocimientos sobre las actividades químicas y biológicas que intervienen.

Se han elaborado criterios para sancionar la calidad físico-química-biológica de las aguas renovadas tomando en cuenta - los aspectos toxicológicos cuando los principales consumidores del agua son el hombre y/o los animales, y las características físico-químicas cuando se requiere preservar componentes abióti

cos como suelos, instalaciones y estructuras de conducción y -- distribución.

Ha sido posible sancionar algunos contaminantes, porque se les ha identificado en las aguas residuales del tipo de las que se generan en el Distrito Federal y se les ha considerado en -- los reglamentos que se relacionan con el agua potable y con la preservación de fuentes naturales. Sin embargo, para que éstos alcancen la categoría de norma, habra que proseguir el estudio y evaluación de ellos, considerando aspectos de caracter técnico, económico, social y legal. Asimismo, deberán formularse -- otras técnicas para la identificación de contaminantes que hasta ahora no ha sido posible identificar ni cuantificar en ---- México, como materiales radiactivos, fibras de asbesto y virus.

En forma preliminar y con el fin de tener una idea de las características físico-químicas-biológicas que debe reunir el - agua para un determinado uso se ha estructurado un índice de ca lidad de las aguas renovadas (ICARen) definido por la expresión:

$$\text{ICARen} = \text{Ln} \left(\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Ci}{Vei} + 1 \right)^3}{n} \right) \quad \text{ec. IV.3.1.}$$

donde:

ICARen: índice de calidad de las aguas renovadas

Ci: concentración del i-ésimo compuesto químico y/o conta minante biológico presente en el agua

Vei: criterio de concentración del i-ésimo compuesto químico y/o contaminante biológico para el agua potable

n: número de parámetros y/o contaminantes involucrados en determinado uso

Este índice aplicado a los criterios que sancionan la cali

dad de las aguas residuales alcanzan los valores que se muestran en la figura F-IV.3.1. Por otro lado la curva que describe la relación uso-ICARen tiene un límite que tiende a un valor del índice de aproximadamente 38, de lo que puede definirse que cualquier agua que supere este valor deberá considerarse como no apta para uso alguno.

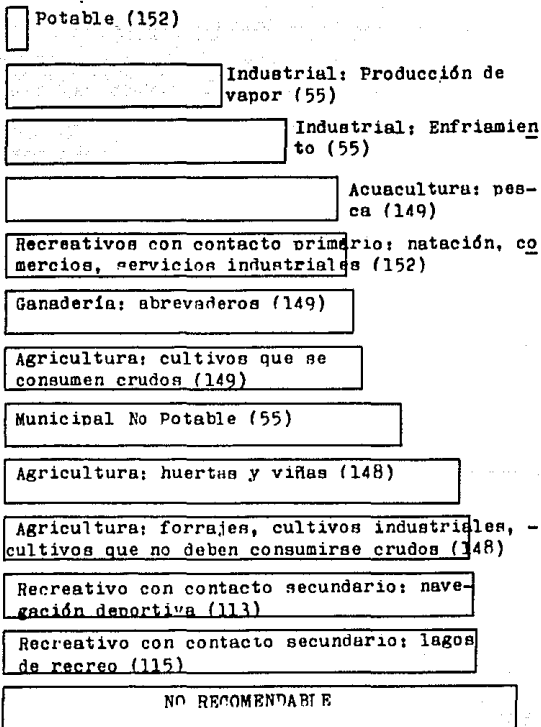
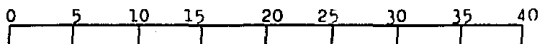
Al analizar la información relacionada con las características físico-químicas-biológicas de las aguas residuales, se detectó que las aguas de la planta de tratamiento Chapultepec corresponden mejor que cualquier otra al tipo de aguas residuales domésticas (cuadro C-IV.3.1.).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO, J.A. RANGEL RAYON.	FECHA, MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-IV.3.1.



() Número de parámetros seleccionados.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1980.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-IV.3.1.

PARAMETRO	INPIENTE	EPIENTE
1. Alcalinidad total (CaCO ₃)	166.0	126.6
2. Alcalinidad fenolf. (CaCO ₃)	0	0
3. Carbonatos (CaCO ₃)	0	0
4. Bicarbonatos (CaCO ₃)	166.0	126.6
5. Hidroxilos (CaCO ₃)	0	0
6. Conductividad eléctrica (umhos/cm)	2259.57	3269.31
7. Sólidos totales	470.51	409.50
8. Sólidos totales fijos	197.55	209.40
9. Sólidos totales volátiles	273.27	201.40
10. Sólidos disueltos totales	392.50	384.50
11. Sólidos disueltos fijos	186.50	206.80
12. Sólidos disueltos volátiles	206.00	179.00
13. Sólidos suspendidos totales	78.01	26.40
14. Sólidos suspendidos fijos	11.00	2.70
15. Sólidos suspendidos volátiles	67.27	22.40
16. Sólidos sedimentables (ml/l)	3.97	0.10
17. pH (unidades)	6.00	6.60
18. DBO ₅ soluble	110.56	36.30
19. DCO soluble	119.76	64.70
20. Carbono orgánico total fijo	30.82	12.60
21. Grasas y aceites	127.00	57.80
22. S.A.A.M.	4.73	3.40
23. Nitrógeno amoniacal	37.20	4.00
24. Nitrógeno total	87.14	23.50
25. Nitratos	78.04	13.10
26. Cloruros	25.54	23.50
27. Poro	1.89	2.39
28. Fósforo total	5.42	4.25
29. Calcio soluble	6.06	5.50
30. Calcio total	16.25	7.80
31. Magnesio soluble	10.026	2.00
32. Magnesio total	54.11	59.50
33. Sodio soluble	52.85	55.25
34. Sodio total	86.15	258.70
35. Potasio soluble	4.21	4.88
36. Potasio total	12.74	12.11
37. Hierro soluble	0.925	1.91
38. Hierro total	7.95	14.75
39. Manganeso soluble	0.012	0.024



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	

40. Manganeso total	0.095	0.043
41. Plomo soluble	0.01	0.10
42. Plomo total	0.267	0.085
43. Cadmio soluble	0.0035	0.004
44. Cadmio total	0.0038	0.007
45. Mercurio soluble	0.0023	0.004
46. Mercurio total	0.0035	0.0096
47. Arsenico soluble	0.022	0.0183
48. Arsenico total	0.035	0.0235
49. Cromo soluble	0.01	0.01
50. Cromo total	0.053	0.368
51. Colif. fecales (mill. col/100ml)	11.25	18.10
52. Colif. Totales (mill. col/100ml)	13.66	71.312
53. 1,1 dicloroetano	0	0.101
54. 1,1 dicloroetileno	0	0.028
55. 1,1,2 tricloroetano	0.002	0.008
56. 1,1,2,2 tetracloroetano	0	0.013
57. Cloroetano	0	0
58. 2, cloroetilvinil eter	0	0
59. Cloroformo	0.0016	0.201
60. 1,2 dicloropropano	0	0.028
61. 1,3 dicloropropano	0	0.003
62. Cloruro de metilo	0.005	0.038
63. Bromuro de metilo	0	0
64. Bromoformo	0	0
65. Diclorobromometano	0	0.0055
66. Triclorofluorometano	0	0.013
67. Diclorodifluorometano	0	0.0075
68. Clorodibromometano	0	0.005
69. Tetracloroetileno	0	0
70. Tricloroetileno	0	0.006
71. Cloruro de vinilo	0	0
72. 1,2 trans-dicloroetileno	0	0
73. bis 2 (clorometil) eter	0	0
74. Benceno	0.0174	0.008
75. Tolueno	0.0089	0.004
76. Etilbenceno	0	0
77. Tetracloruro de carbono	0	0.04
78. Clorobenceno	0	0
79. 1,2 dicloroetano	0	0.02



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	

80. 1,1,1 tricloroetano	0.0071	0.053
81. 1,2 diclorobenceno+112	0	0
82. 1,3 diclorobenceno	0.296	0.007
83. 1,4 diclorobenceno	0	0
84. Hexacloroetano+127	0	0
85. Hexaclorobutadieno	0	0.0023
86. Hexaclorobenceno	0	0
87. 1,2,4. triclorobenceno	0	0
88. bis 2 cloroetoximetano	0	0
89. Naftaleno	0.0032	0.01
90. 2 cloronaftaleno	0.0011	0.0017
91. Isoforona	0	0.085
92.	0	0
93. Nitrobenceno+126	0.159	0
94. 2,4 dinitrotolueno+121	0.0116	0
95. 2,6 dinitrotolueno+96	0.0126	0.0042
96. Fluoreno+95	0.0126	0.0042
97. Fluoranteno	0	0
98. Criseno	0.015	0.0097
99. Pireno	0.0035	0.0027
100. Fenantreno	0.0092	0
101. Antraceno+119	0	0.0002
102. Benzo(a)antraceno	0	0
103. Benzo(k)fluoranteno	0	0
104. Benzo(b)fluoranteno	0	0
105. Benzo(a)pireno	0	0
106. Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0	0
107. Dibenzo(a,h)antraceno	0	0
108. Benzo(g,h,i)perileno	0	0
109. 4 clorofenilfenil eter	0	0
110. 3,3' diclorobencidina+118	0.0234	0.0058
111. Fencidina	0	0
112. bis (2 cloroetil) eter+81	0	0
113. 1,2 difenilhidrazina	0	0
114. Hexaclorociclopentadieno	0	0
115. n-nitrosodifenilamina	0.0574	0
116. 4 bromofenilfenil eter	0	0
117. bis (2 etilhexil) ftalato	0	0
118. Di-n-octilftalato+110	0.234	0.0058
119. Dimetilftalato+101	0	0



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

120. Dietilftalato	0.0116	0
121. Di-n-butilftalato+94	0.0004	0
122. Acenaftileno	0.0074	0.001
123. Acenafteno	0.0077	0.0168
124. Butilbencilftalato	0	0
125. N-nitrosodimetilamina	0.159	0
126. N-nitrosodi-n-propilamina+93	0	0
127. bis (2-cloroisopropil) eter+84	0	0.0015
128. Fenol	0.072	0.08
129. 2 nitrofenol	3.26	0.088
130. 4 nitrofenol	0	0
131. 2,4 dinitrofenol	0.055	0.071
132. 2,6 dinitro-o-cresol	0.036	0.042
133. Pentaclorofenol	0.012	0.045
134. p-cloro-m-cresol	0.014	0.178
135. 2-clorofenol	0.046	0.09
136. 2,4 diclorofenol	0.027	0.166
137. 2,4,6 triclorofenol	0.06	0.096
138. 2,4 dimetifenol	0	0
139. Endosulfan (a y b)	0	0
140. BHC (a,b,g,d)	0	0
141. Aldrin	0	0
142. Dieldrin	0	0
143. 4,4' DDE	0	0
144. 4,4' DDD	0	0
145. 4,4' DDT	0	0
146. Heptacloro	0	0
147. Heptacloro epoxido	0	0
148. Clordano	0	0
149. Toxafeno	0	0
150. Aroclor 1916	0	0
151. Aroclor 1221	0	0
152. Aroclor 1232	0	0
153. Aroclor 1242	0	0
154. Aroclor 1248	0	0

Unidades: mg/l, excepto si se indica otra unidad.

C A P I T U L O V

V. RECARGA ARTIFICIAL.

V.1. Métodos de recarga.

Existen diversos métodos de recarga de aguas residuales -- tratadas al acuífero.

La decisión en cuanto al método de recarga a ser utilizado, estará regida por las suposiciones que se detallan a continuación:

- La recarga se realizará a través de áreas de infiltración, por encima de un acuífero freático o semiconfinado.
- La recarga estará basada en el efluente secundario o avanzado disponible, dentro de lo posible en un efluente proveniente de una planta de tratamiento en operación.
- La cantidad del efluente para la recarga será suficiente como para permitir la realización de un programa predeterminado de ensayos y monitoreo en el campo. El volumen -- previsto para dichos fines es de alrededor de unos 10,000 metros cúbicos por día, como promedio.
- La única planta de tratamiento capaz de suministrar la -- cantidad de efluente necesario, es la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

Basicamente se consideran dos métodos de recarga:

- Recarga del acuífero por realimentación (aquifer replenishment).
- Recarga del acuífero mediante el proceso de tratamiento -- del efluente por infiltración-percolación (soil-aquifer-treatment process).

Recarga del acuífero por realimentación.

No hay una tecnología estándar para la aplicación de este tipo de recarga. Por lo tanto deberá determinarse, mediante investigaciones apropiadas, los procesos a ser aplicados para eliminar del efluente contaminantes convencionales tales como turbidez, sólidos en suspensión, materia orgánica; así como también compuestos específicos (metales pesados, sustancias tóxicas, contaminantes microbiológicos y otros). Por consiguiente, los sistemas más usuales de tratamiento de aguas negras incluyen procesos mecánicos-biológicos convencionales, seguidos por tratamiento avanzado para aguas residuales.

Como ejemplo típico de tratamiento avanzado de aguas residuales se ofrece a continuación una breve descripción de una de las plantas más importantes de este tipo, denominada " Water -- Factory 21 " que se encuentra en Orange County, California, --- Estados Unidos.

En esta planta, el tratamiento avanzado del efluente prosigue el tratamiento usual de lodos activados convencional e incluye los siguientes procesos:

- Clarificación con cal incluyendo recalcinación de lodo.
- Eliminación de amoníaco.
- Recarbonatación.
- Cloración hasta el punto crítico.
- Filtración en medios múltiples.
- Adsorción con carbón activado, incluyendo regeneración de carbón.
- Desmineralización por ósmosis inversa.
- Postcloración.

En la figura P-V.1.1. se muestra el esquema de la planta de tratamiento Water Factory 21.

La eficiencia típica del proceso se evidencia en la eliminación de un 98 % de turbidez, 88 % de la demanda química de oxígeno (DQO), 70 % de detergentes, 98 % de fósforo, 80 % de nitrógeno y 100 % de coliformes y virus.

El método de recarga del acuífero por realimentación, tiene por objetivo llenar el acuífero de manera tal que el porcentaje de agua recargada al acuífero sea mantenido suficientemente bajo como para permitir la continuación de la extracción del agua del acuífero para uso general.

En este caso, el tratamiento al que serán sometidas las aguas residuales, previo a la recarga, deberá posibilitar la obtención de un efluente de calidad similar a la especificada en las normas de agua potable.

Este método ha sido aplicado principalmente en Los Angeles y Orange Counties, California, Estados Unidos.

Así pues, para poner en práctica la recarga artificial, se realizó un análisis de la infraestructura hidráulica actual para seleccionar pozos caducos que pudieran utilizarse, por otra parte, un criterio fundamental para seleccionar el pozo, lo constituyen las capacidades de producción de cada planta, así como su calidad.

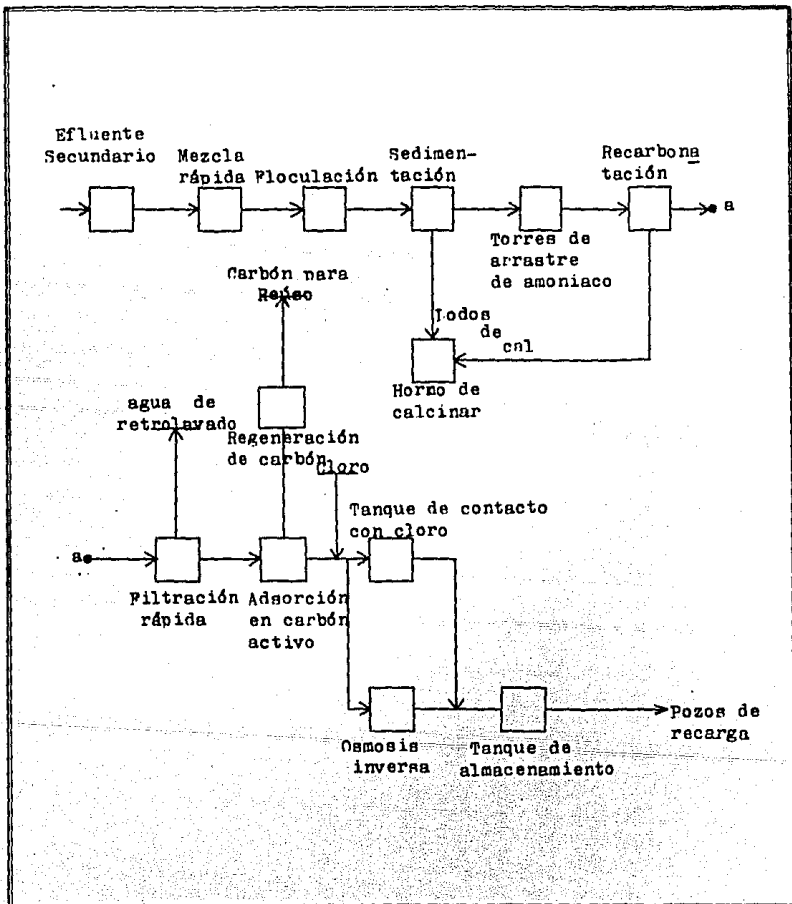
Se localizaron dichos pozos, anotándose los que se encuentran cercanos tanto a las plantas de tratamiento, así como a las líneas actuales de conducción de aguas tratadas, tomando además en cuenta a los pozos que se encuentran relativamente aislados a fin de no seleccionar pozos junto a otros que esten actualmenen



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-V.1.1.



te en operación y prevenir una posible contaminación directa.

Con base en lo anterior, se seleccionaron los pozos posibles de utilizarse cuya relación y características se incluyen en el cuadro C-V.1.1.

Recarga del acuífero mediante el proceso de tratamiento -- del efluente por infiltración-percolación.

La alternativa de la recarga del acuífero mediante el proceso de tratamiento del efluente por infiltración-percolación, se considera para el caso de que el objetivo de la recarga del acuífero es el tratamiento de las aguas negras y su almacenamiento en el acuífero, teniendo las aguas renovadas un uso limitado.

Este método debe ser concebido de tal modo que durante el flujo a través del suelo, el efluente recargado no pueda moverse fuera de la línea de pozos de recuperación que extraen del acuífero todo su volumen.

Este método ha sido experimentado y aplicado en Israel y Estados Unidos.

La descripción de las plantas de tratamiento y recarga de aguas residuales en la región de Dan, Israel y en Flushing --- Meadows, Arizona, Estados Unidos ilustran los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de recarga de acuíferos con el proceso de tratamiento del efluente por infiltración-percolación.

En la figura F-V.1.2. se muestra un esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales en la región de Dan, que incluye las instalaciones para el tratamiento biológico y avanzado de aguas residuales y la recarga del efluente.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-V.1.1.

POZOS CERCANOS A PLANTAS DE TRATAMIENTO QUE PODRIAN CONVERTIRSE
 EN POZOS DE RECARGA DE AGUAS TRATADAS.

Planta	Pozo para inyección	Caudal	Distancia de la planta de tratamiento.
Rosario	San Martín No. 2	60 lps	1200 metros
Bosques de las lomas	L. Chapultepec No. 3	Cancelado	1250 metros
	L. Chapultepec No. 4	Cancelado	1500 metros
	L. Chapultepec No. 6	Cancelado	1250 metros
Chapultepec	Campos Eliseos	40 lps	500 metros
	I. Chapultepec No. 2	Cancelado	600 metros
	I. Chapultepec No. 7	Cancelado	1200 metros
Tlatelolco	Tlatelolco	20 lps	4000 metros
	Abasolo-Jardín	70 lps	800 metros
Coyoacán	P-1872	Cancelado	1400 metros
	P-2081	Cancelado	1400 metros
San Juan de Aragón	P-1197	Cancelado	sobre
	P-2210	Cancelado	la
	P-1207	Cancelado	línea
Cerro de la Estrella	Panteón Civil No.1	Parado	700 metros
	Panteón Civil No.2	Cancelado	400 metros
	Panteón Civil No.3	Cancelado	1250 metros
	P-2670	Cancelado	800 metros
	SC-6	Parado	s. la línea
	SC-5	Parado	1500 metros'
	SC-4	Parado	1800 metros'
	SC-3	Parado	3600 metros'
	SC-2	Parado	4200 metros'
Ciudad Universitaria	Altillo-Universidad	Cancelado	1400 metros
Ciudad Deportiva	P-1535	Cancelado	1000 metros
	P-174	Cancelado	800 metros
	P-175	Cancelado	700 metros

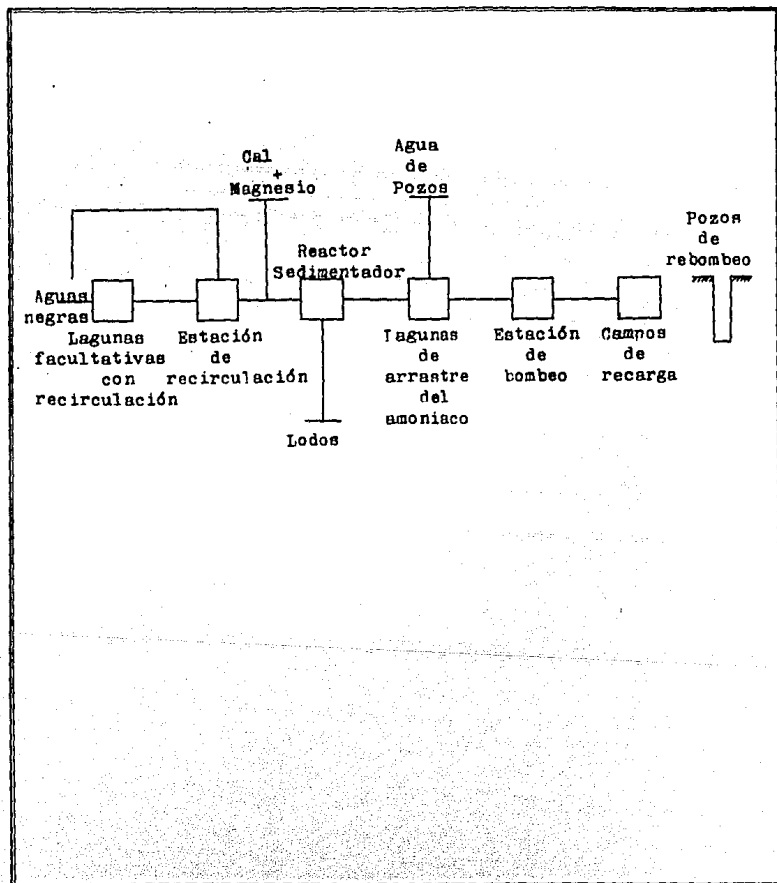
 lps: litros por segundo
 metros': metros de la línea.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-V.1.2.



El tratamiento biológico se realiza en lagunas de oxidación con recirculación parcial del efluente. El tratamiento avanzado de aguas tratadas consiste en un proceso químico de de nuración por medio de un tratamiento con pH elevado, eliminación de amoníaco y recarbonatación natural.

Las instalaciones principales de recarga deben incluir una estación de bombeo, una conducción del efluente y campos de recarga.

De acuerdo con resultados de ensayos preliminares de laboratorio y experimentos, se ha optado por un régimen de recarga intermitente para la operación de los campos de recarga.

El tipo seleccionado de recarga ha sido 1 día de inundación, seguida por 2 a 3 días de secado de los campos de recarga.

A fin de obtener el máximo posible de información sobre las tasas de infiltración y la calidad del efluente que se percola en la zona del suelo no saturada y la calidad del agua en el acuífero, se ha ideado un sistema adecuado de monitoreo que se implementará simultáneamente con el inicio de la operación de los campos de recarga.

El sistema de monitoreo se basa en el aforo de flujos, mediciones de nivel de agua en los campos de recarga y del acuífero, y muestras del efluente recargado y del agua subterránea para el control de la calidad por medio de análisis químicos y microbiológicos.

El muestreo de agua del subsuelo se realizará en una instalación especial, tomándose muestras del efluente percolado en -

la zona no saturada y también mediante muestras tomadas del acuífero y de pozos de observación y de recuperación. Las muestras serán tomadas en una instalación especial ubicada debajo del fondo de los campos de recarga, estando ubicados los pozos a diversas distancias de los dichos campos, a fin de determinar el tiempo y la distancia del recorrido del efluente recargado en el acuífero y los cambios en la calidad del agua que se ha producido.

El volumen del efluente recargado se calculará diariamente, las mediciones de nivel en los campos de infiltración se deberán realizar semanalmente y las de los niveles de agua subterránea mensualmente.

El control de la calidad del efluente de recarga se realizará mediante el análisis de unas 65 características físico-químicas y biológicas a varias frecuencias, desde diarias hasta mensuales. La calidad del efluente percolado se determinará cada 15 días.

En la figura P-V.1.3. se muestra el esquema de la planta de demostración de recarga en Flushing Meadows. La planta estuvo en operación durante 10 años (1968-1978), durante este período se pudieron distinguir dos etapas diferentes. En los primeros 5 años los experimentos estuvieron encaminados a la determinación de una carga hidráulica óptima, mientras que en los últimos 5 años el objetivo principal consistió en la obtención de una tasa máxima de remoción de compuestos de nitrógeno.

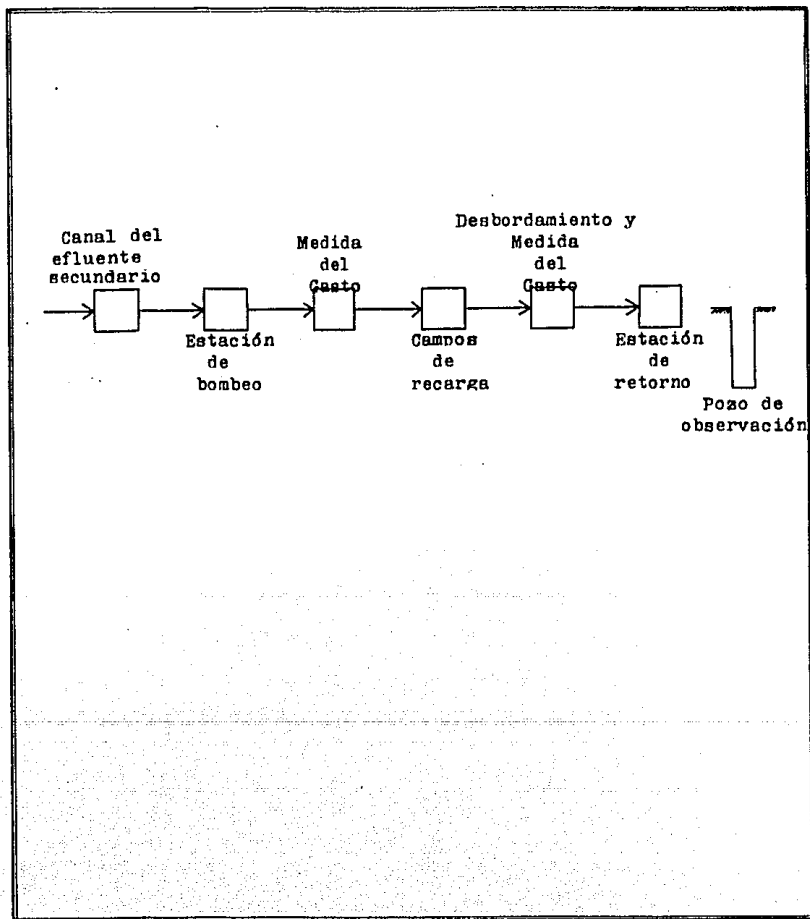
Durante el primer período, la infiltración intermitente fue de 14 a 20 días de inundación, por 10 días de secado, obteniéndose los mejores resultados, con una tasa de infiltración -



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYÓN.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-V.1.1.



de 0.34 metros por día, manteniéndose la profundidad del agua - en los campos de recarga a 0.30 metros.

En el segundo período se obtuvieron mejores resultados con respecto a la remoción de compuestos de nitrógeno al modificarse la pauta de infiltración de 9 días de inundación y 12 días de secado, con una disminución en la altura del agua de los campos a 0.15 metros; consecuentemente la tasa de infiltración también disminuyó a cerca de 0.17 metros por día.

El mejoramiento de la calidad del efluente mediante la recarga con tratamiento del efluente por infiltración-percolación en las dos mencionadas plantas se muestra en el cuadro C-V.1.2.

V.2. Posibles sitios de recarga.

Para la selección del sitio adecuado, se guiará básicamente bajo las siguientes posibilidades:

- Ubicación del proyecto de recarga dentro de los límites del Distrito Federal, y utilización del agua recuperada en usos que no requieren el carácter de agua potable.
- Ubicación dentro del Valle de México, pero fuera de los límites del Distrito Federal, lo que permitiría ejecutar un proyecto más ambicioso y con menos restricciones.

La selección de los sitios potencialmente adecuados para la ubicación del proyecto se basó principalmente en la información disponible acerca de la geología y la hidrología del Valle de México, la cual permitiera descartar algunas zonas debido a inconvenientes tales como riesgo obvio de contaminación de pozos cercanos que bombean agua potable, falta de condiciones adecuadas para recarga a través de lagunas de infiltración y consi



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRENA	CUADRO C-V.1.2.

Características	Planta de demostración de recarga de -- Flushing, Meadows, Arizona, EE.UU.		Inundación 9 d.	
	Inundación 14-20 d. Secado 10 d.	Inundación 9 d. Secado 12 d.	Efluente	Agua reno vada
Total sólidos disueltos	1000-1200	1050-1250	1075	1095
Total sólidos suspendidos	20-100	x	10-70	1
pH (unidades)	7.6-8.1	7.0	8.0	6.7-7.0
DBO5 total	10-20	0-1	10-20	1
DQO total	30-60	10-20	30-60	16-20
Nitrógeno total	N.D.	N.D.	20-40	9.6
Amoníaco como N	20-40	5-15	20	3
Nitrógeno orgánico	1-6	N.D.	3.7	0.6
Nitratos como N	0-1	0	3	6.2
Nitritos como N	0-3	N.D.	0.1	trazas
Fósforo como PO ₄ P	15	5-10	7-15	3-6
Detergentes	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Boro	0.5-0.7	0.5-0.7	0.5-0.6	0.5-0.6
Zinc (ug/l)	195	110	xx	N.D.
Cobre (ug/l)	125	20	N.D.	N.D.
Cadmio (ug/l)	7.7	7.2	N.D.	N.D.
Plomo (ug/l)	82	66	82	66
Mercurio (ug/l)	2	1.3	N.D.	N.D.
Fac. col. fecal (NMP/100ml)	10 ⁶	1-100	250000	75
Enterovirus (PFU/l)	N.D.	N.D.	2000	0
Tasa de infiltración de lar ₆ a duración (m/día)	0.34	0.34	0.17	0.17

 unidades mg/l, excepto si se indica otra unidad.
 d. días
 x. casi nula
 N.D. No Detectada
 xx. concentración por debajo de los límites de la norma de agua no
 table
 ug. microgranos
 NMP número más probable



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	

Características

Planta de tratamiento de aguas servidas de la Región de Dan, Israel.

Inundación 1 d. Percolación en las lagunas de oxidación.

	Efluente vada	Agua reno vada	Efluente vada	Agua reno vada
Total sólidos disueltos	550-1220	520-890	670-700	550-680
Total sólidos suspendidos	16-20	5	N.D.	N.D.
pH (unidades)	8.9-9.8	7.8-8.0	8.9-9.8	8.0-8.4
DBO5 total	7.3-13.6	1.0	N.D.	N.D.
DQO total	60-65	6.5-19	60-65	28-37
Nitrógeno total	7-12	4-10	4-16	4-16
Amoníaco como N	6-11	0.2-1.5	3-15	4-15
Nitrógeno orgánico	6-11	0	0	0
Nitratos como N	0.1-0.3	0.6-1.0	0.1-1.0	0.1-0.6
Nitritos como N	0.02-0.6	0.004-0.03	N.D.	N.D.
Fósforo como PO ₄ P	0.5-0.8	0.25	0.5-0.8	0.01-0.05
Detergentes	1.1-1.2	0.1-0.2	1.1-1.2	0.9-1.1
Boro	0.3	0.1-0.2	0.3	N.D.
Zinc (ug/l)	56-250	N.D.	0	0
Cobre (ug/l)	11-14	3-8	0	0
Cadmio (ug/l)	2-14	3	0	0
Plomo (ug/l)	17-30	10-25	0	0
Mercurio (ug/l)	0.1-0.3	N.D.	0	0
Bac. col. Fecal (NMP/100ml)	65	0	65	0
Enterovirus (PFU/l)	0-1	0	N.D.	N.D.
Tasa de infiltración de larga duración (m/día)	0.6-0.7	0.6-0.7	0.05	0.05

 unidades mg/l, excepto si se indica otra unidad
 d. días
 N.D. No Detectada
 ug. microgramos
 NMP número más probable

deraciones económicas.

Los criterios considerados en la selección de la ubicación del proyecto fueron los siguientes:

- Las características geológicas del acuífero y de las capas suprayacentes al mismo, las cuales determinaran en gran medida no sólo la posibilidad misma de recarga, sino también el método a aplicar y las investigaciones necesarias para la ejecución del proyecto.
- La existencia de pozos que bombean agua potable en la vecindad del sitio considerado y el riesgo de contaminarlos por el agua recargada.
- La posibilidad potencial de recargar el acuífero mediante lagunas de infiltración, en vez de pozos. Esta posibilidad permitiría reducir considerablemente tanto las inversiones como los gastos anuales de operación.
- La disponibilidad de áreas suficientes en los alrededores inmediatos del sitio considerado, con miras a ampliar considerablemente las operaciones de recarga en el futuro a través de lagunas de infiltración.
- La posibilidad práctica de recuperar el agua recargada, mediante pozos de bombeo situados cerca de las áreas de recarga, para usos que no requieren agua potable.
- La posibilidad práctica de obtener los terrenos necesarios para el proyecto de recarga.
- La disponibilidad de un acceso libre y fácil al sitio del proyecto.

Sitios examinados dentro de los límites del Distrito Federal.

Ocho sitios potenciales fueron considerados en primera instancia para la ubicación del proyecto de recarga de aguas negras tratadas dentro de los límites del Distrito Federal. De éstos, los siguientes cuatro fueron descartados, con base en los parámetros anteriores:

- Ajusco,
- San Mateo Xalva.
- Santa Fe.
- San Juan de Aragón.

Los cuatro sitios restantes, fueron seleccionados para un examen más profundo, los cuales se localizan al sureste del Distrito Federal. En todos ellos el acuífero está constituido por basaltos, pero los cuatro sitios difieren en cuanto a la naturaleza, estructura y espesor de la cubierta que suprayace a los derrames basálticos. Para obtener una idea preliminar de la permeabilidad de estas cubiertas geológicas, se han realizado pruebas de infiltración en varios puntos dentro de los sitios considerados.

Teniendo en cuenta la disponibilidad actual de aguas residuales tratadas para el proyecto de recarga, se estima, que al menos en un futuro próximo, los cuatro sitios tendrán que basarse en las aguas tratadas de la planta del Cerro de la Estrella.

- Santa Catarina Poniente.

El sitio considerado cuya área es de aproximadamente 70 hectáreas, está situado a una cota de 2300 metros sobre el nivel del mar, y presenta una configuración topográfica adecuada. El terreno está formado por capas de arena volcánica con variación de finos a gruesos, y gravas y boleos aislados, de varios

metros de espesor, que cubren derrames basálticos recientes. - La inclinación de dichos derrames es al rumbo sur, constituyendo el basamento del relleno lacustre y aluvial del valle comprendido entre Xochimilco y San Pedro Tlahuac.

Al sur-suroeste (SSW) del área considerada se encuentran - los pozos 4 y 5 de Santa Catarina, los cuales están ubicados a algo menos de 2 kilómetros del sitio de recarga propuesto.

Cabe suponer que el agua recargada en este sitio por medio de lagunas se infiltrará a través de las capas no saturadas y - llegará al acuífero basáltico, siendo probable su flujo al sur, es decir, hacia el centro del valle.

No es ilógico pronosticar que el agua servida tratada que se recargue en el sitio, pueda llegar a los pozos de Santa Catarina que extraen agua del acuífero de basalto.

Este sitio potencial posee una ventaja adicional, principalmente económica, que es la corta distancia de la línea de -- conducción del efluente al área considerada.

•Santa Catarina Oriente.

El sitio examinado se encuentra ubicado al suroeste del -- volcán La culebra, siendo su elevación aproximada de 2330 metros sobre el nivel del mar. El área presenta una configuración topográfica muy irregular y por lo tanto para llevar a cabo el -- proyecto de infiltración a través de lagunas sería necesario -- realizar grandes obras de movimiento de tierras.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona presenta - una cubierta similar al sitio precedente de Santa Catarina Poniente, localizándose sólo un pozo de agua potable (Santa Cata-

rina 1) a una distancia aproximada de 3 kilómetros del sitio propuesto. La distancia entre la línea de conducción de aguas residuales tratadas y el área considerada es de alrededor de 7 ki ló me tro s.

•San Pedro Actopan.

El área está situada al suroeste del volcán Teuhtli, presenta una elevación de 2335 metros sobre el nivel de mar, y una configuración topográfica adecuada para el proyecto de recarga. Cabe señalar, sin embargo, que las áreas que pueden utilizarse en el futuro para el desarrollo del proyecto en esta zona no son muy amplias, localizándose especialmente a lo largo de la carretera México-Actopan-Milpa Alta.

El terreno es generalmente plano y ostenta una cubierta aluvial de finos, como limos y arenas que sobreyacen a derrames basálticos inclinados hacia el norte. Estos derrames constituyen el acuífero del cual se extrae el agua por los pozos del ramal San Luis, siendo la distancia de éstos al área considerada 4 ki ló me tro s.

•Milpa Alta.

La zona examinada, que se ubica al sur del volcán Teuhtli, muestra una configuración topográfica, así como una elevación de 2340 metros sobre el nivel del mar convenientes para el proyecto de recarga. Desde el punto de vista hidrogeológico, la cubierta que se presenta en el terreno es similar a la zona de San Pedro Actopan, de la que difiere sólo en el espesor de la cubierta.

La distancia de este sitio a la batería de pozos del ramal

Tecomitla es de alrededor de 3 kilómetros.

Sitios de recarga fuera de los límites del Distrito Federal.

El área del Distrito Federal constituye solamente el 15 % de la superficie total de la cuenca del Valle de México y se localiza en la parte sur-poniente de este valle. Si bien es probable que el valle en su totalidad forme una sola cuenca de agua subterránea, se considera que la conexión hidrológica entre los acuíferos del Distrito Federal y los que se encuentran en el norte del valle no es muy fuerte, y por lo tanto las condiciones hidrológicas al norte de la sierra de Guadalupe y Chiconautla no tienen una influencia directa y rápida en los acuíferos dentro del Distrito Federal.

Los acuíferos explotados al norte del Distrito Federal son aluviales en el centro del valle y basálticos en las margenes. En toda esta región existe un bombeo promedio de aproximadamente 10 metros cúbicos por segundo, que causa un abatimiento continuo y paulatino del nivel freático.

En la región norte del Distrito Federal la única fuente importante de aguas residuales es el Gran Canal, que conduce aguas residuales no tratadas desde el Distrito Federal al valle de Tula.

El aprovechamiento de las aguas residuales del Gran Canal, ya sea a través de lagunas de infiltración o por medio de pozos, exigirá la construcción de una planta de tratamiento, además del proyecto de recarga. Por consiguiente, al seleccionar el sitio del proyecto de recarga se deberá tomar en cuenta entre todos -

los parámetros, también la necesidad de construir cerca del --- Gran Canal o del sitio del proyecto una planta de tratamiento, cuyas características se podrán determinar sólo una vez que se haya seleccionado el área del proyecto de recarga y el método - de la misma.

Para la selección de un sitio para el proyecto de recarga fuera de los límites del Distrito Federal, se llevo un reconoci- miento de cinco zonas potenciales, cuatro de las cuales fueron rechazadas después de un primer examen: estas zonas son:

- Temascalapa.
- San Lucas Xolax.
- Melchor Ocampo.
- Nicolas Romero.

Las tres primeras poseen acuíferos basálticos y en la cuar- ta existe una cubierta aluvial sobre capas de la formación Ta-- rango. Estas zonas se rechazaron por una o más de las siguien- tes razones:

- La gran distancia al Gran Canal.
- La limitación del área disponible para el tratamiento y - recarga.
- La existencia de pozos de agua notable en la vecindad de la zona considerada.
- La falta de características hidrológicas adecuadas.

La quinta zona reconocida es la de Zumpango de Ocampo, cu- ya elevación topográfica es de 2260 metros sobre el nivel del - mar. Esta zona pertenece al antiguo delta del río de las aveni- das de Pachuca, que se encuentra a 4 kilómetros del Gran Canal.

La superficie del terreno se encuentra en este sitio a unos

20 a 30 metros sobre el acuífero aluvial del delta. La zona -- presenta una configuración topográfica adecuada para el proyecto de recarga: ostenta una cubierta del suelo limo-arcilloso de 0.50 a 1.0 metros de espesor, que sobreyace a las arenas de gr no fino a grueso.

Esas capas de arena y el intervalo de 20 a 35 metros entre la superficie y el nivel freático forman un medio excelente para el mejoramiento adicional de aguas residuales tratadas, así como para el almacenamiento subterráneo de grandes cantidades -- de agua.

Aunque todavía no se ha efectuado alguna investigación hidrológica en la zona, la impresión general es que no habría dificultad en explotar las aguas recargadas mediante bombeo, ya -- que actualmente no se cuenta con una gran cantidad de pozos en la zona considerada.

V.3. Características del sitio seleccionado.

La ubicación del proyecto depende de varios factores, uno de los cuales es la disponibilidad del agua residual tratada en cantidad y calidad física-química-biológica adecuada, y a una -- distancia razonable del sitio del proyecto propuesto.

Cabe mencionar que en la selección de la fuente por utilizar, se ha considerado no sólo la cantidad necesaria para el -- proyecto inicial, que es de aproximadamente 10,000 metros cúbicos por día: sino también caudales varias veces mayores para la recarga del acuífero en el proyecto definitivo.

El caudal total de aguas residuales domésticas e industria -- les que se generan en el Distrito Federal, es actualmente de 35

metros cúbicos por segundo aproximadamente. La mayor parte de este volumen está siendo aprovechado para el riego de vastas -- áreas en el Valle de México y en el Valle de Tula. Estas aguas residuales no reciben ningún tratamiento planificado antes de -- su reúso para riego.

Debido principalmente a consideraciones económicas, no existe en el Distrito Federal tratamiento adecuado para todas las -- aguas residuales generadas. Tanto en el pasado como el presente, el tratamiento está limitado a las cantidades destinadas a usos bien definidos.

Dentro de los límites del Distrito Federal, existen once -- plantas de tratamiento de aguas residuales, diez de las cuales pertenecen al Departamento del Distrito Federal. La capacidad nominal total de las plantas del Departamento del Distrito Federal es de 4.3 metros cúbicos por segundo. Los efluentes sirven principalmente para el riego de parques públicos y áreas verdes y para el llenado de lagos recreativos.

Desde el punto de vista de planeación, diseño y selección del sitio del proyecto, y en conformidad con el efluente para -- el propósito de recarga, es importante considerar las plantas -- de tratamiento de acuerdo a los siguientes criterios:

- Ubicación de la planta de tratamiento.
- Capacidad nominal de la planta.
- Capacidad efectiva de la planta.
- Planes existentes para el mejoramiento de las instalaciones.
- Planes de ampliación para el futuro.
- Procedencia de las aguas residuales crudas.

- Calidad de las aguas residuales crudas.
- Calidad de las aguas residuales tratadas.
- Reúso actual y potencial del efluente.
- Fluctuaciones en la demanda del efluente.
- Facilidades de almacenamiento cerca de la planta de tratamiento.
- Instalaciones, estaciones de bombeo y líneas de conducción, para la utilización del efluente.

Tomando en cuenta la operación actual de las plantas de -- tratamiento y de sus planes de rehabilitación y extensión, y to mando en cuenta que el proyecto inicial de recarga deberá basar se en una cantidad mínima de aproximadamente 10,000 metros cúbicos por día, resulta obvio que las fuentes de agua tratada para el proyecto son prácticamente muy limitadas.

Sí se agrega a esto el problema de ubicación del proyecto desde el punto de vista hidrológico y económico, se llega fácil mente a la conclusión de que la única fuente que puede satisfacer las exigencias del proyecto de recarga es la planta de tratamiento Cerro de la Estrella.

Habiendo definido la posible fuente de recarga, el sitio -- más ventajoso dentro del Distrito Federal, es el referente a -- Santa Catarina Poniente. Esta preferencia se basó en las sigui entes consideraciones:

- Las condiciones hidrológicas son adecuadas.
- El nivel topográfico no es demasiado alto.
- La configuración topográfica es adecuada para realizar la recarga a través de lagunas de infiltración.
- El conducto de agua residual tratada proveniente de la --

planta de tratamiento del Cerro de la Estrella se encuentra a corta distancia del sitio considerado.

El sitio preferible en el Valle de México, pero fuera de los límites del Distrito Federal, es el que se localiza al oriente del Lago de Zumpango, ubicado a unos 30 kilómetros al norte de la ciudad. Las razones que justifican esta selección son:

- La existencia de un acuífero aluvial, que al menos en su parte superior, tiene buena conexión hidráulica con la superficie.
- La existencia de capas de arena de espesor considerable y con una cubierta muy fina de suelo, que ocupan vastas áreas encima del acuífero y que son adecuadas para la recarga a través de lagunas de infiltración.
- La disponibilidad de vastas áreas de terreno de costo relativamente bajo que se prestan a la construcción de una planta de tratamiento con lagunas abiertas.
- La proximidad del sitio a una fuente importante de aguas residuales, como lo es el Gran Canal.
- La posibilidad de utilizar el agua recuperada para riego ilimitado de cultivos en la zona agrícola del delta.
- La posibilidad de aprovechar el acuífero para almacenamiento estacional.
- Riesgo mínimo de contaminación de los pozos vecinos de agua potable.

Descripción general del sitio seleccionado.

La selección del sitio para la implementación del proyecto se efectuó con base en criterios geológicos, hidrológicos y topográficos, prestandose también atención especial a los aspectos

tos de la calidad del agua subterránea y el peligro de contaminación de la misma, la capacidad de infiltración del terreno y otros criterios técnicos y administrativos.

El sitio propuesto está ubicado en la parte occidental de la ladera sur de la sierra de Santa Catarina y satisface, según se estima, todas las condiciones básicas exigidas para la ubicación del proyecto.

Esta zona se localiza alrededor del poblado de Santiago -- Zapotitlán y en ella se encuentran los pozos Santa Catarina 2, 3, 4, 5, y 6 (SC-2, SC-3, SC-4, SC-5, SC-6) los que se ubican en un tramo con una longitud de 4.5 kilómetros.

Geología.- La geología del subsuelo de la zona seleccionada para la inyección de las aguas tratadas se encuentra constituida esencialmente por materiales granulares con intercalaciones de cenizas volcánicas las cuales presentan buena permeabilidad. Cubriendo a estos materiales y al sur de la sierra de Santa Catarina, o sea en la parte correspondiente al antiguo lago de Xochimilco-Chalco, se encuentra un espesor de aproximadamente 60 metros de arcillas lacustres de reducida permeabilidad.

De acuerdo a los conocimientos geológicos actuales, la sierra de Santa Catarina se encuentra conformada por brechas volcánicas basálticas, corrientes de lava, tezontle, depósitos cineríticos y piroclásticos. En general, la zona presenta altos -- coeficientes de porosidad y permeabilidad, y constituye el área principal de captación de los acuíferos dentro de la zona.

Para definir la estratigrafía en la zona de recarga y en base al corte geológico del pozo de Santa Catarina 4, que se encuentra aproximadamente a 1000 metros del centro de la zona, se

procedio a realizar una sección geológica de la cual se dedujo la siguiente columna estratigráfica:

- 0-10 metros arena, grava y boleos volcánicos
- 10-30 metros lapilli con tezontle
- 30-50 metros basalto
- 50-70 metros lapilli con ceniza
- 70 metros basalto con alternancia de arenas

Las profundidades de cada cana serán tentativas ya que éstas dependerán de las condiciones de depósitos de las mismas.

En lo que respecta a la elevación del nivel freático debajo de la zona de recarga, se observan los siguientes hechos geohidrológicos:

- El nivel freático en el pozo más cercano se sitúa aproximadamente a 2230 metros sobre el nivel de mar.
- Si se considera que el centro de la zona de recarga se encuentra a una cota de 2300 metros sobre el nivel de mar, el nivel estático estará aproximadamente entre 70 y 80 metros de profundidad.

Geohidrología.- Se ha estimado que en el sitio propuesto para el proyecto de recarga, el agua se halla a una profundidad de 70 a 80 metros bajo el nivel del suelo.

El agua subterránea proviene de las precipitaciones que se infiltran por el suelo a través de las canas permeables y de la cobertura superior.

El volumen de las precipitaciones que se registran en el área de la sierra de Santa Catarina alcanzan unos 600-650 milímetros por año, como promedio y alrededor de un 40-50 % de la lluvia se infiltra a la capa de agua subterránea.

En la parte sur del Valle de México se desprende que por debajo de la cumbre de la sierra de Santa Catarina se encuentra un parteaguas subterráneo, que ocasiona que una parte del agua infiltrada llegando al agua subterránea, se traslade en dirección norte y otra parte hacia el sur. El sitio propuesto está localizado al sur de esta sierra.

Cabe señalar que el flujo hacia el sur se ha incrementado en los últimos años ya que en esa dirección se encuentra el sistema de pozos de Santa Catarina, del cual se bombea agua proveniente sobre todo del acuífero basáltico, que es alimentado por el agua infiltrada en la sierra de Santa Catarina.

Más hacia el sur se encuentra el valle Tlahuac-Xochimilco, que desde el punto de vista hidrológico constituye parte del acuífero aluvial-lacustre del Valle de México. En el centro de este valle existe un campo de pozos (sistema Tlahuac-Netzahuacoyotl), del cual se bombea agua del acuífero. Es posible que en parte de dichos pozos también se bombea agua de las capas basálticas que se prolongan en los bordes del valle.

En la parte sur del valle, a lo largo de las laderas de las sierras volcánicas, se encuentran los sistemas de San Luis y Tulyehualco, de cuyos pozos se bombea agua subterránea del acuífero basáltico de esta zona.

Como consecuencia del bombeo del agua subterránea de los acuíferos basálticos, a ambos lados del valle, y del bombeo de las capas aluviales-lacustres en el centro del valle, se ha creado una depresión del nivel freático, por ejemplo, los niveles bajarón en aproximadamente 12 a 13 metros durante el período de 1963-1981 en los pozos de Santa Catarina.

Como resultado del abatimiento de los niveles se supone -- que se registrarán hundimientos del suelo en el área aluvial y quizás un empeoramiento de la calidad del agua.

Topografía y Geografía..- El sitio propuesto de recarga goza de buenas condiciones topográficas y geográficas que permitirán realizar sin mayores esfuerzos la planeación y preparar el terreno en forma apropiada para la recarga, tanto en la primera etapa como en las etapas posteriores que requieren superficies más vastas.

Según el mapa topográfico, aparentemente en el centro del área el nivel del suelo se encuentra a una cota de unos 2300 metros sobre el nivel del mar y una suave pendiente de 4-6 %, con tendencia en dirección sur.

La superficie total que puede ser preparada para los fines expuestos abarca unas 80 hectáreas, en tanto que en la primera etapa, solamente se requerirá un área del 10 % (fig. P-V.3.1.).

La distancia del centro del área propuesta a los pozos de Santa Catarina 4 y 5 es de 1250 metros, y más de 2000 metros a los otros pozos de Santa Catarina. La distancia entre el sitio propuesto y la conducción existente, que acarrea el efluente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella en dirección a Tlahuac, no supera los 2000 metros. Por lo tanto no se prevén dificultades para unir el área seleccionada para el proyecto con el sitio de procedencia del efluente.

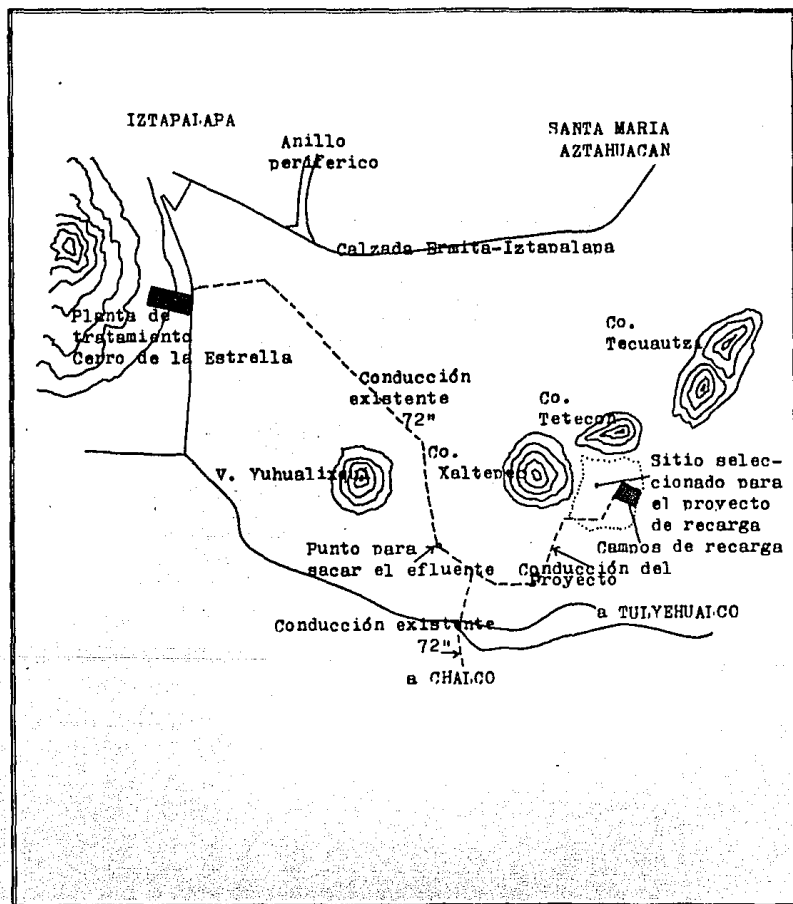
Desde el norte al sitio propuesto para la recarga se extienden sierras de origen volcánico, que constituyen el parteaguas superficial, y al sur, como ya fue mencionado, se encuentra el valle Xochimilco-Tlahuac.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-V.3.1.



C A P I T U L O V I

VI. CALIDAD DEL AGUA.

VI.1. Características físico-químicas-biológicas del agua residual tratada.

El término "calidad del agua" es una expresión ampliamente empleada, que tiene diversas interpretaciones, debido a la variedad de usos a que el agua se destina; en consecuencia, la calidad del agua depende del uso que se le vaya a dar a ésta.

En los sistemas de abastecimiento de agua potable, los usos alternativos del agua están subordinados a las necesidades del hombre a que no dañen su salud, es decir, que sea segura para su consumo.

Agua y hombre están vinculados por lazos de vida y salud; agua y hombre están unidos en el compromiso de la subsistencia y en el resto del desarrollo integral.

El hombre no puede vivir sin el líquido vital: pero este debe llenar requisitos de calidad para preservar la salud.

El hombre contamina su medio ambiente con sus propios desechos y con los de su diaria actividad, en una acción un tanto irreflexiva y un tanto autodestructiva.

Todavía las enfermedades de origen hídrico son la primera causa de mortalidad infantil y cada vez en mayor medida.

Poco valen médicos y medicinas: hospitales y clínicas, si el agua no es suficiente en calidad y en cantidad para apagar la sed y para preparar los alimentos. La medicina y la ingeniería sanitaria son complementarias e inseparables.

El agua tratada proveniente de la planta de tratamiento -- Cerro de la Estrella, tiene las características físicas-químicas y biológicas que se mencionan en el cuadro C-VI.1.1. Observándose que sus características son comparables con los efluentes de plantas utilizados para recarga artificial en otros sitios - del mundo, por lo que se considera que puede utilizarse para la recarga del acuífero de Santa Catarina.

Por otra parte, el agua tratada al infiltrarse a través de los materiales del subsuelo, sufren un filtrado y dilución que disminuyen la presencia de substancias indeseables.

Cabe mencionar que la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella ha sido diseñada para alcanzar el nivel de tratamiento secundario mediante el proceso de lodos activados convencional, el tratamiento incluye además desinfección del efluente mediante cloración; y actualmente se estan reali--zando proyectos a nivel piloto para que dicha planta adquiera - un tratamiento avanzado a través de espumación, tratamiento químico, desorción, recarbonatación, filtración, adsorción, ozonación, ósmosis inversa y cloración; cuyo efluente se muestra en el cuadro C-VI.1.2. que se pretende utilizar en la recarga al - acuífero por realimentación.

Tal como ya se había mencionado, la recarga se pretende -- realizar con el efluente de la planta de tratamiento Cerro de - la Estrella.

En el cuadro C-VI.1.3. se muestran las principales caracteristicas de la calidad del efluente proveniente de esta planta, frente a la calidad de los efluentes provenientes de otras plantas, que han aplicado la recarga mediante el proceso de trata--



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRENA	CUADRO C-VI.1.1.

PARAMETRO	INGREDIENTE	EPLUENTE
1. Alcalinidad total (CaCO ₃)	286.00	255.50
2. Alcalinidad fenolf. (CaCO ₃)	0	0
3. Carbonatos (CaCO ₃)	0	0
4. Bicarbonatos (CaCO ₃)	286.0	255.50
5. Hidroxilos (CaCO ₃)	0	0
6. Conductividad eléctrica	921.94	900.25
7. Sólidos totales	676.78	709.25
8. Sólidos totales fijos	247.49	291.40
9. Sólidos totales volátiles	438.83	402.15
10. Sólidos disueltos totales	621.50	645.50
11. Sólidos disueltos fijos	226.50	266.50
12. Sólidos disueltos volátiles	395.00	379.00
13. Sólidos suspendidos totales	64.78	63.75
14. Sólidos suspendidos fijos	20.99	24.90
15. Sólidos suspendidos volátiles	43.83	23.15
16. Sólidos sedimentables (ml/l)	2.50	0.125
17. pH (unidades)	7.33	7.42
18. DBO ₅ soluble	200.13	61.66
19. DCO soluble	324.19	159.64
20. Carbono orgánico total fijo	66.00	29.50
21. Grasas y aceites	116.30	38.50
22. S.A.A.M.	5.02	4.86
23. Nitrógeno amoniacal	24.93	17.00
24. Nitrógeno total	47.66	33.68
25. Nitratos	11.60	4.30
26. Cloruros	60.34	64.25
27. Boro	3.33	1.80
28. Fósforo total	5.79	7.58
29. Calcio soluble	21.67	16.19
30. Calcio total	36.47	29.76
31. Magnesio soluble	17.93	24.33
32. Magnesio total	109.00	89.53
33. Sodio soluble	91.75	74.80
34. Sodio total	119.66	109.00
35. Potasio soluble	4.20	6.00
36. Potasio total	24.63	24.10
37. Hierro soluble	0.579	0.608
38. Hierro total	19.99	5.59
39. Manganeso soluble	0.032	0.29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

40. Magnesio total	0.096	0.091
41. Plomo soluble	0.05	0.052
42. Plomo total	0.05	0.017
43. Cadmio soluble	0.01	0.001
44. Cadmio total	0.02	0.0035
45. Mercurio soluble	0.0009	0.0019
46. Mercurio total	0.0023	0.034
47. Arsenico soluble	0.02	0.015
48. Arsenico total	0.04	0.037
49. Cromo soluble	0.01	0.048
50. Cromo total	0.13	0.28
51. Colif. fecales (mill. col/100ml)	48.50	192000.00
52. Colif. totales (mill. col/100ml)	150.75	310000.00
53. 1,1 dicloroetano	0.032	0.063
54. 1,1 dicloroetileno	0.048	0.087
55. 1,1,2 tricloroetano	0.043	0.060
56. 1,1,2,2 tetracloroetano	0.159	0.245
57. Cloroetano	0	0.169
58. 2 cloroetilvinil eter	0	0
59. Cloroformo	0.189	0.365
60. 1,2 dicloropropano	0	0.017
61. 1,3 dicloropropano	0	0.005
62. Cloruro de metilo	0.082	0.137
63. Bromuro de metilo	0	0
64. Bromoformo	0	0
65. Diclorobromometano	0	0.019
66. Triclorofluorometano	0	0.008
67. Diclorodifluorometano	0	0
68. Clorodibromometano	0	0
69. Tetracloroetileno	0.046	0.082
70. Tricloroetileno	0.101	0.140
71. Cloruro de vinilo	0	0.024
72. 1,2-transdicloroetileno	0	0
73. bis 2 (clorometil)eter	0	0
74. Benceno	0.433	0.201
75. Tolueno	0.305	0.098
76. Etilbenceno	0.037	0
77. Tetracloruro de carbono	0.005	0.013
78. Clorobenceno	0.005	0
79. 1,2, dicloroetano	0.258	0.385



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	

80. 1,1,1 tricloroetano	0.242	0.438
81. 1,2 diclorobenceno+112	0	0
82. 1,3 diclorobenceno	0	0.091
83. 1,4 diclorobenceno	0	0
84. Hexacloroetano+127	0.073	0.098
85. Hexaclorobutadieno	0	0
86. Hexaclorobenceno	0	0
87. 1,2,4 triclorobenceno	0	0
88. bis 2 cloroetoximetano	0	0
89. Naftaleno	0.005	0.0118
90. 2 cloronaftaleno	0.005	0.005
91. Isoforona	0.35	0.0291
92.	0	0
93. Nitrobenceno+126	0	0
94. 2,4 dinitrotolueno+121	0	0.0054
95. 2,6 dinitrotolueno+96	0	0
96. Fluoreno+95	0	0
97. Fluoranteno	0	0
98. Criseno	0	0.0089
99. Pireno	0.002	0.0061
100. Fenantreno	0	0
101. Antraceno+119	0.0017	0.0002
102. Benzo(a)antraceno	0.016	0.0056
103. Benzo(k)fluoranteno	0.002	0
104. Benzo(b)fluoranteno	0.002	0
105. Benzo(a)pireno	0	0
106. Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0	0
107. Dibenzo(a,h)antraceno	0	0
108. Benzo(g,h,i)	0	0
109. 4 clorofenilfenil eter	0	0
110. 3,3' diclorobencidena	0	0
111. Bencidina	0	0
112. bis (2 cloroetil)eter+81	0	0
113. 1,2 difenilhidrazina	0	0
114. Hexaclorociclopentadieno	0	0
115. n-nitrosodifenilamina	0	0
116. 4 bromofenilfenil eter	0	0
117. bis (2 etilhexil)ftalato	0	0
118. Di-n-octilftalato+110	0	0
119. Dimetilftalato+101	0.0017	0.0002



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

120. Dietilftalato	0	0
121. Di-n-butilftalato+94	0	0.0342
122. Acenaftileno	0.0111	0.133
123. Acenafteno	0	0.007
124. Butilbencilftalato	0	0.0168
125. N-nitrosodimetilamina	0	0
126. N-nitrosodi-n-propilamina+93	0	0
127. bis (2-cloroisopropil) eter+84	0.073	0.098
128. Fenol	0	0.0085
129. 2 nitrofenol	0	0.049
130. 4 nitrofenol	0.014	2.006
131. 2,4 dinitrofenol	0	0
132. 2,6 dinitro-o-cresol	0.130	0.144
133. Pentaclorofenol	1.655	0.869
134. p-cloro-m-cresol	0.005	0.096
135. 2 clorofenol	0	0.132
136. 2,4 diclorofenol	0.024	0.183
137. 2,4,6 triclorofenol	0	0.038
138. 2,4 dimetilfenol	0	0.039
139. Endosulfan (a y b)	0	0
140. BHC (a,b,g,d)	0.004	0.0025
141. Aldrin	0	0.002
142. Dieldrin	0	0
143. 4,4' DDE	0	0
144. 4,4' DDD	0	0
145. 4,4' DDT	0	0
146. Hentacloro	0.002	0
147. Hentacloro epoxido	0	0
148. Clordano	0	0
149. Toxafeno	0	0
150. Aroclor 1016	0	0
151. Aroclor 1221	0	0
152. Aroclor 1232	0	0
153. Aroclor 1242	0	0
154. Aroclor 1248	0	0

unidades: mg/l, exento si se indica otra unidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRENA	CUADRO C-VI. 1. 2.

PARAMETRO	A	B	C	D	E	F
pH (unidades)	8.0	10.4	10.4	8.2	7.5	7.7
Color (Pt-Co)	27	22	20	23	7	8
Turbiedad (UNT)	2.1	2.9	2.3	0.9	1.1	0.6
Alcalinidad total (CaCO ₃)	160	203	191	159	161	140
Alc. a la fenolftaleina	10	90	81	27	0	0
Dureza total (CaCO ₃)	153	186	168	167	137	157
Carbonatos	21	169	162	50	0	0
Bicarbonatos	171	42	58	146	161	140
Conductividad (umhos/cm)	611	569	605	633	650	625
Cloruros	48	51	53	50	66	50
Sólidos totales	490	493	474	503	512	486
Sólidos totales fijos	384	376	408	397	404	416
Sól. totales volátiles	112	106	66	106	110	70
Sól. disueltos totales	475	484	467	499	457	477
Sól. disueltos fijos	380	380	403	395	376	410
Sól. disueltos volátiles	101	104	65	105	85	67
Sól. susp. totales	6	9	7	4	4	3
Sól. susp. fijos	3	7	6	4	3	3
Sól. susp. volátiles	4	2	2	2	3	1
Sól. sedimentables (ml/l)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.n.
Nitrógeno amoniacal	3.2	4.5	2.2	2.3	2.3	0
Nitrógeno total	4.1	3.1	3.1	3.0	2.3	0
Fósforo total	4.0	0.4	0.6	0.5	0.3	0
Fosfatos totales	11.8	1.1	1.7	1.7	0.9	0
Calcio total	28	34	17	42	30	30
Magnesio total	20	19	20	20	15	20
Sodio total	75	82	78	72	77	85
Potasio total	17	16	20	17	17	17
Hierro soluble	0.070	N.D.	0.020	0.050	0.390	0.060
Manganeso soluble	0.043	N.D.	N.D.	0.070	0.050	N.D.
Plomo soluble	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio soluble	0.0100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio soluble	0.0007	N.D.	N.D.	0.0005	N.D.	N.D.
Arsénico soluble	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	N.D.	0.0006
Cromo soluble	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.06	N.D.
Hierro total	0.136	0.100	0.050	0.220	0.250	0.060



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

Manganeso total	0.040	N.D.	N.D.	0.055	0.045	N.D.
Plomo total	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Cadmio total	0.0100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mercurio total	0.0022	N.D.	N.D.	0.0007	0.0003	0.0001
Arsénico total	0.0012	0.0011	0.0011	0.0007	0.0009	0.0010
Cromo total	0.0025	N.D.	N.D.	0.0230	0.0500	N.D.
Colis fac. (NMP/100ml)	256,883	42,862	9,480	23,150	53,600	2,400
Colis tot. (NMP/100ml)	320,800	42,867	11,130	31,403	54,300	2,400
DBO5 total	6	2	2	2	3	3
DBO5 soluble	2	1	0	2	2	0
DQO total	30	20	30	23	20	5
DQO soluble	26	19	0	0	16	0
S.A.A.M.	13	0.07	0.92	0.95	0.35	0.10

 A : Influyente
 B : Tratamiento químico
 C : Desorción
 D : Filtración
 E : Carbón activado
 F : Desinfección

unidades: mg/l, excepto en donde se indique otra unidad.

miento del efluente por infiltración-percolación.

Los datos del cuadro C-VI.1.3. muestran que la calidad del efluente secundario de la planta Cerro de la Estrella no difiere en mucho de la calidad del efluente secundario usado para la recarga en la planta de Flushing Meadows. Su calidad es comparable a la del efluente primario que se usa con éxito en el mismo sitio para ensayos de laboratorio de recarga. Por consiguiente y sin lugar a dudas, también podrá lograrse la recarga con dicho efluente.

El efluente terciario usado para la recarga en Tel Aviv es de mejor calidad en lo que concierne a componentes tales como nutrientes, boro, contaminantes microbiológicos que son eliminados mediante el tratamiento de cal a alta concentración.

VI.2. Características físico-químicas-biológicas del agua subterránea.

El sitio seleccionado para efectuar la recarga se localiza al norte del sistema de pozos de Santa Catarina. Este sistema comprende unos 12 pozos de producción, pero solamente cuatro de ellos se encuentran a una distancia de menos de 2.5 kilómetros del campo de recarga proyectado.

Los otros pozos se encuentran a mayor distancia y no se prevé que en el futuro la calidad del agua bombeada de los mismos se verá afectada por el afluente recargado.

Los pozos más cercanos al sitio propuesto para la recarga son los pozos Santa Catarina 3, 4, 5, 6 (SC-3, SC-4, SC-5, SC-6) con una profundidad que oscila entre los 50 y 140 metros.

Estos pozos fueron perforados entre los años 1962 y 1964 y



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J.A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VI.1.1.

PARAMETRO	A	B	C	D
1. Total sólidos disueltos	0	1075	550-1220	709
2. Total sólidos suspendidos	80	10-70	16-23	64
3. pH (unidades)	0	8	8.9-9.8	7.42
4. DQO total	0	30-60	65	160
5. DBO5 total	0	10-20	7.3-13.6	62
6. Carbono orgánico total	75	10-30	16-18	0
7. Nitrogeno total	0	27.4	7-12	34
8. Nitrogeno amoniacal	28	20.7	6-11	17
9. Nitrogeno orgánico	0	3.7	6-11	0
10. Nitratos	0.1	3.0	0.06-0.33	4.3
11. Nitritos	0	0.1	0.02-0.6	0
12. Fósforo	7.2	7-15	0.5-0.8	7.6
13. Boro	0	0.5-0.6	0.3	1.8
14. Plomo (ug/l)	0	0	38	17
15. Cadmio (ug/l)	0	0	4	3.5
16. Mercurio (ug/l)	0	0	0.6	34
17. Total bacterias (NMP/100ml)	0	1811×10^3	$3.8-4.7 \times 10^5$	0
18. Col. fecales (NMP/100ml)	8×10^6	244075	65	19200
19. Enterovirus (PPU/l)	0	2118	0-1	0

A : Efluente primario Flushing, Meadows (laboratorio).
B : Efluente secundario Flushing, Meadows (campo).
C : Efluente terciario Tel-Aviv.
D : Efluente secundario Cerro de la Estrella.
unidades : mg/l, excepto en donde se indiquen otras unidades.
ug : microgramos.
NMP : número más probable.

desde el inicio de su operación la calidad del agua bombeada -- fue baja, por lo que debe someterse a un proceso de tratamiento para mejorar su calidad y adecuarla al uso doméstico.

En el cuadro C-VI.2.1. se presenta un análisis parcial del agua bombeada de 8 pozos del sistema, en donde puede apreciarse que, en varios casos, la calidad del agua es deficiente y no se ajusta a las normas locales que se aplican al agua potable.

Los pozos Santa Catarina 4, 5, 6 (SC-4, SC-5, SC-6) han sido seleccionados para la toma de muestras de agua del acuífero regional, con el objeto de obtener información general con respecto a la calidad del agua.

Existe información básica acerca de la calidad del agua de dichos pozos, del año 1963; posteriormente se efectuaron análisis en 1979 y en 1980.

En septiembre de 1981 se practicó un nuevo análisis, el cual se muestra en el cuadro C-VI.2.2. donde se presentan algunos resultados sobresalientes de los análisis del agua del pozo Santa Catarina 5, que es el más próximo al sitio propuesto de los campos de infiltración o recarga.

La calidad del agua de los pozos Santa Catarina 4 y 6 es similar a la del pozo 5, con diferencias no significativas.

De los datos obtenidos, se puede decir que el agua del pozo Santa Catarina 5 se caracteriza por presentar concentraciones mayores que las permisibles de sustancias orgánicas, incluyendo compuestos nitrogenados y también de sales minerales que confieren al agua una dureza elevada y una alta conductividad eléctrica, así como por la presencia de ácido sulfhídrico.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VI. 2. 1.

PARAMETRO	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
pH (unidades)	7.9	7.95	8.20	7.89	7.83	7.70	7.75	7.76
Conductividad (umhos/cm)	3233	2966	2100	1200	2060	887	2333	6.0
Turbidez (UNT)	22	13	73	0.55	1.53	0.55	2.6	2.83
Color (Pt-Co)	200	175	0	5.0	20	20	40	35
Dureza total (CaCO ₃)	400	453	366	333	410	258	312	400
Dureza calcio (CaCO ₃)	192	202	203	143	161	86	181	173
Dureza magnesio (CaCO ₃)	242	252	163	190	248	173	430	226
Alcalinidad total (CaCO ₃)	1591	1410	1250	521	1086	475	1008	950
Manganeso	0	0	0.09	0.085	0.41	0.23	0.30	0.12
Hierro	0.01	0.41	0.58	0.03	0.15	0.18	0.73	0.08
Cloruros	420	263	213	107	270	139	86	215
Fluoruros	0.89	0.80	0.58	0.72	0.61	0.10	0.56	0.42
Nitrógeno amoniacal	0.77	0.58	1.26	0.12	0.57	1.03	1.65	1.10
Nitratos	0.98	0.67	0.53	1.86	0.65	0.67	0.54	0.69
Sulfatos	0	11.5	52	140	140	65	140	105
Acidos sulfhídrico	5.8	3.7	5	0.1	1.0	0.36	0.33	2.0
DQO	40.3	39.2	44.2	0	26.8	26.8	322	362
Col. totales (NMP/100ml)	120	14	0	0	102	0	2	0
Sodio	746	560	565	208	525	204	339	408
Potasio	112	45	85	31	81	30	61	61

 unidades: mg/l, excento si se indica otra unidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J.A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VI. 2.2.

PARAMETRO	NORMA	1979	1980	1981
Sólidos totales	500-1000	1018	N. D.	3378
Color (Pt-Co)	20	40	N. D.	8.5
Turbidez (UNT)		N. D.	73	N. D.
pH (unidad)	7-8	8.1	8.2	8.0
Conductividad (umhos/cm)		1900	2100	2590
Alcalinidad total	400	978	1250	1360
DQO total	3.0	N. D.	44.2	72
Nitrógeno total		N. D.	N. D.	14.8
Nitrógeno amoniacal	0.5	5.68	1.23	8.78
Dureza total (CaCO ₃)	300	N. D.	366	33425
Fe + Mn total	0.30	0.02	0.67	1.67
Sulfuros		N. D.	N. D.	12.0
Acido sulfhidrico		N. D.	5.0	N. D.
Cloruros		N. D.	213	185
Col. totales (col/100ml)	20	0	0	10
Col. fecales (col/100ml)		0	N. D.	6

unidades: mg/l, excepto si se indica otra unidad				
N. D. No Detectado				
col colonias				

Asimismo se aprecia un empeoramiento gradual de la calidad a través de los años.

El cuadro C-VI.2.3. muestra un análisis detallado de la calidad del agua de la zona de Santa Catarina, dicho análisis se realizó en 1986.

VI.3. Evaluación preliminar del acuífero recargado.

Debido a la topografía del área y al buzamiento que presentan las canas del suelo se prevé que el agua recargada tomará al principio una dirección vertical, y posteriormente dirigirá su flujo hacia el sur, hasta llegar al acuífero contenido en los basaltos. No obstante, después de dichos derrames, será difícil determinar el comportamiento del flujo, ya que sólo se cuenta con perforaciones poco profundas que no han atravesado totalmente las vulcanitas de la sierra de Santa Catarina.

Para tener una noción de la estratigrafía, en la figura F-VI.3.1. se muestra un perfil geológico entre las sierras de Santa Catarina y de Chichinautzin, el cual muestra a través de los pozos existentes, que a gran profundidad los derrames de ambas sierras se presentan interdigitadas con el relleno lacustre-aluvial del valle Xochimilco-Tlahuac, y que al irse azolvando el suelo, también se acumularon pequeñas cantidades de materia orgánica.

Cuando se perforó el pozo Tlahuac, con una profundidad total de 1200 metros, hubo un brote de gas metano, de posible origen biogénico. Esto hace pensar que el acuífero contenido en los sedimentos lacustres aluviales profundos está contaminado por materia orgánica, y que los pozos de Santa Catarina y los



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VI.2.3.

PARAMETRO

1. pH (unidades)	8.04
2. Color (Pt-Co)	42
3. Turbiedad (UNT)	5
4. Temperatura (°C)	22.5
5. Alcalinidad total	714
6. Alcalinidad a la fenoftaleina	22
7. Carbonatos	65
8. Bicarbonatos	742
9. Hidroxidos	0
10. Conductividad (umhos/cm)	1683
11. Cloruros	155
12. Cloro libre	2.00
13. Cloro total	0.09
14. Dureza total	262
15. Dureza de calcio	98
16. Dureza de magnesio	177
17. Fluoruros	0.87
18. Nitritos	0.43
19. Sulfitos	1.45
20. Sulfatos	44
21. Sulfuros	1.84
22. Bromuros	0.05
23. Ioduros	0.061
24. Cianuros	0.014
25. Cloraminas	1.18
26. Oxígeno disuelto	2.2
27. Sólidos totales	1339
28. Sólidos totales fijos	1090
29. Sólidos totales volátiles	249
30. Sólidos disueltos totales	1299
31. Sólidos disueltos fijos	1072
32. Sólidos disueltos volátiles	221
33. Sólidos suspendidos totales	44
34. Sólidos suspendidos fijos	20
35. Sólidos suspendidos volátiles	23
36. Nitrógeno amoniacal	6.6
37. Nitrógeno total	8.6
38. Nitratos	3.9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J.A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	

39. Nitrógeno orgánico	2.2
40. Calcio soluble	12
41. Magnesio soluble	23
42. Sodio soluble	147
43. Potasio soluble	21
44. Calcio total	20
45. Magnesio total	41
46. Sodio total	234
47. Potasio total	42
48. Hierro soluble	0.96
49. Manganeso soluble	0.11
50. Plomo soluble	9.79'
51. Cadmio soluble	2.14'
52. Mercurio soluble	1.56'
53. Arsenico soluble	2.69'
54. Hierro total	0.205
55. Manganeso total	0.165
56. Plomo total	0.024
57. Cadmio total	6.33'
58. Mercurio total	3.20'
59. Arsenico total	4.10'
60. Coliformes fecales (NMP/100ml)	8
61. Coliformes totales (NMP/100ml)	886
62. Cuenta standar (col/ml)	902
63. DBO5 soluble	10
64. DQO soluble	52
65. Carbono orgánico total fijo	3
66. S.A.A.M.	0.02
67. 1,1 dicloroetano	0
68. 1,1 dicloroetileno	0
69. 1,1,2 tricloroetano	0
70. Cloroetano	0
71. Cloroformo	0.019
72. 1,2 diclorocoproano	0
73. 1,3 dicloropropano	0
74. Cloruro de metilio	0
75. Bromuro de metilio	0
76. Bromoformo	0.016
77. Diclorobromometano	0.023
78. Triclorofluorometano	0



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	

79. Diclorodifluorometano	0
80. Clorodibromometano	0.010
81. Tetracloroetileno	0
82. Tricloroetileno	0
83. Cloruro de vinilo	0
84. 1,2 transdicloroetileno	0
85. Tetracloruro de carbono	0
86. 1,2 dicloroetano	0
87. 1,1,1 tricloroetano	0
88. Hexacloroetano	4.25'
89. Hexaclorobutadieno	1.93'
90. Hexaclorociclopentadieno	3.61'
91. Clorobenceno	0.019
92. 1,2 diclorobenceno	0
93. 1,3 diclorobenceno	0.247
94. 1,4 diclorobenceno	2.42'
95. 1,2,4 triclorobenceno	6.08'
96. Hexaclorobenceno	2.20'
97. Benceno	4.75'
98. Tolueno	0
99. Etilbenceno	0.023
100. Naftaleno	0.013
101. Isoforona	1.70'
102. Fluoreno	0.044
103. Fluoranteno	2.40'
104. Criseno	0.319
105. Pireno	1.09'
106. Fenantreno	0.026
107. Antraceno	0.021
108. Benzo(a)antraceno	0.055
109. Benzo(k) fluoranteno	6.82'
110. Benzo(b) fluoranteno	0
111. Benzo(a) pireno	0
112. Benzo(g,h,l) perileno	0
113. Indeno(1,2,3,c,d) pireno	0
114. Dibenzo(a,h) antraceno	0
115. Acenaftileno	2.16'
116. Acenafteno	7.01'
117. 2,cloronaftaleno	4.91'
118. 2,cloroetilvinileter	0



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

119. bis 2 (clorometil)eter	0
120. bis 2 cloroetoxietano	0
121. 4 clorofenilfenileter	2.64'
122. bis 2 (cloroetil)eter	2.64'
123. 4 bromofenilfenil eter	1.55'
124. bis 2(cloroisopropil) eter	1.21'
125. N-nitrosodimetilamina	0.018
126. N-nitrosodi-n-propilamina	0
127. Nitrobenzeno	0.018
128. 2,4 dinitrotolueno	0.010
129. 2,6 dinitrotolueno	0.155
130. Bencidina	0.059
131. 1,2 difenilhidrazina	2.03'
132. n-nitrosodifenilamina	5.96'
133. 2 nitrofenol	0.019
134. 4 nitrofenol	1.069
135. 2,4 dinitrofenol	0.748
136. 2,6 dinitro-O-cresol	0.156
137. 3,3 diclorobencidina	7.67'
138. Fenol	2.30'
139. 2,4 dimetilfenol	1.59'
140. Pentaclorofenol	0.011
141. n-cloro-m-cresol	4.29'
142. 2 clorofenol	3.56'
143. 2,4 diclorofenol	0.047
144. 2,4,6 triclorofenol	0.013
145. Arocloros	0
146. Endosulfan (a y b)	0
147. BCH (a, b, g, d)	0
148. Aldrin	0
149. Dieldrin	0
150. 4,4' DDE	0
151. 4,4' DDD	0
152. 4,4' DDT	0
153. Hentacloro	0
154. Hentacloroenóxido	0
155. Clordano	0
156. Toxafeno	0
157. bis (2 etilhexilftalato)	1.22'
158. Di-n-octilftalato	1.02'



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	

159. Dimetilftalato	0
160. Dietilftalato	0
161. Di-n-butilftalato	0
162. Butilbencilftalato	1.44'
163. Trihnlometanos totales	0.073

unidades: mg/l, exento si se indica otra unidad

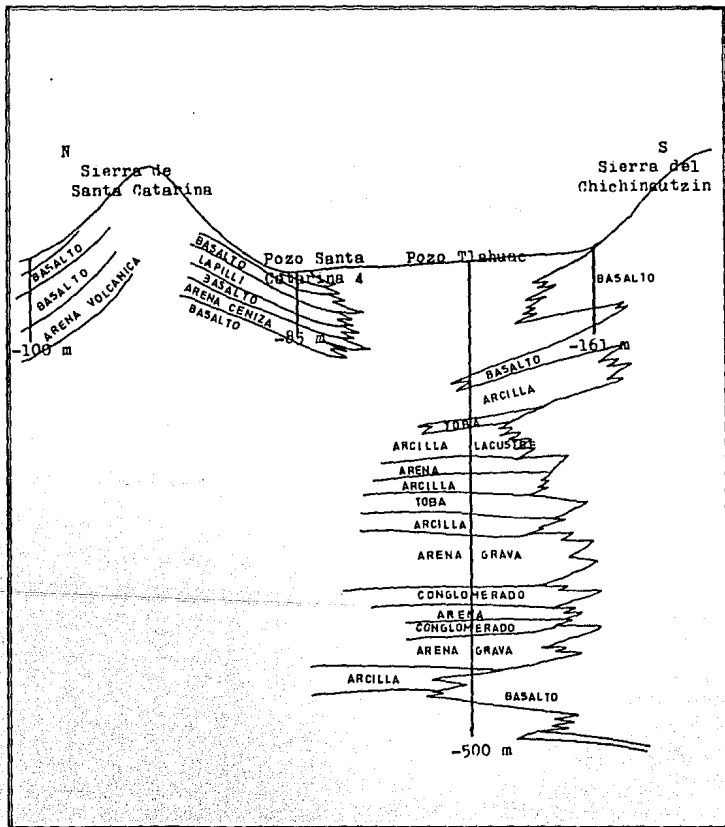
° : x 10⁻²
' : x 10⁻³



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA. MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-VI.3.1.



del ramal Tlahuac-Netzahualcoyotl, a pesar de su ubicación en los derrames basálticos y en el aluvión, están captando aguas del paquete lacustre, originando así la degradación de la calidad del agua.

Una evaluación para determinar el comportamiento del acuífero recargado estará sujeta a un programa de monitoreo, el cual incluirá las mediciones y análisis siguientes:

- Volumen del efluente recargado.
- Tasa de infiltración.
- Nivel del agua subterránea.
- Calidad del efluente recargado.
- Cambios en la calidad del efluente infiltrado a través de la parte superior de la zona no saturada del suelo.
- Cambios en la calidad del agua subterránea en las zonas aledañas al área de recarga.
- Cambios de la composición química del suelo por debajo de la zona de infiltración.

En virtud de que la recarga del acuífero, se realizará por etapas, una de las primeras a efectuar es la correspondiente a la medición de la tasa de infiltración, que se realizará con agua limpia antes de la recarga, con el objeto de obtener los valores reales de la capacidad de infiltración del suelo en el sitio de la recarga.

Una vez que se obtenga la tasa de infiltración con agua limpia y se empiece a realizar la recarga, será necesario obtener una nueva tasa de infiltración. Esta tasa promedio de infiltración será calculada diariamente, mediante el empleo de la siguiente fórmula de balance hídrico.

$$IR = \frac{V + (H \times A) - V_{\text{neto}}}{A \times t} \quad \text{ec. VI.3.1.}$$

donde:

IR: tasa de infiltración

V: volumen del efluente aplicado durante el tiempo "t" menos el volumen desbordado en el mismo tiempo "t"

H: cambio del nivel del agua durante el tiempo "t"

A: área del campo de infiltración

V_{neto}: volumen neto de precipitación-evaporación durante el tiempo "t"

Por otra parte la medición de la fluctuación del nivel del agua subterránea será realizada mediante el uso de las dos categorías de pozos de observación: profundos y someros.

Las mediciones del nivel de los pozos someros mostrarán si la recarga puede causar el almacenamiento de agua en la capa de arena y grava que cubre la roca basáltica meteorizada que comprende el acuífero.

Las mediciones del nivel de los pozos profundos permitirán medir el nivel del agua y el muestreo de agua del acuífero en la zona adyacente a los campos de infiltración.

El monitoreo de la calidad del efluente antes y después de la recarga cubrirá los aspectos siguientes:

- Calidad del efluente en la planta Cerro de la Estrella.
- Calidad del efluente que percola a 3 metros de profundidad.
- Calidad del agua que da lugar a un nuevo acuífero en la capa arenosa, por encima de la roca basáltica meteorizada que comprende el acuífero principal de la zona.

- Calidad del agua en el acuífero principal tomada como muestra del pozo profundo de observación-exploración y de los pozos Santa Catarina 4, 5, y 6.

Las características de la calidad del efluente procedente de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella y la frecuencia de muestreo se presentan en el cuadro C-VI.3.1.

La calidad del agua subterránea estará sujeta al análisis de calidad para tres clases de agua:

- Efluente que percola por debajo del fondo de la zona de recarga.
- Agua subterránea de los pozos de observación.
- Agua subterránea del acuífero principal en los pozos de observación profundos.

Las características de la calidad del agua a ser determinadas se dividirán en tres categorías de análisis: indicativos, básicos, integrales. Dichas categorías de análisis tienen una función similar a la que cumplen en el programa de monitoreo en la planta de tratamiento de la región de Dan, en Israel.

- **Indicativos:** permitirán determinar si el efluente de recarga ha llegado al pozo de muestreo.
- **Básicos:** permitirán examinar la calidad del agua a fin de determinar la capacidad de purificación del sistema de tratamiento del efluente por infiltración-percolación.
- **Integrales:** permitirán la comparación de la calidad del agua subterránea con los criterios o requerimientos de calidad para los diversos usos del agua.

En el cuadro C-VI.3.2. se muestran los análisis que están incluidos en el marco de cada una de las categorías mencionadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VI.3.1.

CARACTERISTICAS DE CAJIDAD.	PRECUENCIA POR MKS.
pH	30
Alcalinidad	30
Turbiedad	30
Color	30
Oxígeno disuelto	30
Temperatura	30
Cloro libre	30
Conductividad eléctrica	30
Total sólidos disueltos 105 °C	12
Total sólidos disueltos 505 °C	12
Sólidos suspendidos 105 °C	12
Sólidos suspendidos 505 °C	12
Calcio	12
Magnesio	12
Cloruros	12
Amoníaco soluble	12
Nitrógeno total	12
Nitrógeno soluble	12
Nitratos	12
Nitritos	12
DBO total	12
DBO soluble	12
DQO total	12
DQO soluble	12
Permanganato total	12
Permanganato soluble	12
Carbón orgánico total	8
Carbón orgánico disuelto	8
Fósforo total	4
Fósforo soluble	4
Boro	4
Fluoruros	4
Detergentes	4
Fenoles	4
Potasio	4
Sodio	4



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	

Aceites minerales	4
Grasas	4
Sulfatos	4
Sulfuros	4
Bacterias total	4
Coliformes total	4
Escheri coli	4
Strentococus faecalis	4
Enterovirus	4
Algas	4
Cloruro orgánico total	2
Cloroformo	2
Diclorobromometano	2
Bromoformo	2
Clorodibrometano	2
Pesticidas y nolidorobifenilos	1
Hierro	1
Manganeso	1
Silicon	1
Cromio	1
Cadmio	1
Mercurio	1
Arsénico	1
Bario	1
Selenio	1
Ciamuro	1
Plomo	1
Cobre	1
Zinc	1
Cobalto	1
Niquel	1
Estroncio	1
Molibdeno	1
Plata	1
Itio	1
Aluminio	1
Hidrocarbones noliromaticos	1/6



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1980.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VI. 1, 2.

CARACTERISTICAS	INDICATIVOS	BASICOS	INTEGRALES
Cloruros	x	x	x
Sólidos disueltos	x	x	x
Conductividad eléctrica	x	x	x
Detergentes	x	x	x
Permanganato	x	x	x
DCO	x	x	x
Carbón Orgánico Total	x	x	x
Color	x	x	x
Cloro Orgánico Total	x	x	x
Trihalometano		x	x
Alcalinidad		x	x
nH		x	x
Turbidez		x	x
Fósforo		x	x
Nitrógeno		x	x
Amoníaco		x	x
Nitratos		x	x
Nitritos		x	x
Sulfato		x	x
Sulfuro		x	x
Calcio		x	x
Magnesio		x	x
Sodio		x	x
Boro		x	x
Coliformes		x	x
Escheri coli		x	x
Streptococcus faecalis		x	x
Enterovirus		x	x
Otros metales, incluyendo metales pesados			x

La evaluación de la dispersión del efluente recargado en el acuífero, se tendrá que basar en su mayor parte en corridas de computadora a través de un modelo matemático, que simule la dispersión de contaminantes específicos durante su traslación hacia los pozos, aguas abajo del flujo.

La simulación de la dispersión del efluente mediante el uso de un modelo, requiere la realización de una estimación pre via de varios parámetros hidrológicos, entre los cuales los principales son:

- Distribución de la recarga y el bombeo.
- Espesor efectivo "bn".
- Velocidad y dirección del flujo natural.

Distribución de la recarga y el bombeo.- El gasto de la recarga ha sido proyectado para un promedio de 10,000 metros cú bicos por día, o unos 36 millones de metros cúbicos por año.

El bombeo de cada uno de los pozos Santa Catarina 3, 4, 5, y 6 fue calculado en unos 6000 metros cúbicos por día. La producción total de los pozos Santa Catarina ha sido evaluada en unos 7.3 millones de metros cúbicos por año.

Asimismo, se ha supuesto que en el futuro se establecerán dos pozos adicionales de bombeo con un rendimiento individual de unos 5000 metros cúbicos por día, para aprovechar el volumen recargado.

Espesor efectivo.- El espesor efectivo resulta de la multiplicación del espesor promedio del flujo "b" por la porosidad "n" de la formación acuífera. El hecho de tratarse de la recarga mediante campos de recarga a un acuífero relativamente profundo dificulta la estimación del espesor promedio. De estudios

y las experiencias acumuladas a través de trabajos realizados en Israel, puede ser evaluado el valor "b" en el rango de una o dos profundidades de penetración de pozos de bombeo, dentro del acuífero.

Se estima la profundidad de penetración de los pozos de -- unos 75 metros y el espesor promedio del flujo "b" ha sido estimado entre 75 metros y 150 metros.

Cabe señalar que, aparentemente, el espesor del flujo será menor que el espesor promedio en las cercanías de los campos de recarga y será mayor del promedio en las inmediaciones de los -- pozos de producción, aguas abajo del flujo.

La porosidad "n" es estimada entre los límites del 5 % al 10 %. El espesor efectivo "bn" fluctuará, por consiguiente en un margen amplio de 3.75 metros a 15 metros, pero se ha optado como base un margen más estrecho de 5 metros a 10 metros.

Velocidad y dirección del flujo natural.-- La velocidad -- del flujo natural "v" es evaluada generalmente según el gradiente hidráulico "i", la transmisividad "T" del acuífero y el espesor del acuífero "bn" según:

$$v = \frac{T i}{bn} \quad \text{ec. VI.3.2.}$$

Pero como no se dispone de un manómetro de niveles, a los efectos de la determinación del valor "i" no fue posible usar la -- fórmula anterior y la velocidad del flujo natural fue estimada en base al flujo de agua por unidad de suelo "q", desde el sitio de la recarga a los pozos de bombeo, en la forma siguiente:

$$v = \frac{q}{bn} \quad \text{ec. VI.3.3.}$$

donde "q" está dada por:

$$q = \alpha pl$$

y donde:

- α : la parte relativa del espesor de la precipitación "p" - que penetra al acuífero.
- l: distancia entre el medio de la línea que conecta el sitio de la recarga con el pozo Santa Catarina 4 y la línea cumbre de los volcanes en el norte. Se supone que esta línea constituye un límite hidrológico.

Segun los datos disponibles, el espesor de la precipitación promedio anual "p" es de 650 milímetros por año, el coeficiente de recarga " α " varía entre 0.4-0.5, la distancia "l" es equivalente a unos 1500 metros, y el espesor efectivo varía de acuerdo a la estimación expuesta dentro del rango de 5 a 10 metros.

Con esto se puede obtener una estimación de una velocidad mínima (v_{\min}) y una velocidad máxima (v_{\max}) del modo siguiente:

$$v_{\min} = 0.4 \times 0.65 \times \frac{1500}{10} = 39 \text{ m/año}$$

$$v_{\max} = 0.5 \times 0.65 \times \frac{1500}{5} = 97.5 \text{ m/año}$$

Debido a la falta de datos se ha supuesto un rango aún más amplio de 25 a 125 metros por año, o 75 metros por año, como promedio y que la dirección del flujo natural es de un azimut - de $180^\circ \pm 30^\circ$.

Evaluación preliminar de la dispersión del efluente.

Estas evaluaciones fueron realizadas para valores medios - de los parámetros hidrológicos más importantes: velocidad y dirección del flujo natural y espesor efectivo del acuífero.

Dichas evaluaciones se realizaron inicialmente para la suposición de una condición extrema de componentes inertes, desde el punto de vista químico. De hecho, esta suposición sólo es válida para el caso de iones de cloruro. Otros solutos, especialmente de cationes, están sometidos a procesos de adsorción e intercambio de cationes, o procesos de precipitación y disolución, que modifican considerablemente la composición química del agua recargada y la velocidad de su dispersión en el acuífero.

Esto se justifica, hasta cierto punto, basarse en esta suposición al tratarse de efluentes que contienen solutos de compuestos orgánicos. En condiciones determinadas se crean complejos de varios cationes con compuestos orgánicos. Parte de estos complejos son negativos o neutros desde el punto de vista de la electricidad. Ello permite a dichos complejos desplazarse en el acuífero a una velocidad similar a la de los iones de cloruros.

En vista de la falta de información sobre el comportamiento de tales contaminantes en los acuíferos basálticos y especialmente en el acuífero de Santa Catarina, no se presentan evaluaciones cuantitativas con respecto a iones específicos.

Comportamiento previsto de solutos inertes.

En la figura F-VI.3.2. se muestra la dispersión calculada de los efluentes, suponiendo que es posible considerar los contaminantes de los efluentes como solutos inertes desde el punto de vista químico.

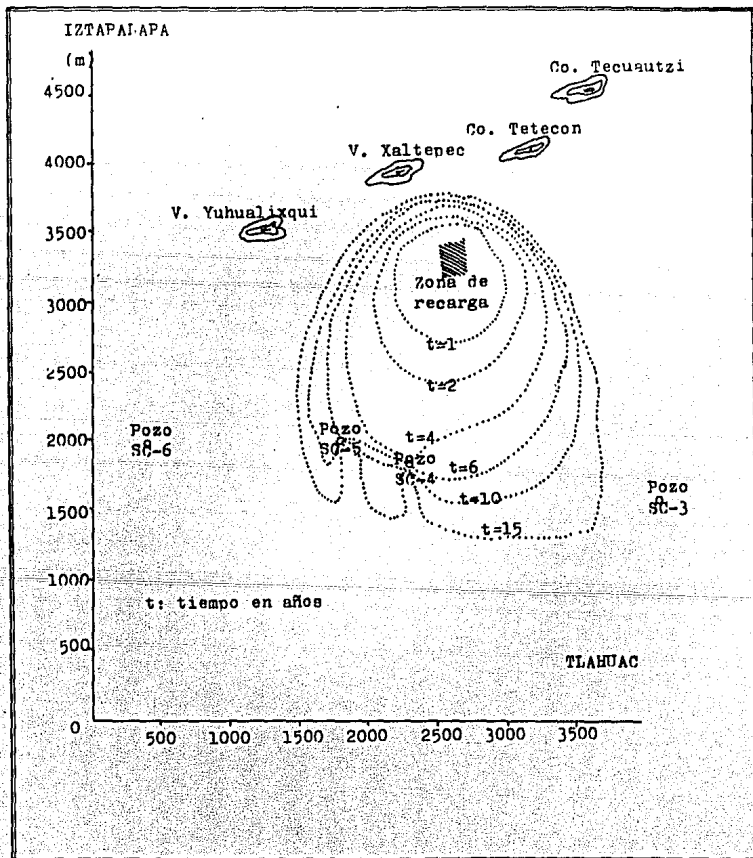
Los resultados presentados, son originados de la aplicación de un modelo matemático, en el cual se considerarán los siguientes valores promedios:



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-VI.3.2.



- Espesor efectivo del acuífero $b_n = 7.5$ metros
- Velocidad del flujo natural $v = 75$ m/año
- Dirección del flujo natural AZGRAD = 150°, 180°, 210°
- Radio equivalente de los campos de recarga EQRAD = 125 m.

Así pues, la dispersión es radial al comienzo, tal como resultado de la proximidad del frente a los campos de recarga. Esta forma se altera después según las fuerzas de atracción de los pozos de Santa Catarina y la dirección del flujo natural.

El frente del efluente recargado llegará a los pozos de Santa Catarina 3 y 4 después de un lapso de unos 3.5 años y de hecho allí se detendrá. Siendo la dispersión del efluente recargado más tarde relativamente más reducido.

La estimación de 3.5 años como período de transición o paso, se basa en los valores medios de los parámetros hidráulicos. Si se toma en cuenta la totalidad de los valores que se disponen, el margen previsto para dicho parámetro resulta de 2 a 8 años.

La influencia de los cambios en la dirección del flujo natural es relativamente menor, por lo menos al plazo previsto de hasta 15 años desde el inicio de la recarga.

De la figura P-VI.3.2. se desprende que la preferencia del flujo en dirección sur-suroeste, frente al flujo en dirección sur, podría desviar la dispersión del efluente recargado a los pozos Santa Catarina 6, aunque en una época posterior existe una posibilidad similar también con respecto al pozo Santa Catarina 3, si la dirección dominante del flujo fuera de sur a sureste.

Por su parte, en la recuperación del efluente por bombeo

de los pozos, después de transcurrido cierto tiempo, no señala necesariamente el empeoramiento de la calidad del agua del acuífero.

La figura 2-1.3.3. muestra esta posibilidad con respecto a la concentración de cloruros. La concentración de cloruros - en el pozo 5 es de unos 180 miligramos por litro, en comparación con 65 miligramos por litro en el agua recargada.

Una vez que el frente del efluente llegue a los pozos se prevé una disminución de las concentraciones de cloruros de 180 miligramos por litro a unos 100 miligramos por litro, después de 15 años.

Los cloruros no son el único soluto cuya concentración en el efluente cargado es más bajo que la del acuífero, a pesar -- del resultado obtenido de la relación entre el total de sólidos disueltos en el agua del acuífero y el total en los efluentes.

Dispersión de metales pesados y disoluciones orgánicas.

En contraposición a los iones principales, cuya concentración en muchos casos es más elevada en el acuífero que en el -- efluente, existe un gran número de elementos menores, y especialmente metales pesados y compuestos orgánicos que se encuentran a mayor concentración en el agua servida tratada que en el acuífero.

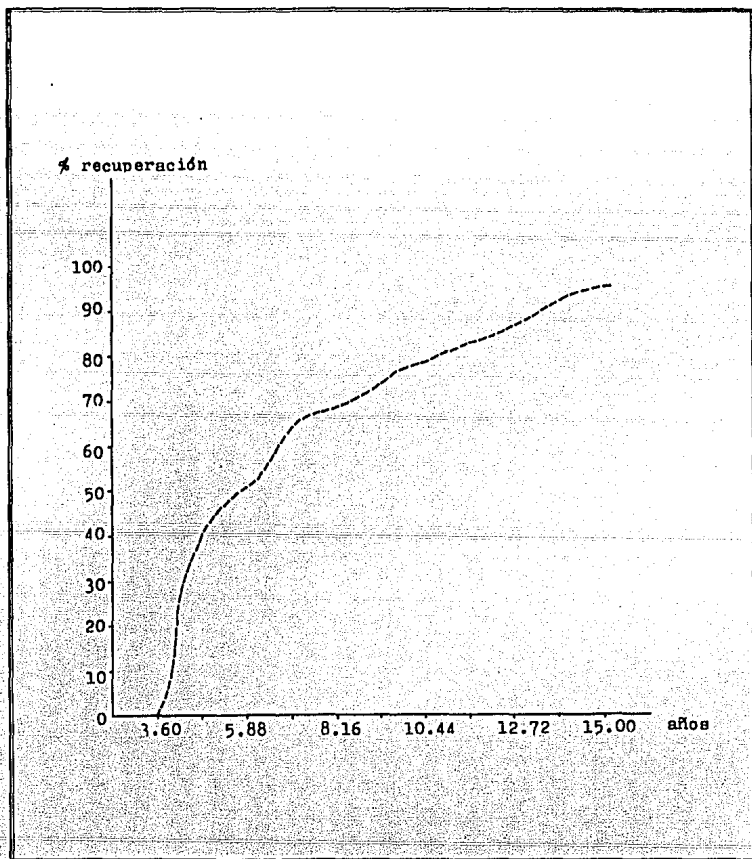
La carencia de información suficiente con respecto al comportamiento de los contaminantes mencionados en los acuíferos - basálticos en general, y especialmente, en el acuífero investigado en el área de Santa Catarina, no permite elaborar pronósticos detallados de tales contaminantes. Por tal motivo se opto



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA. MARZO 1969.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F FLORES HERRERA	FIGURA F-VI.3.1.



por trabajar con datos hipotéticos, tales como: factores de retardación y de descomposición.

Efecto de adsorción.- Se selecciono un contaminante hipotético del tipo de metal pesado con concentración equivalente a 50 ppam (partes por mil millones) comparada con una concentración de 1 ppam en el agua subterránea y una concentración permisible máxima de 10 ppam en el agua potable.

Se supone que el coeficiente de retención (RF) es equivalente a 3. Los coeficientes de retención de la mayor parte de los metales pesados es superior a 3. Este coeficiente seleccionado considera la posibilidad de una eventual complejidad parcial de los metales por los compuestos orgánicos.

La forma del frente del efluente será prácticamente similar a la de los contaminantes inertes, con excepción de la escala de tiempo, que debe ser multiplicada por el coeficiente de retención.

Así, el tiempo de traslación de dicho contaminante hasta los pozos se estima en unos 10.5 a 12 años, o sea:

$$\begin{array}{l} 3.5 \text{ años} \times 3 = 10.5 \text{ años} \\ \text{o} \quad 4.0 \text{ años} \times 3 = 12.0 \text{ años} \end{array}$$

Cabe suponer que el comportamiento de los contaminantes será similar a la del ejemplo y que su concentración resultará superior al límite permisible para el de agua potable, después de transcurrido un período determinado. No obstante, de que dichos pozos no están destinados a la producción de agua potable debido a la calidad del agua subterránea, no se considera que ésto represente un riesgo considerable.

La figura P-VI.3.4 muestra la variación de la concentración de contaminantes en función del tiempo, según la figura, el contaminante comienza a introducirse en el pozo después de 10.8 años y su concentración será superior a la permisible para el agua potable después de 13 años.

Efecto combinado de adsorción y descomposición.- Con el objeto de demostrar el efecto combinado de la adsorción y la descomposición se han empleado los parámetros del ejemplo anterior, suponiendo además que el contaminante se descompone y que la vida media equivalente del proceso de descomposición es de 5 años. El significado de este parámetro radica en el hecho de que la concentración del contaminante se reducirá a casi la mitad después del período de 5 años en el acuífero, a un cuarto después de un período de 10 años, y así sucesivamente.

En esta categoría de contaminantes orgánicos se pueden incluir una vasta gama de pesticidas, fenoles y otros elementos que puedan encontrarse en el efluente del Cerro de la Estrella; asimismo, se puede incluir la mayoría de los microorganismos.

Cabe señalar que el valor de la vida media, en un intervalo de 5 años, es un valor bastante conservador y los valores reales generalmente cubren un cierto número de meses.

Finalmente y de una manera muy somera, se puede describir los cambios que tendrá el agua una vez recargado el acuífero en las tres etapas siguientes:

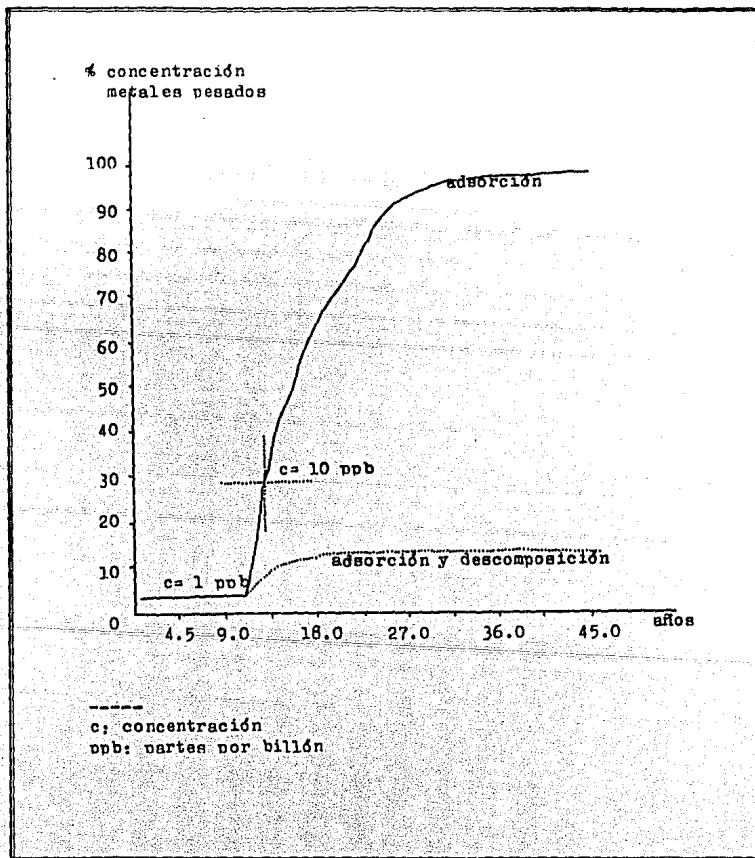
Etapas inicial.- Desde la recarga hasta la aparición en el acuífero de los primeros elementos, se prevé que durante este período la calidad del agua recuperable o bombeada será similar a la que presentan actualmente los pozos



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON	FECHA: MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	FIGURA F-VI.3.4.



Santa Catarina 4 y 5, guardando el rango de variación de las concentraciones originales.

Etapa segunda.- Comienzan a aparecer los iones principales del efluente, cuyo coeficiente de retención es mínimo. En esta categoría se pueden incluir el ion de cloruro y - quizás también sodio, sulfato y bicarbonato. Como la concentración de estos elementos en el efluente es más bajo que en el acuífero, esta etapa estará caracterizada por - el mejoramiento de la calidad del agua.

Tercera etapa.- En esta etapa, el efluente contiene elementos que no se encuentran en el agua del acuífero, como pueden ser los metales pesados.

Se prevé que los compuestos orgánicos se presentarán en - concentraciones insignificantes.

CAPITULO VII

VII. COSTO-EFECTIVIDAD.

VII.1. Definición del objetivo.

El objetivo de este capítulo es la comparación de las diferentes alternativas para el suministro de agua potable al Distrito Federal, con la aplicación de el análisis costo-efectividad.

Las primeras aplicaciones de el análisis costo-efectividad fueron realizadas desde 1963 para evaluar operaciones aereas y militares. Una de las principales ventajas que presenta este análisis, es la que radica en el significado de la palabra "efectividad", ya que no necesariamente se requiere de una evaluación de todo factor económico, o en terminos monetarios. Así pues, la palabra efectividad aplicada en términos de agua da a entender información específica en aspectos de economía y sociales - que pueden o no pueden ser cuantificados.

Por ejemplo, reduciendolo a pérdidas humanas, puede ser -- cuantificado desde el punto de vista económico a través de una compañía aseguradora; pero desde el punto de vista social, una vida humana no puede ser cuantificada.

Aplicaciones de este análisis en el aprovechamiento de sig temas públicos y civiles se han extendido en los recientes años.

En 1970 Matry sugirió una medida general de efectos, puesto que se realizaron programas civiles en esta misma fecha De Neufville intento utilizar esta técnica en un proyecto de abastecimiento de agua para la Ciudad de Nueva York.

En 1972 Kisiel y Duckstein llegaron a una estandarización del costo-efectividad como guía para modelos hidrológicos, en el problema de diversas alternativas bajo consideraciones de modelos efectivos y modelos de costos, incluyendo costos de sobreestimación y subestimación. Al mismo tiempo Ko y Duckstein fijaron en lo sucesivo la evaluación de procedimientos para el análisis del reúso de agua servida. Finalmente Furthermore propuso guías para el uso planeado de aguas y tierra en los Estados Unidos; así como fijo para lo sucesivo el Consejo de recursos de agua, siendo la organización del análisis costo-efectividad la propuesta por Duckstein y Kisiel.

Otras aplicaciones que se han desarrollado bajo el concepto de costo-efectividad son: proyectos de disposición de agua para usos municipales (1973), desarrollo de la disminución del caudal del río Mekong (1974), optimización del caudal de la cuenca del río Central Tisza en Hungría (1976).

La flexibilidad de la metodología fue demostrada en 1975 por Pockani, quien uso el concepto de costo-efectividad, hasta llevar a cabo una exposición sobre el estudio del desarrollo del sistema de irrigación en Pakistán.

Por lo tanto, el querer realizar un análisis de costo-efectividad requiere de una organización bien definida; así como de un análisis económico real; por lo que el análisis de los problemas ambientales han sido reconocidos por el Comité de investigación de Ingeniería Sanitaria de la Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE), Case y McGauhey desde 1972.

Case en 1972 propuso que el agua potable y el agua residual fueran tratadas como un provecho único y que estén sujetos a --

una concepción socio-económica; en realidad, definio que cada problema tiene una solución única y recomendó que para la identificación de problemas cómo lo es el recurso natural del agua, donde existen múltiples soluciones, la mejor alternativa para determinar la opción más adecuada a las circunstancias es a través del empleo del método de costo-efectividad. Asimismo, propone tres pasos a seguir en la solución de problemas relacionados al agua:

- Definición de los objetivos desde el punto de vista social.
- Efectividad de las soluciones.
- Especificaciones reales del problema.

Similarmente McGauhey propuso los elementos para la organización del problema de reúso del agua de la siguiente manera:

Tecnología disponible.

Definición de los criterios de la calidad del agua.

Evaluaciones del medio ambiente correlacionados con los programas de la calidad del agua.

Definición de las metas propuestas para el reúso, desde el punto de vista social.

La experiencia de varios investigadores que han aplicado el análisis de costo-efectividad en problemas de hidrología y recursos del agua, control de salinidad, selección de modelos hidrológicos, han definido la metodología en los siguientes pasos, los cuales son guías exclusivamente y no implica que el análisis no se pueda realizar por la alteración en el orden de dichos puntos:

Entonces, generalizando la metodología esencial es la siguiente:

- Definición de los objetivos o metas que el sistema tiene que cumplir.
- Traslado de las metas u objetivos a términos de ingeniería, economía, aspectos sociales y especificaciones ambientales, los cuales pueden ser cuantitativos, cualitativos o sujetos a una concepción netamente ambiental.
- Establecer los criterios de evaluación del sistema en función de la medida de "efectividad" que se relacione con la compatibilidad de las especificaciones del sistema.
- Determinación de las alternativas que sí pueden ser definidas en términos de costo y efectividad.
- Desarrollo de las alternativas del sistema hasta alcanzar los objetivos propuestos, de acuerdo con la tecnología disponible.
- Determinación analítica de la factibilidad de las alternativas del sistema en términos de "efectividad".
- Creación de la matriz del sistema en función del criterio de efectividad.

Bajo estas circunstancias, este último capítulo tiene como finalidad darle un énfasis al problema de abastecimiento de agua al Distrito Federal, presentando algunas de las alternativas futuras para satisfacer la demanda; así como la evaluación de las mismas, incorporando la aplicación de el "costo-efectividad" en lugar de el análisis "costo-beneficio", comúnmente empleado en proyectos de ingeniería. La principal razón por la que conviene aplicar tal análisis a problemas de este tipo, es que algunas de las metas que se fijan no son cuantificables fácilmente en términos económicos, como los riesgos a la salud, acentación o rechazo del público a ciertas fuentes potenciales de abaste--

cimiento provenientes de agua renovada, la preservación del medio ambiente: desde luego, sin dejar de tener en cuenta los críterios de carácter técnico y políticos.

VII.2. Diferentes alternativas de solución.

Generalmente durante las primeras etapas de crecimiento de las poblaciones, el agua se obtiene de las corrientes naturales o del subsuelo: pero conforme avanza la expansión urbana, las fuentes de abastecimiento se alejan cada vez más de los centros de roblación y es necesario construir nuevos sistemas de captación, almacenamiento y abastecimiento de agua, que por consi---guiente ocasiona alteraciones topográficas, contaminación, sedimentación y cambios en la productividad de la tierra, paisaje y clima. En el caso de la Ciudad de México, los pasos de este --proceso han ido ocurriendo uno tras otro conforme al ritmo en --que se ha modificado su estructura demográfica y con ella la de todo el país.

Es tal esta situación, que el 80 % de los mexicanos vive --arriba de la cota 500 metros sobre el nivel del mar, donde existe solo el 20 % del agua disponible. Ante este panorama, la hazaña técnica de captar y subir el agua necesaria para la gran --metrópoli, seguramente sería suerada por una más deseable hazaña, la de lograr una mejor distribución de la población en el --territorio nacional.

Por otro lado, es importante lograr un mejor equilibrio entre el desarrollo de la ciudad y el campo, para imedir que el crecimiento urbano siga afectando la forma de vida y la econo--mía campesina. De lo contrario se podría generar un serio pro-

blema: "la falta de alimentos".

El Distrito Federal concentra actualmente a 10.5 millones de habitantes, forma parte del área metropolitana de la Ciudad de México, en donde viven alrededor de 17.0 millones de habitantes. Alrededor de la Ciudad de México se ha desarrollado un -- área conurbada integrada por 11 municipios pertenecientes al -- Estado de México. Los habitantes de ésta área metropolitana -- del Estado de México tienen en general, las mismas necesidades y costumbres que los de la Ciudad de México; sin embargo, sus -- sistemas hidráulicos se encuentran en una situación diferente -- por cuanto hace a su entorno político.

En el área metropolitana de la Ciudad de México se desarrolla cerca de la mitad de la actividad económica de México, lo -- que da una clara idea de su importancia, ya que se pronostica -- que hacia el año 2000 será la mayor concentración urbana del -- planeta con 28.0 millones de habitantes.

Actualmente las fuentes de abastecimiento de agua están -- constituidas por cientos de pozos ubicados en el Valle de México y en la vecina cuenca del río Lerma. La sobreexplotación del -- agua subterránea ha provocado asentamientos del subsuelo y el -- riesgo de que se deteriore la calidad de los acuíferos.

La demanda de agua crece rápidamente, pero aún cuando permaneciera constante, es necesario aminorar la sobreexplotación, por ello a partir de 1982 se está importando agua superficial -- desde cuencas que se encuentran hasta 1000 metros por debajo de la ciudad y a una distancia de 100 a 200 kilómetros (Fig. P-VII. 2.1.).

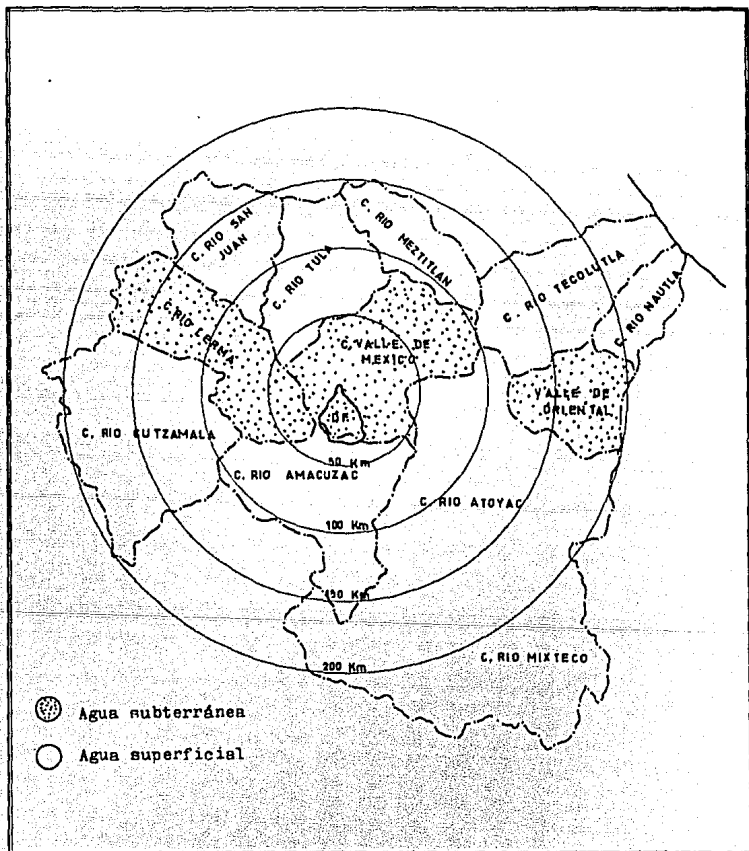
En tales circunstancias, el sistema hidráulico se hace más



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	FIGURA F-VII.2.1.



complejo cada día debido al explosivo crecimiento demográfico y a la urbanización menos ordenada que la deseable y con un crecimiento horizontal. Como consecuencia del desarrollo urbano, la superficie impermeable también ha crecido, lo que reduce la infiltración al acuífero, y al mismo tiempo, provoca un aumento en los escurrimientos superficiales que deben desalojarse para evitar inundaciones.

En cuanto a la demanda y suministro de agua potable a los habitantes del área metropolitana de la Ciudad de México, se puede mencionar que se ha tratado de resolver utilizando, desde -- luego, los recursos propios originados en la cuenca del Valle de México: asimismo, fue necesario transportar agua subterránea desde la cuenca del río Lerma, situada al poniente de la del Valle de México.

A partir de 1974, la Comisión de Aguas del Valle de México, dependencia bajo la dirección de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, inició la entrega de agua en bloque a través de diversos ramales y sistemas.

La predicción del Plan Nacional de Desarrollo Urbano tiende a mantener a la población actual del área metropolitana de la Ciudad de México, con un crecimiento muy conservador para llegar a fin de siglo a una población de 20.5 millones; pero es poco probable que esto suceda, ya que todavía no inciden importantemente las políticas de disminución de la tasa de crecimiento poblacional. Por tanto la Comisión de Aguas del Valle de México ha hecho su planeación sobre una tasa de crecimiento medio, de acuerdo con los estudios del Colegio de México, que indican que la población en el año de 1990 será de 20.745 millones de habi-

tantes, en una superficie de 1510 kilómetros cuadrados, y para el año 2000 alcanzará 28.634 millones de habitantes distribuidos en una área de 2235 kilómetros cuadrados.

Considerando el incremento de la población en los años futuros y la dotación de 360 litros-habitante-día, se obtuvieron en consecuencia las demandas totales para dichas poblaciones:

AÑO	AREA METROPOLITANA		DISTRITO FEDERAL	
	POBLACION(1)	DEMANDA(2)	POBLACION(1)	DEMANDA(2)
1990	20.745	86.44	13.117	54.77
2000	28.634	119.31	17.023	70.90

Por lo anteriormente señalado resulta indispensable para satisfacer las demandas futuras hasta el año 2000, el aprovechar las aguas servidas provenientes en la cuenca del Valle de México, así como las aguas generadas en cuencas ajenas y vecinas a la del Valle de México.

Recientemente la Comisión de Aguas del Valle de México inició estudios a detalle de algunas alternativas analizadas por la Comisión Hidrológica. En todos los casos estudiados se tomó en cuenta además de la factibilidad técnica, la que corresponde a la económica, financiera o política.

La problemática que plantea el suministro de agua ha obligado a estudiar una serie de alternativas para dotar el vital líquido a la población. Se han analizado algunas fuentes internas de abastecimiento, actuales y futuras, tratando de aprovechar por una parte los procesos que aunque salen de los métodos convencionales, ofrecen ventajas económicas, y por otra parte -

(1) millones de habitantes.

(2) metros cúbicos por segundo.

se incluyen esquemas actuales y los proyectos que requieren de la transferencia de agua desde otras cuencas.

Puentes internas.

Acuífero Valle de México.- Esta es la fuente hídrica principal del área metropolitana de la Ciudad de México. En todo el valle, y especialmente en su perímetro, existen zonas adecuadas para la explotación y de acuerdo a ello se han construido los sistemas de abastecimiento que suministran agua a la ciudad.

El bombeo de este acuífero ha ido aumentando gradualmente conforme al incremento de la demanda y cabe señalar que el exceso de bombeo ha ocasionado un descenso continuo del manto subterráneo. Este descenso llega en ciertos lugares de la ciudad a unos 50 metros, y el proceso de abatimiento de niveles continúa también. Este fenómeno ha producido un hundimiento progresivo del terreno en el área de la ciudad que llega a ciertos lugares hasta 8 metros o más. Asimismo, en algunos pozos se ha comprobado un empeoramiento de la calidad del agua.

Sin embargo, existe la posibilidad de perforar nuevos pozos municipales, cuya actividad contempla el desarrollo e implantación de estudios geohidrológicos que permitan detectar las zonas más viables para la obtención de agua subterránea dentro de la cuenca, manteniendo el caudal solo con la reposición de los pozos que no son factibles de rehabilitar.

Reuso.- Esta actividad comprende el desarrollo e implantación de programas para fomentar el uso del agua residual tratada en todas aquellas actividades que no requieren calidad potable. De hecho, la opción más simple de usar agua residual cru-

da se lleva a cabo desde varias décadas atrás en el Valle de -- México y en cuencas vecinas con fines agrícolas

Por lo que también es una opción significativa en los centros urbanos que han alcanzado importante desarrollo industrial, así pues se puede implementar en las industrias que no requieren de agua notable, nor el uso de aguas servidas previamente tratadas, según sea cada caso de proceso en particular. Monterrey es la ciudad pionera en esta actividad, pues se practica la reutilización de las aguas servidas desde hace más de 25 años. La reutilización de las aguas servidas es un medio de liberar aguas blancas que vienen a incrementar la disponibilidad para los usos domésticos.

Programa de control de pérdidas y uso eficiente del agua - (PUEDA).- Este programa tiene como objetivo optimizar el uso del agua, mediante acciones que permitan abatir la demanda, a través de mejoras en el sistema de abastecimiento y con la reducción del consumo por parte del usuario sin afectar sus hábitos y actividades productivas.

Entre las acciones para mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable, destacan: el catastro computarizado del sistema de distribución de agua potable, detección y eliminación de fugas visibles y no visibles en la red de distribución, estudios encaminados a mejorar la operación del sistema, elaboración de reglamentos de agua potable y drenaje; y a nivel de usuario destacan la colocación de bolsas ahorradoras de agua en la caja de los excusados, instalación de muebles y dispositivos de bajo consumo de agua.

Planta notabilizadora de Iztanalana (PPIz).- Esta planta

tendrá como función específica la notabilización de agua subterránea cuyas características físicas, químicas y biológicas no permiten su uso como agua de bebida.

Estos pozos se localizan al sureste de la ciudad y próximos al exvaso de Texcoco. La notabilización contiene procesos no convencionales como desgasificación, tratamiento químico, acondicionamiento químico, filtración, ozonación, adsorción con carbón activado y ósmosis inversa.

Planta de tratamiento avanzado de aguas residuales (PTA-ar). Este proyecta la notabilización, mediante el uso de tecnología avanzada del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales denominada Cerro de la Estrella. Esta planta opera mediante un proceso biológico de lodos activados y desinfección con cloro gas.

Actualmente se contempla en un programa específico que las aguas residuales sean fuente complementaria de abastecimiento, analizando la factibilidad de recargar artificialmente el acuífero a fin de contar, en una primera etapa con un volumen de almacenamiento suficiente para atender posibles emergencias debidas a limitaciones o de deficiencias de las fuentes de abastecimiento, y en una segunda etapa que las aguas residuales tratadas lleguen a ser fuente permanente de abastecimiento.

El futuro del reúso para suministro municipal dependerá principalmente de factores económicos, de la minimización de riesgos a la salud y de la aceptación pública. Por ello es necesario incluir un amplio plan de investigación y desarrollo tecnológico sobre:

- Procesos de tratamiento y control.

- Establecimiento de criterios de calidad del agua, cuando su origen no es natural.
- Evaluación a cualquier escala de impactos ambientales y daños a la salud.
- Reglamento para su aprovechamiento.
- Crear conciencia en los usuarios para garantizar el empleo de las aguas residuales tratadas.

Fuentes externas.

Sistema Lerma.- Fuente hídrica que se encuentra fuera del Valle de México y que suministra agua a la ciudad; se extiende a través del Valle de Toluca, al oeste de la Ciudad de México.

Además del bombeo destinado a abastecer la demanda de agua potable de la Ciudad de México, se bombea también agua de este acuífero para fines de riego aunque en cantidades muy limitadas. El aprovechamiento en el marco del sistema Lerma se ha ido desarrollando progresivamente de 4.5 metros cúbicos por segundo en 1951, cuando comenzó a operar dicho sistema hasta 13.5 metros cúbicos por segundo a mediados de la década de los 60. Desde entonces el bombeo se ha reducido paulatinamente, llegando a 9.0 metros cúbicos por segundo, de los cuales se suministran 5.8 metros cúbicos por segundo a la Ciudad de México; el resto se destina a usos locales en el Estado de México.

Sistema Cutzamala.- Se basa en la captación de las aguas del río Cutzamala que corre por el Estado de México, al poniente de la Ciudad de México. La primera etapa de construcción y operación comenzó a partir del año 1982, actualmente se encuentra en proceso de construcción la tercera etapa que suministrará al área metropolitana, a su conclusión un caudal acumulado -

de 19.0 metros cúbicos por segundo.

Sistema Amacuzac.- Esta alternativa de fuente de abastecimiento contempla la transferencia de los escurrimientos generados en la cuenca del río Alto Amacuzac con un caudal de 14.2 metros cúbicos por segundo. Este sistema se encuentra aún a nivel anteproyecto.

Sistema Tecolutla.- El proyecto de captación y conducción de las aguas generadas en la cuenca del río Tecolutla, situada al oriente del Valle de México, es otro anteproyecto que existe para abastecer a la Ciudad de México hasta con un caudal de 17.7 metros cúbicos por segundo, mediante el cambio de uso del agua que se emplea para generación de energía eléctrica por el de agua potable.

Sistema Libres-Oriental.- Existe el anteproyecto para el aprovechamiento de agua subterránea del acuífero que subyace en el Estado de Puebla. La construcción de este sistema permitirá inicialmente captar 7.0 metros cúbicos por segundo que se incorporarán por la parte norte de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

Sistema Taxhimay.- De este sistema existen los estudios preliminares para realizar un proyecto de transferencia de 2.8 metros cúbicos por segundo, mediante el aprovechamiento de los escurrimientos del río Tenejé, que son almacenados en la presa Taxhimay localizada dentro de la cuenca del Valle de México.

VII.3. Criterios de evaluación.

La principal atención que deberá ser tomada para definir -

la evaluación de las alternativas de solución, es aquella que -- incluye los costos y beneficios de acuerdo al rango de cada una de las alternativas, pero no olvidando la pronosición hecha por Kazanowski en 1968, que se refiere al número de criterios: es -- decir, entre más pocos sean los criterios, mejor será el resulta do ya que de esta forma no se pierde la claridad del análisis.

El análisis comparativo entre las diversas fuentes incluye infraestructura que está actualmente en operación, para cada pro yecto se analizan primero sus costos y posteriormente su impacto a través de las medidas de efectividad.

Análisis económico.

El costo total de cada una de las alternativas está forma do por los siguientes componentes:

- Costos de inversión y depreciación.
- Costo de operación y mantenimiento.
- Costos de energía eléctrica.

Cabe mencionar que como cada una de las alternativas, entra rían a operar en diferentes tiempos, por lo que los costos tota les y parciales son diferentes en cada fuente de abastecimiento, y en tal situación para obtener una aproximación correcta de los costos y se pueda permitir comparar dichas fuentes, es necesario proponer un índice de variación de precios. De esta manera las que obtengan un menor índice serán las fuentes recomendables.

Es necesario aclarar, que estos datos son tomados de fuen tes fidedignas realizadas por investigadores de la Dirección -- General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) a fina les de 1987, por tal razón no son analizados a detalle los cos-

tos y el índice de variación de precios.

Medidas de efectividad.

En virtud de que el costo no es un indicador suficiente para comparar la bondad de los proyectos de abastecimiento, se ha recurrido al uso de esta metodología para calificar las ventajas y desventajas de cada proyecto a partir de los siguientes criterios:

Técnicos: Uso de tecnología nacional o extranjera.

Necesidad de sistemas de distribución.

Efectos en otras estructuras.

Efectos en el suministro total.

Salud: Mejoría en el nivel de vida.

Riesgos a la salud.

Aceptación pública.

Ecosistema: Riesgo de daño al medio ambiente.

Políticos: Aceptación político-social.

Sociales: Generación de empleos.

VII.4. Comparación de las alternativas.

En virtud de que los criterios económicos son valores reales, la evaluación de dichos criterios no representan problema alguno: ya que, como es entendido, las alternativas que presentan el menor costo total así como el menor índice de variación de precios serán las recomendables a poner en marcha, desde el punto de vista económico.

Para que el análisis costo-efectividad obtenga resultados

favorables, es decir, sin tener como primordial condición el -- concepto económicos, será necesario desarrollar las medidas de efectividad.

Este desarrollo consiste básicamente en proponer un valor a cada criterio, ponderando cada uno de los factores que intervienen en la evaluación para dicho criterio. Así pues, de una manera un tanto arbitraria se propone una escala cuyos valores oscilarán entre cero (0) y diez (10).

En los siguientes diez cuadros (C-VII.4.1. al C-VII.4.10.) se describe el desarrollo de la evaluación de cada criterio de efectividad.

Así pues, bajo los anteriores alineamientos procederemos a calificar cada uno de los criterios de las medidas de efectividad, como se muestra en el cuadro C-VII.4.11.

De esta manera pasando de una evaluación de palabras a una evaluación numérica podremos empezar a definir cual o cuales -- son las alternativas más recomendables desde el punto de vista de efectividad, tal como se muestra en el cuadro C-VII.4.12., -- en donde se observa que la alternativa con la mayor efectividad corresponde a Programa de control de pérdidas y uso eficiente -- del agua (PUEDA), siguiéndole en importancia Planta potabilizadora de Iztapalapa (PPIz) y Planta de tratamiento avanzado de -- aguas residuales (PTA-ar), cuyos valores de efectividad son --- iguales.

Entonces para que los criterios de efectividad no presen-- ten resultados iguales, cada uno de estos criterios también estarán sujetos a un valor calificativo como se muestra en el cuadro C-VII.4.13.

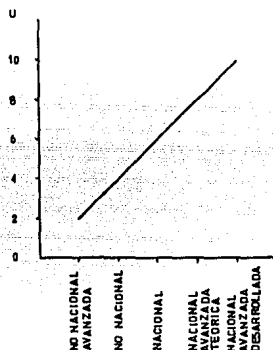


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII. 4.1.

1. Tecnología.



Comentario: La razón por la cual, la tecnología nacional - avanzada desarrollada tiene mucho más peso que la no nacional avanzada es, que a medida que se desarrolle la tecnología nacional, va no será necesario estar sometidos a los resultados obtenidos en el extranjero: pero hay que tener en cuenta, que este hecho no implica que no se requiera -- asesoría extranjera, que es muy diferente a estar esperando resultados del exterior.

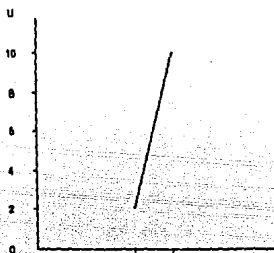


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1980.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII.4.2.

2. Sistema de distribución



SI NO

Comentario: Las alternativas que requieren sistema de distribución tienen un valor inferior con aquellas que no lo requieren, y esto es debido a que dicho sistema de distribución repercute directamente en los costos: los que a su vez se ven afectados por el transcurso del tiempo. Esto es a consecuencia del índice de variación de precios.

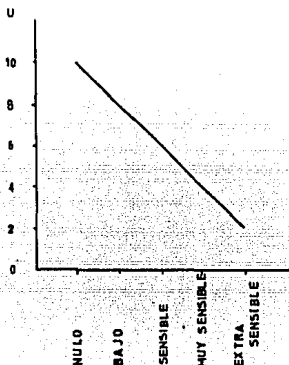


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII.4.3.

3. Efecto en el suministro por falla del sistema.



Comentario: Este criterio está basado en el caudal de aportación de cada alternativa. Así pues, para aquellas que -- tienen un caudal de aportación bajo tienen un valor en la -- escala alto, ya que su efecto por falla no paralizaría las actividades; no siendo así para aquellas que tienen un caudal de aportación considerablemente alto.

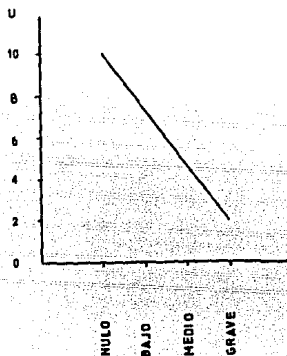


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.A.

4. Efecto en otras estructuras.



Comentario: En este criterio, obtendran valores altos las - alternativas cuyo efecto nor falla en el sistema no repercute en cualquier otra estructura. Para aquellas alternativas que presenten efectos en estructuras del tipo agrícola tendrán un valor bajo, un valor medio para efectos en estructuras del tipo servicios y grave para estructuras del tipo urbano.

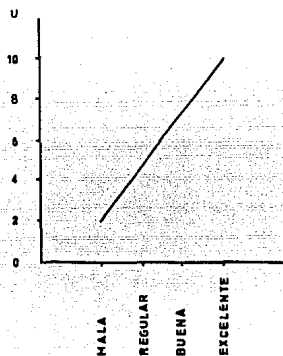


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1980.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII.4.5.

5. Nivel de vida.

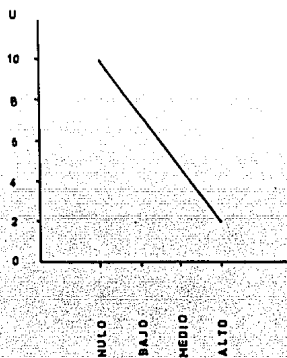


Comentario: Las alternativas que originen un nivel de vida más decoroso tendrán un valor alto, no siendo así aquellas que por el contrario originen niveles de vida bajos.



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII.4.8.

6. Riesgos a la salud.

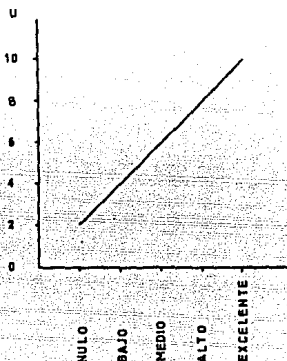


Comentario: Tal vez este criterio, sea uno de los que tenga el valor más alto en relación con los demás. Por tal motivo, alternativas con un alto riesgo a la salud tenderan a obtener valores inferiores, comparados con aquellas que no signifiquen riesgo alguno.



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.7.

7. Acentación pública.



Comentario: Este criterio esta basado para la evaluación, - de acuerdo al origen de la fuente de abastecimiento, tal -- que, aquellas alternativas que su origen son fuentes natura les tendran un valor alto, comparadas con aquellas cuyo ori gen sea artificial; quienes tendran un valor bajo.

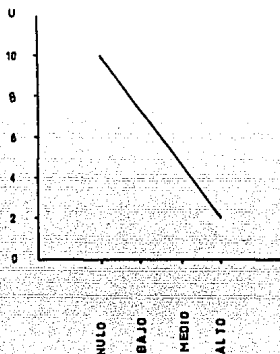


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1968.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII. 4.º.

8. Riesgo de daño al medio ambiente.



Comentario: Las alternativas que de acuerdo al origen de su fuente provoquen alteraciones al medio ambiente (flora y -- fauna) tendrán valores bajos, no siendo así aquellas que pa ra nada lo alteran o en su defecto ayudan a mejorar el me-- dio ambiente, y que tendrán un valor alto.

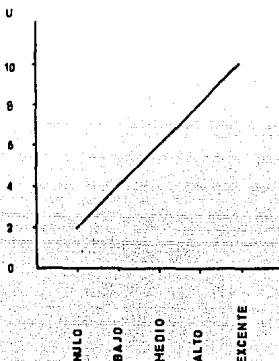


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.9.

9. Acentación político-social.



Comentario: En este criterio los valores altos corresponden para aquellas alternativas cuya aceptación sea excelente o alta, y un valor bajo para aquellas con una aceptación nula o baja.

La razón de esta evaluación es que, dependiendo de la cuenca de donde se obtenga el agua para suministro, se vera afectada en su ecosistema como en los ambitos político y social, ya que se originarian problemas similares a los actuales de la Ciudad de México.

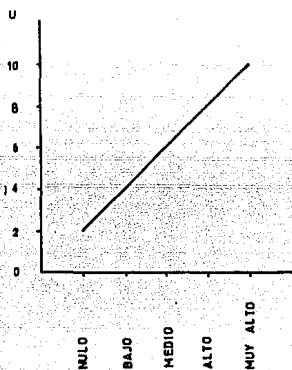


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON.	FECHA. MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.10.

10. Generación de empleos.



Comentario: Finalmente en este criterio el valor alto será para las alternativas que representen una fuente potencial de empleo, y un valor bajo para aquellas que no representen una generación de empleos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4. 11.

FUENTE	Acuífero V. México	Redso.	PUEDA.	PPIz.	PTA-ar
CRITERIO					
Económicos.					
Caudal m ³ /seg.	22.00	5.00	4.60	0.30	0.30
Inversión total *x 10 ⁹	41.60	31.50	210.00	4.00	6.00
Costo total \$/m ³ .	102.00	515.00	293.00	131.00	178.00
Índice variación precios %	72.79	115.89	105.00	91.73	94.40
Efectividad. Tecnología.	Nacional	Nacional avanzada	Nacional	Nac. A. D. No Nac. A.	Nac. A. D. No Nac. A.
requiere sistema distr.	Si	Si	No	No	No
Efectos en el sist. nor falla.	Extra-sensible	Sensible	Nulo	Bajo	Bajo
Efecto en otras estructuras.	Bajo, Medio, Grave	Nulo	Nulo	Grave	Nulo
mejora en calidad de vida.	Excelente	Bueno	Excelente	Bueno	Bueno
Riesgos a la salud.	Nulo	Alto	Nulo	Nulo	Bajo
Acentación pública.	Excelente	Alta	Excelente	Excelente	Medio
Riesgo daño al medio ambiente.	Alto	Nulo	Nulo	Bajo	Nulo
Aceptación político-social.	Nula	Media	Excelente	Alta	Baja
Generación empleos	Bajo	Alto	Muy Alto	Alto	Alto



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J. A. RANGEL RAYON	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	

Ierma	Cutzamala	Amacuzac	Tecolutla	Iibres- Oriental	Taxhimay
9.00	19.00	14.20	17.70	7.00	2.80
141.45	673.63	916.18	1130.64	416.12	80.99
254.00	397.00	602.24	567.02	375.42	219.30
82.38	87.61	86.01	87.18	93.74	98.34
Nacional	Nac.A.D. No Nac.A.	Nacional avanzada	Nacional	Nacional	Nacional
Si	Si	Si	Si	Si	Si
Muy sensible	Muy sensible	Muy sensible	Muy sensible	Sensible	Bajo
Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Bueno	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Nula	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.12.

PUENTE	Acuifero V. México	Redso.	PUEDA.	PPiz.	PTA-ar.
CRITERIO					
Tecnología. requiere sis- tema distr.	6.0	10.0	6.0	8.0	8.0
Efectos en el sist. por falla.	2.0	2.0	10.0	10.0	10.0
Efecto en otras estructuras.	2.0	6.0	10.0	8.0	8.0
Mejora en cali- dad de vida. riesgos a la salud.	0.66	10.0	10.0	2.0	10.0
Acercamiento pública.	10.0	7.33	10.0	7.33	7.33
Riesgo daño al medio ambiente.	10.0	2.0	10.0	10.0	7.33
Aceptación po- lítico-social	10.0	8.0	10.0	10.0	6.0
Generación empleos.	2.0	10.0	10.0	7.33	10.0
	2.0	6.0	10.0	8.0	4.0
	4.0	8.0	10.0	8.0	8.0
SUMA	48.66	69.33	96.00	78.66	78.66



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA	

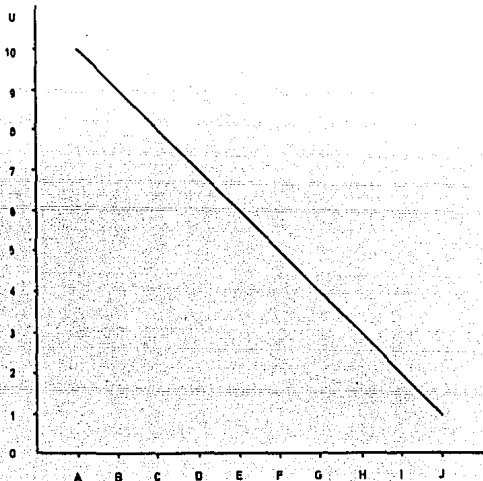
Ierma	Cutzamala	Amacuzac	Tecolutla	Libres- Oriental	Taxhimay
6.0	8.0	10.0	6.0	6.0	6.0
2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	8.0
7.33	4.67	7.33	7.33	7.33	7.33
7.33	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
2.0	4.67	7.33	7.33	7.33	7.33
2.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
54.66	63.34	70.66	66.66	68.66	70.66



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO. J.A RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING F FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.13.



- A Riesgos a la salud.
- B Aceptación pública.
- C Nivel de vida.
- D Medio ambiente.
- E Tecnología.
- F Sistema de distribución.
- G Efecto en el sistema.
- H Efecto en otras estructuras.
- I Aceptación político-social.
- J Generación de empleos.

Para que las medidas de efectividad no presenten resultados iguales y se pueda definir claramente cual o cuales alternativas son las más recomendables, se procede a jerarquizar dichas medidas de efectividad; es decir, tomando en cuenta los valores asignados a cada medida (cuadro C-VII.4.13) los multiplicamos con los valores relativos de cada una de las alternativas (cuadro C-VII.4.12), obteniendo un nuevo resultado que se muestra en el cuadro C-VII.4.14.

En el cuadro C-VII.4.14 se observa que finalmente cada una de las fuentes propuestas tienen valores muy diferentes entre sí, y de esta manera las alternativas que presentan la mayor efectividad, son aquellas que poseen las calificaciones más altas, y estas son:

- Programa de control de pérdidas y uso eficiente del agua.
- Planta potabilizadora de Iztapalapa.
- Sistema Amacuzac.
- Sistema Taxhimay.
- Planta de tratamiento avanzado de aguas residuales.

Finalmente para concluir el análisis costo-efectividad, comparamos las diferentes alternativas como se muestra en los cuadros C-VII.4.15, C-VII.4.16,

En el cuadro C-VII.4.15 la comparación de las diferentes alternativas se hizo exclusivamente en unidades de posición, es decir; que las alternativas con mayor efectividad son aquellas que ocupan las posiciones más altas; esto es, Programa de control de pérdidas y uso eficiente del agua (PIEDA) con 11 unidades, Planta potabilizadora de Iztapalapa (PPIz) con 10 unidades, Sistema Amacuzac con 9 unidades y así sucesivamente, hasta llegar a la unidad y que le corresponde a Acuífero Valle de México.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA	CUADRO C-VII.4. 14.

PUEBLO	Acuífero V. México	Redso.	PIEDA.	PIIz.	PTA-ar.
CRITERIO					
Tecnología.	36.0	60.0	36.0	48.0	48.0
requiere sistema distr.	10.0	10.0	50.0	50.0	50.0
Efectos en el sist. por falla.	8.0	24.0	40.0	32.0	32.0
Efecto en otras estructuras.	1.98	30.0	30.0	6.0	30.0
Mejora en calidad de vida.	80.0	58.64	80.0	58.64	58.64
Riesgos a la salud.	100.0	20.0	100.0	100.0	73.30
Acercamiento pública.	90.0	72.0	90.0	90.0	54.0
Riesgo daño al medio ambiente.	14.0	70.0	70.0	51.31	70.0
Acercamiento político social.	4.0	12.0	20.0	16.0	8.0
Generación empleos.	4.0	8.0	10.0	8.0	8.0
TOTAL	347.98	364.64	526.00	459.95	431.94



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	

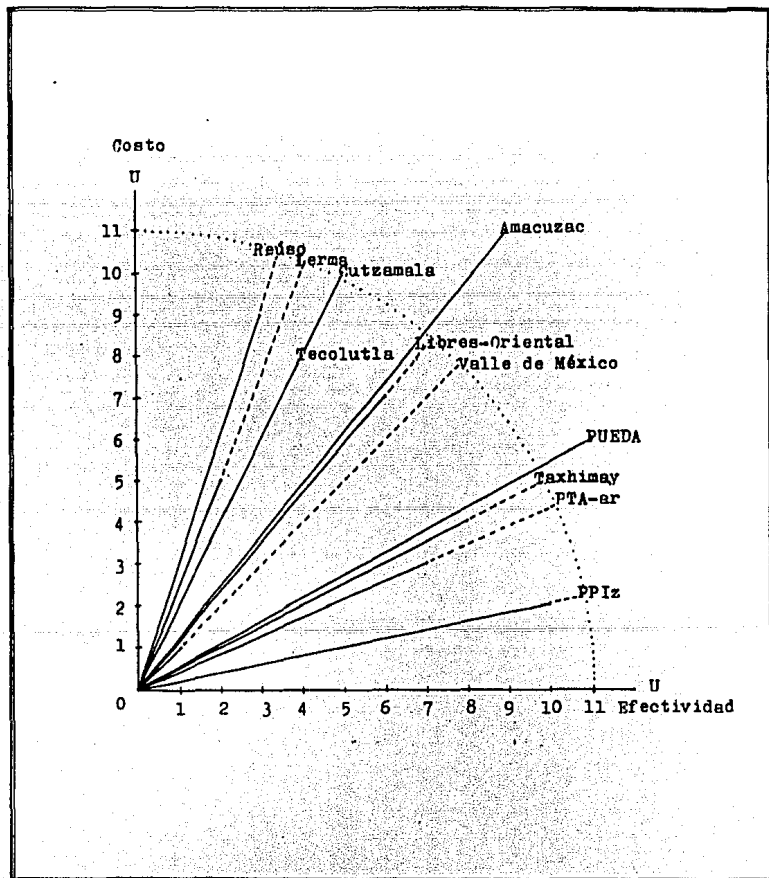
Lerma	Cutzamala	Amacuzac	Tecolutla	Libres- Oriental	Taxhimay
36.0	48.00	60.0	36.0	36.0	36.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
16.0	16.0	16.0	16.0	24.0	32.0
21.99	14.01	21.99	21.99	21.99	21.99
58.64	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0
100.0	100.0	100.0	100.00	100.0	100.0
90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0
14.0	32.69	51.31	51.31	51.31	51.31
4.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
354.63	404.70	443.30	419.30	427.30	435.30



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO J. A. RANGEL RAYON.	FECHA MARZO 1988.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.15.



Por lo que respecta a la comparación entre costos, dicha comparación es igual a la anterior, de modo que las alternativas con mayor costo son las que tienen las posiciones más altas; es decir, Sistema Amacuzac con 11 unidades, Sistema Cutzamala con 10 unidades, Redso con 9 unidades y así sucesivamente hasta llegar nuevamente a la unidad, cuya posición es ocupada nuevamente por Acuífero Valle de México.

Entonces, bajo la comparación anterior, se deduce que la alternativa Acuífero Valle de México tiene un desarrollo equilibrado; o sea, que a medida que aumenta el costo, la efectividad aumenta también y en la misma proporción que aumentarán los costos y en tal circunstancia se puede definir de una forma un poco imprecisa que todas las alternativas que se encuentren por debajo de la línea representativa de Acuífero Valle de México (cuya pendiente es de 45°) son alternativas que presentan una mayor efectividad con costos relativamente bajos. Y por el contrario, las alternativas que se ubiquen por arriba de la línea representativa de Acuífero Valle de México poseen efectividades bajas con costos relativamente altos.

Así, para finalizar con el análisis costo-efectividad y teniendo en cuenta que el Acuífero Valle de México representa una alternativa simétrica en cuanto a la comparación de costo-efectividad, ya que posee los valores más bajos. Tomando dichos valores como parámetros de comparación, hacemos que estos valores representen la unidad y nuevamente comparamos.

Cabe mencionar que todos los valores de efectividad serán divididos por el valor de la alternativa Acuífero Valle de México, al igual que los valores de costos.

Bajo este alineamiento, obtenemos los siguientes valores:

Alternativa	Efectividad	Costo
Acuífero Valle de México	1.00	1.00
Redso	1.05	5.05
PUEDA	1.51	2.87
PPIz	1.32	1.28
PTA-ar	1.24	1.75
S. Lerma	1.02	2.49
S. Cutzamala	1.17	3.89
S. Amacuzac	1.27	5.90
S. Tacolulia	1.20	5.56
S. Libres-oriental	1.23	3.68
S. Taxhimay	1.25	2.15

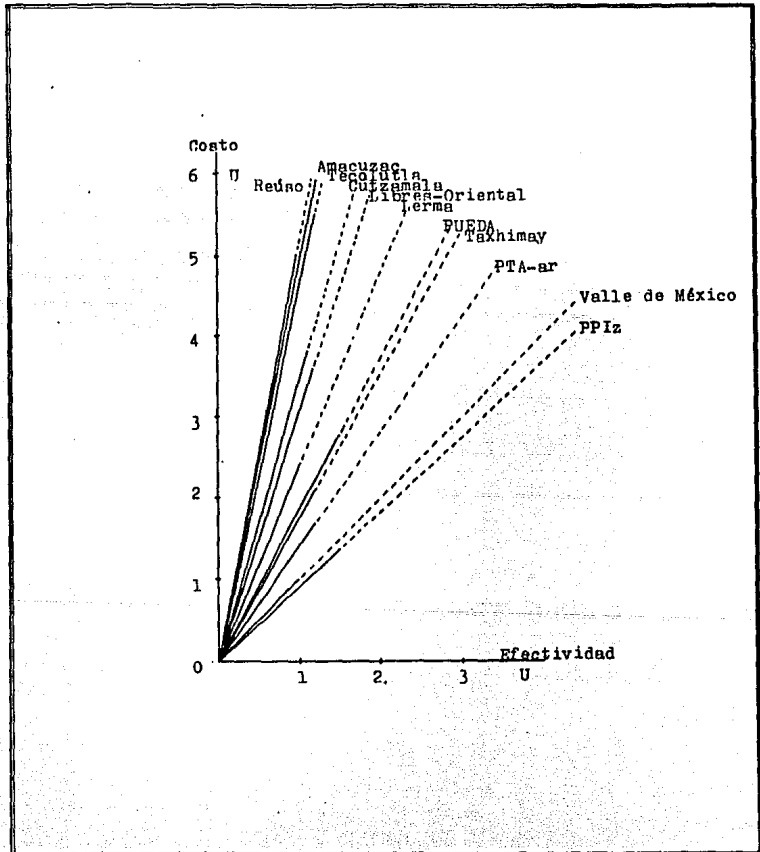
Grificando dichos valores obtenemos la gráfica que se muestra en el cuadro C-VII.4.16 en donde se puede observar que las alternativas que están por debajo de la línea representativa a Acuífero Valle de México son las más adecuadas para que entren a funcionar, ya que representan efectividades altas con costos bajos, en comparación con las que se sitúan por arriba de dicha línea, en virtud de que estas poseen efectividades bajas con costos altos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ACATLAN
INGENIERIA CIVIL



TESIS PROFESIONAL.	REALIZO: J. A. RANGEL RAYON.	FECHA: MARZO 1989.
RECARGA ARTIFICIAL DE MANTOS ACUIFEROS.	REVISO: ING. F. FLORES HERRERA.	CUADRO C-VII.4.16.



CONCLUSIONES

El problema de abastecimiento de agua es uno de los más importantes del Distrito Federal. La demanda creciente obliga a incrementar los caudales suministrados y a sustituir las fuentes sobrexplotadas.

El agua subterránea constituye la principal fuente de abastecimiento, a sabiendas de que la sobrexplotación de los acuíferos tienen efectos colaterales serios, como los que presenta actualmente el Distrito Federal y son: hundimientos considerables del terreno, extracción de agua con calidad degradada, oferta deficiente debido al crecimiento demográfico acelerado y sin un ordenamiento adecuado, lo que a su vez provoca que las áreas de infiltración para la recarga natural del acuífero sean más limitadas.

El análisis de fuentes alternas del suministro, señala, en primer lugar, por cuanto al costo, a la explotación de agua subterránea, que si no representa un caudal adicional, permite mantener los niveles de extracción actuales.

Los proyectos de transferencia de agua desde cuencas vecinas, resulta cada vez más costosos y originan problemas sociales y políticos que dificultan su ejecución oportuna; razón -- por la cual y para aprovechar al máximo las aguas residuales generadas en el Distrito Federal, se propuso como medida alternativa para el suministro de agua potable, la recarga artificial de los mantos acuíferos con agua residual tratada.

La recarga artificial de mantos acuíferos, para que se ponga en práctica requiere de una metodología bien definida, --

con la finalidad de que dicho proyecto no sea exclusivo para el Distrito Federal; sino que pueda ser aplicado en cualquier otra ciudad que presente problemas similares a los del Distrito Federal.

La metodología a seguir como se pudo apreciar consiste en una serie de estudios, donde nos indique por un lado las características naturales de la región donde se pretende poner en marcha la recarga y por otro lado conocer las características actuales de la zona, como: su infraestructura hidráulica, plantas de tratamiento, líneas de conducción, zonas de aportación; así como también estudios donde se indiquen los avances tecnológicos en materia de tratamiento de las aguas negras.

Así pues, de los estudios practicados, se llegó a la conclusión de que la zona más adecuada para la recarga artificial dentro del Distrito Federal es la correspondiente a la de Santa Catarina. Esta decisión está basada en las condiciones geológicas que descansan en arena volcánica con una variación de finos a gruesos e intercalaciones de gravas y boleas: las cuales presentan buena permeabilidad y un alto coeficiente de porosidad. Desde el punto de vista piezométrico, dicho nivel se encuentra aproximadamente a -70.0 metros del nivel de terreno y en relación al comportamiento geohidrológico, dicha dirección es de norte a sur, con lo cual no se estima una posible contaminación directa en los pozos de la batería de pozos de Santa Catarina - que no están destinados a la recarga; además de que en dichos pozos la calidad del agua se ha ido degradando con el paso del tiempo como se pudo apreciar en los cuadros C-VI.2.1. y C-VI.2.2.

Otro de los puntos a favor para decidir como zona adecuada

la de Santa Catarina es el relacionado a la configuración topográfica, la cual es llana y por tal razón no es necesario tener que hacer un gran movimiento de tierras para la creación de las lagunas de infiltración. También dicha decisión está basada en la cercanía de la planta de tratamiento de aguas residuales "Cerro de la Estrella", que es en la actualidad la única planta en el Distrito Federal que nos puede dar el caudal para llevar a cabo la demanda proyectada y que está estimada en 10,000 metros cúbicos por día; sumándole además a esto que en dicha planta se tiene una zona de amortación con una carga industrial que tiene un aumento muy pequeño en comparación con la zona de amortación a la planta de tratamiento "Chanultenec", donde se definió como un agua residual de tipo doméstico.

Es necesario volver a mencionar que además actualmente en la planta de tratamiento del "Cerro de la Estrella" se está llevando a cabo a nivel piloto un tratamiento avanzado con: espuma ción, tratamiento químico, desorción, recarbonatación, filtración, adsorción con carbón activado, ozonación y ósmosis inversa, lo que tiene como finalidad obtener un efluente con una calidad similar a la potable y de esta manera poder llevar a cabo la recarga por el método de realimentación.

En lo que se refiere a los métodos propuestos para la recarga artificial, se concluye que ambos métodos poseen las mismas ventajas; el método de recarga por realimentación se puede poner en práctica, ya que del proyecto piloto en relación al tratamiento terciario los resultados son favorables, siendo el único inconveniente el caudal a emplear que para tal fin aún no se obtiene.

Por su parte para realizar la recarga con el método de ---

tratamiento del efluente por infiltración-percolación, es actualmente el más óptimo ya que dicho tratamiento es a nivel secundario y como se pudo observar compare con los efluentes de las plantas de tratamiento de Flushing Meadows, Arizona, EEUU y Dan, Israel; en donde se han obtenido resultados positivos de la recarga artificial.

En cuanto a lo relacionado con las características del acuífero recargado dependen básicamente del método de recarga: si bien es sabido que la recarga es un proyecto a largo plazo, se han hecho análisis de la calidad del efluente recargado a nivel piloto a través de un modelo matemático. Dicho modelo está fundamentado en el método de tratamiento del efluente por infiltración-percolación, ya que por este método el propio terreno tiene la función de filtro natural, lo que hace que no se requiera de un efluente de recarga con calidad similar a la del acuífero; no siendo así con el método de realimentación, donde se requiere de un efluente con calidad similar a la del acuífero.

Así pues, una vez recargado el acuífero, este tendrá en primera instancia una dirección vertical descendente y en forma radial y posteriormente dicha dirección será en sentido horizontal conservando la dirección del flujo natural que es de norte a sur-suroeste, cuya dirección además será regida por el bombeo de los pozos de observación Santa Catarina SC-4, SC-5 y también los pozos SC-3 y SC-6 en donde una vez transcurrido el tiempo estimado en que se presente el efluente recargado que es de 3.5 años aproximadamente, no señala el empeoramiento de la calidad del acuífero.

En tal situación la calidad del acuífero tenderá en primer lugar en lo que se refiere a elementos menores presentes en el

efluente tratado, que den origen a un agua con calidad similar a la del acuífero. Una vez que comiencen a aparecer los principales iones del efluente cuya concentración es menor que la concentración de los iones que se encuentran en el acuífero, se espera entonces un mejoramiento de la calidad y finalmente cuando se presenten elementos que no se encuentran en el acuífero como es el caso de los metales pesados, se estima que estos se presentarán en la nueva agua bombeada en concentraciones insignificantes, con lo que si realmente no se obtiene un agua potable, tampoco la calidad del agua de los pozos Santa Catarina se verá degradada aún más, razón por la cual se espera que una vez que se ponga en marcha dicho proyecto tendrá resultados favorables.

En cuanto a la evaluación de los resultados se puede observar que los proyectos, como el de la planta de tratamiento avanzado de aguas residuales, compete con cualquiera de las alternativas futuras mencionadas, debido a la evolución de la tecnología que ha abatido el costo de los equipos y accesorios. Lo anterior plantea un problema a vencer relacionado con la posible resistencia de los usuarios a utilizar agua potable cuyo origen sea residual, aunque reúna las características óptimas de notable.

Finalmente aunque la planta de tratamiento avanzado de aguas residuales no tiene la mayor efectividad y el menor costo se puede afirmar que la puesta en marcha de la recarga de los acuíferos, beneficiará bastante a la población y al propio Distrito Federal en lo que se refiere a un uso adecuado y sin exceso de agua potable, disminución del sobrebombeo y hundimientos del terreno y en última instancia un menor crecimiento demográfico proveniente del interior del país, así como se espera que

con esta medida la provincia también pueda crecer adecuadamente con el manejo de sus propios recursos naturales como lo es el agua.

B I B L I O G R A F I A

- B1. Plan Nacional Hidráulico.
Comisión del Plan Nacional Hidráulico, SARH, Tomo I,
México 1981.
- B2. Plan Maestro de Agua Potable.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I, México 1982.
- B3. El sistema hidráulico del Distrito Federal.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I, México 1982.
- B4. Programa hidráulico del Distrito Federal.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I, México 1979.
- B5. Actividades geohidrológicas en el Valle de México para lo
calizar sitios y estructuras para recarga artificial de -
aguas residuales tratadas.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I y II, México 1986.
- B6. Piezometría, pruebas de bombeo, pruebas de infiltración -
en pozos de absorción de aguas pluviales y calicatas eléc-
tricas en diversos sitios de la Ciudad de México.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I, México 1986.
- B7. Tratamiento y denuración de las aguas residuales.
Metcalf-Eddy, Tomo I, España 1977.
- B8. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del -
Distrito Federal.
Secretaría General de Obras, DDP, Tomo I y III, México ---
1975.
- B9. Plan maestro de tratamiento y reúso.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I, México 1982.
- B10. Proyecto de Demostración de Recarga de Aguas Residuales -
Tratadas.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDP, Tomo I y II, México 1982.

- E11. Geohidrología, Manual de diseño de obras civiles.
Comisión Federal de Electricidad, Tomo I, México 1983.
- E12. El subsuelo de la Ciudad de México.
Raúl J. Marsal y Marcos Mazari, UNAM, Tomo I, México 1969.
- E13. Sismicidad en la Cuenca del Valle de México.
Jesús Figueroa A., FI-UNAM No. 289, México 1971.
- E14. Plan Maestro de Drenaje.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I y II, México 1982.
- E15. Manual del modelo para simular el tratamiento con lodos -
activos.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I, México 1982.
- E16. Proyecto de ampliación de la planta de tratamiento de San
Juan de Aragón.
Dirección General de Obras hidráulicas, DDF, Tomo I, II y
III, México 1978.
- E17. Ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales
de Chapultepec.
Dirección General de Obras Hidráulicas, DDF, Tomo I y II,
México 1978.
- E18. Manual de operación planta de tratamiento de aguas residua
les "Cerro de la Estrella".
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I, México 1986.
- E19. Manual de operación planta de tratamiento de aguas residua
les "Ciudad Deportiva".
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I, México 1986.
- E20. Manual de operación planta de tratamiento de aguas residua
les "Chapultepec".
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I, México 1982.
- E21. Manual de operación planta de tratamiento de aguas residua
les "San Juan de Aragón".
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica,
DDF, Tomo I, México 1986.

- B22. Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales.
Fabián Vañez, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1982.
- B23. Evaluación de daños a la salud por el uso de aguas renovadas.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, Fase I tomo I y II, México 1986.
- B24. Proyecto de abastecimiento de agua.
División de Educación Continua, FI-UNAM, Tomo I, México - 1984.
- B25. Segundo congreso nacional de ingeniería sanitaria y ambiental, México 1980.
- B26. Alcantarillado y tratamiento de aguas negras.
Harold E. Babbit y E. Robert Baumann, Tomo I, México 1977.
- B27. Abastecimiento de agua y alcantarillado.
Ernest W. Steel, Tomo I, España 1976.
- B28. Anuntes Potabilización y Tratamiento FENEP ACATLAN-UNAM.
Ing. Agustín Machorro Bonilla, México 1987.
- B29. Proyecto para el suministro de agua al Distrito Federal - en situaciones de emergencia.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, Tomo I, México 1982.
- B30. Primera reunión internacional sobre sistemas hidráulicos en grandes urbes.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, Tomo I, México 1980.
- B31. Ponencia presentada en Barcelona España.
Ing. Sergio Moreno Mejía, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, México 1987.
- B32. Dispositivos experimentales de tratamiento avanzado de -- aguas residuales.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, México 1987.
- B33. Planta notabilizadora de Santa María Aztathuacán.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, DDF, Tomo I, México 1987.

- B34. Water Renovation and Reuse.
H. I. Shuval, Academic Press New York, EE UU, 1977.
- B35. Handbook of variable for environmental impact assessment.
Larry W. Canter and Loren G. Hill, University of Oklahoma,
Michigan EE UU, 1979
- B36. Diario Oficial.
Enero 18 1988, México.

A N E X O A

A. AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO.

ARTICULO 209.-Se considera agua potable o agua apta para consumo humano, toda aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud.

Se considera que no causa efectos nocivos a la salud, cuando se encuentre libre de gérmenes patógenos y de sustancias tóxicas, y cumpla, además con los requisitos que se señalan en este título y en la norma correspondiente.

ARTICULO 210.-Para considerar que el agua es potable, la investigación bacteriológica se realizará de acuerdo a las normas respectivas y deberá dar como resultado lo siguiente:

I. El número de organismos coliformes totales, deberá ser, como máximo, de dos organismos en 100 ml, según las técnicas del número más probable (NMP) o de la de filtro de membrana, y

II. No contendrá organismos fecales.

Aparte de lo anterior, se podrán realizar, a satisfacción de las autoridades sanitarias, todas las pruebas que se consideren necesarias, a fin de identificar otros riesgos a la salud.

ARTICULO 211.-Los organismos organolépticos y físicos, se establecerán atendiendo a las siguientes características: aspecto, pH, sabor, olor, color, turbiedad del agua y en su caso, los demás que señale la norma.

ARTICULO 212.-Se considera que el agua es potable, en lo relativo a las características organolépticas y físicas, cuando se encuentren dentro de los límites siguientes:

I. Aspecto: Líquido:

II. pH: De 6.9 a 8.5:

III. Sabor: Característico:

IV. Olor: Característico;

V. Color: Hasta 20 unidades de la escala de platino-cobalto, o su equivalente en otro método, y

VI. Turbiedad: Hasta 10 unidades de la escala de sílice, o su equivalente en otro método.

ARTICULO 213.-El contenido, expresado en miligramos por litro, de elementos, iones y sustancias no excedera los límites permisibles que a continuación se expresan:

Alcalinidad total expresado como CaCO_3	400.00
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.00
Cadmio	0.005
Cianuro expresado como ión CN	0.05
Cobre	1.50
Cloro libre; en agua clorada	0.20
Cloro libre; en agua sobre clorada	1.00
Cromo hexavalente	0.05
Dureza de Calcio expresada como CaCO_3	300.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros expresado como elemento	1.50
Magnesio	125.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos expresados como nitrógeno	5.00
Nitritos expresados como nitrógeno	0.005
Nitrógeno proteico	0.10

Oxígeno consumido en medio ácido	3.00
Plomo	0.05
Selenio	0.05
Sulfatos expresados como ión	250.00
Zinc	5.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Extractables carbón-cloroformo (ECC)	0.30
Extractables carbón-alcohol (ECA)	1.50

ARTICULO 214.-En materia de agua para consumo humano, se -
determinará en la norma:

I. El tratamiento a que deberá sujetarse en los sistemas -
públicos de abastecimiento, para asegurar su potabilidad;

II. El tipo, contenido y periodicidad de los análisis y --
exámenes necesarios para vigilar su potabilidad;

III. Las técnicas para la toma, conservación, transporte y
manejo de muestras, así como los métodos para realizar las deter-
minaciones necesarias para verificar su potabilidad;

IV. Los métodos de prueba de equipos y aparatos purificado-
res de tipo doméstico, y

V. Los demás aspectos, condiciones, requisitos y caracte-
rísticas que la Secretaría juzgue necesarios para que el agua -
pueda ser destinada para consumo humano.

ARTICULO 215.-Para los efectos de este Reglamento, se en-
tiende por sistema de abastecimiento, el conjunto intercomunica-
do o interconectado de fuentes, obras de captación, plantas po-
tabilizadoras, tanques de almacenamiento y regulación, líneas -
de conducción y distribución, que abastece de agua para consumo
humano a una o más localidades o locales, sean de propiedad pú-
blica o privada.

ARTICULO 216.-La Secretaría establecerá los requisitos sanitarios que deban cumplir las construcciones, instalaciones y equipos de los sistemas de abastecimiento para proteger la salud de la población.

ARTICULO 217.-Los gobiernos de las entidades federales otorgarán, de conformidad con los requisitos que fije la Secretaría, la autorización de responsable de control de calidad sanitaria del agua.

ARTICULO 218.-Los propietarios u organismos y entidades -- responsables de sistemas de abastecimiento, deberán cumplir con las disposiciones que emite la Secretaría sobre notabilidad, -- agua y control de la misma y con los requisitos sanitarios que establezca para los propios sistemas de abastecimiento.

ARTICULO 220.-La autoridad sanitaria, en el ámbito de su - competencia, vigilará la potabilidad y otorgará "Certificado de Condición Sanitaria de Agua" a los sistemas de abastecimiento en operación, sean públicos o privados, que reúnan los requisitos sanitarios y mantengan la condición del agua abastecida dentro de los límites permisibles.

Dicho certificado tendrá vigencia de un año, pudiendo prorrogarse por períodos iguales, pero se cancelará si el agua resultara no apta para el consumo humano y hasta en tanto se alcancen de nuevo los límites permisibles autorizados.

ARTICULO 221.-Los sistemas privados de abastecimiento a -- establecimientos, deberán disponer del Certificado de Condición Sanitaria de Agua dentro de los 15 días iniciales de su operación.

ARTICULO 222.-Cuando el agua de algún sistema de abasteci-

miento no reúna las características de notabilidad, la autoridad sanitaria a fin de proteger la salud de los usuarios, procederá a ordenar que el consumo se suspenda o se condicione hasta que se dé al agua el tratamiento adecuado o, en su caso, se localice otra fuente apropiada.

ARTICULO 223.--Queda prohibido contaminar o modificar la composición bacteriológica y físico-química del agua de un sistema de abastecimiento, haciéndola impropia para consumo humano.

ARTICULO 224.--Corresponde a la Secretaría y a los gobiernos de las entidades federativas, en sus respectivos ámbitos de competencia, vigilar la notabilidad del agua cuando se destine para uso y consumo humano.

ARTICULO 225.--La Secretaría determinará las características y restricciones sanitarias de uso de los equipos purificadores de agua de tipo doméstico. Al efecto, se incorporarán en la norma correspondiente los métodos de prueba a que deberán someterse previamente a su autorización.

ARTICULO 226.--La autoridad sanitaria divulgará la información necesaria para que la población atienda eficazmente a la conservación intradomiciliaria de la notabilidad del agua.

ARTICULO 227.--En materia de agua para uso humano, la Secretaría vigilará y en su caso establecerá:

I. Sus características acordes con el tipo de uso y, en su caso, las restricciones de uso correspondiente:

II. Las normas a que deberá sujetarse su tratamiento para evitar riesgos y daños a la salud pública.

III. Los criterios sanitarios que deben satisfacer las construcciones, instalaciones y equipos para su conducción, tra

tamiento y distribución, en su caso;

IV. El tipo, contenido, métodos y periodicidad de los análisis y exámenes necesarios para determinar y vigilar sus características, y

V. Los demás aspectos, condiciones, requisitos y características que la Secretaría juzgue necesarios para que el agua -
ueda ser destinada para uso humano.