# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONÓMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR LA EXPLOTACIÓN DE MANTOS ACUÍFEROS PARA AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU ZONA CONURBADA

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

ALFREDO CORTÉS OCOTITLA

**ASESOR:** MA DEL CARMEN FERNÁDEZ OROZCO

AGOSTO DE 2004

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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

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

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

**Reflexión**

Los hombres de ciencia no solamente deberán acercarse a las ciencias que se refieren al hombre sino que – y esto es mas difícil – deberán persuadir al mundo para que conozcan lo que han descubierto. Si no tiene éxito en esta difícil empresa, el hombre se auto destruirá porqué tiene una visión incompleta de las cosas.

BERTRAND RUSELL

Para contactar correo electrónico: fredcortes2002@yahoo.com.mx

## Agradecimientos

A todas las personas que más allá de preocuparse que podemos perder los recursos naturales, se ocupan en la preservación de estos en especial a los que se refieren a los mantos acuíferos. "Es muy difícil convencer acerca de una nueva cultura del uso en el recurso hidráulico". En este trabajo la satisfacción viene de la convicción de haber dejado un mundo como el nuestro, a aquellos que no conoces.

A la mujer que toma el reto de llevar la vida en un mundo de hombres, que no ve géneros sino el bien común, que se sabe bien remunerada sabiendo que el fruto de su trabajo será cosechado por las nuevas generaciones, a las ingenieras; Julia Jaramillo, Judith Hernández y Ma. Del Carmen Fernández O.

A la mujer quien es el porque, de mi filosofía, de mi crecimiento de mi experiencia, a la memoria y el recuero de mi señora madre Sra. Francisca Ocotitla de Cortés.

A los amigos que han tomado ése proyecto cuando yo creía que no había más que hacer, que cuando mi alma ha tenido una pena, también la han sentido suya, y cuando hay que tomar una decisión me han previsto de una visión imparcial de las cosas, a mi amigo ing. Omar Sauth.

A mis amigos que cuando estuve lejos del hogar me hicieron sentir en casa, porque tengo la seguridad que en los momentos de vicisitud han de estar ahí, a los ingenieros; Arturo Ávila, R. León Sánchez y Jesús Castillo.

Siempre
Alfredo Cortes Ocotitla

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: ALFREDO CORTES OCOTITLA
FECHA: 11 AGOSTO DE 2004
FIRMA:

# ÍNDICE

ÍNDICE _____ i

OBJETIVO GENERAL _____ viii

INTRODUCCIÓN _____ ix

CAPITULO I DESARROLLO HISTÓRICO DE LAS OBRAS DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO

I – 1. ÉPOCA PREHÍSPANICA _____ 1

I – 2. ÉPOCA VIRREINAL _____ 4

I – 3. ÉPOCA INDEPENDIENTE _____ 5

I – 4. SIGLO XX _____ 7

I - 4.1. INICIO DEL SIGLO XX _____ 7

I - 4.2. MEDIADOS DEL SIGLO XX _____ 10

I - 4.3. FINALES DEL SIGLO XX _____ 12

CAPITULO II UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

II – 1. UBICACIÓN (LA CUENCA EN LA GEOGRAFÍA) _____ 13

II – 2. FISIOGRAFÍA _____ 13

CAPITULO III HISTORIA GEOLÓGICA

III – 1. GEOLOGÍA _____ 17

III - 1. 1. SEDIMENTOS CALCAREOS DEL CRETÁCICO _____ 17

III - 1. 2. SEDIMENTOS TERCIARIOS _____ 17

III - 1. 3. ROCAS DEL CUATERNARIO _____ 18

## CAPITULO IV CARACTERISTÍCAS GEOHIDROLÓGICAS


**IV - 1 ACUÍTARDO Y ACUÍFERO** 24

**IV - 2 ZONIFICACIÓN GEOHIDROLÓGICA** 27

IV - 2.1. ZONA GEOHIDROLÓGICA I 27

IV - 2.2. ZONA GEOHIDROLÓGICA II 27

IV - 2.3. ZONA GEOHIDROLÓGICA III 28

IV - 2.4. ZONA GEOHIDROLÓGICA IV 28

IV - 2.5. ZONA GEOHIDROLÓGICA V 28

**IV - 3 PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO** 30

IV - 3.1. ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO 30

**IV - 4 EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO** 32

IV - 4.1. EVOLUCIÓN DEL PERIODO 1985-1995 32

**IV - 5 DEFINICIÓN DEL AGUA Y SU IMPORTANCIA PARA LA VIDA** 36

**IV - 6 CALIDAD DEL AGUA** 39

VI - 6.1. INTRODUCCIÓN 39

VI - 6.2. CLASIFICACIÓN DEL AGUA POR GRUPOS 39

VI - 6.2.1. GRUPO I 40

VI - 6.2.2 GRUPO II 40

VI - 6.2.3.GRUPO III 40

VI - 6.2.4. GRUPO IV 41

VI - 6.2.5. GRUPO V 41

VI - 6.2.6.GRUPO VI 41

**CAPITULO V DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS CIVILES QUE IMPLICAN LA EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS SUBTERRÁNEOS**

**V -1 INTEGRACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN Y REPOSICIÓN** _____ 44

V -1. 2. OPERACIÓN DE POZOS POR SISTEMA _____ 44

**V - 2 ANÁLISIS OPERACIONAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE** _____ 46

V - 2.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN _ _ 46

V - 2.1.1. ACUEDUCTOS, RED PRIMARIA Y SECUNDARIA_ 46

V-2.1.2. TANQUES, REBOMBEOS Y PLANTAS POTABILIZADORAS _____ 47

**CAPITULO VI ANÁLISIS GLOBAL DE POZOS EN OPERACIÓN Y CAUSAS DE SU CANCELACIÓN**

**VI - 1 PROGRAMAS DE REPOSICIÓN Y REHABILITACIÓN DE POZOS**_____ 49

**VI - 2 PROGRAMA DE PARO DE POZOS**_____ 51

VI - 2.1. CRITERIO PARA DETERMINAR SI UN POZO SALE DE OPERACIÓN O SE MANTIENE COMO ACTIVO EN EL SISTEMA_____ 51

VI - 2. 2. POZOS PARADOS PANORAMA GENERAL _____ 52

VI - 2.3. PROGRAMA DE PARO DE POZOS POR LA ENTRADA DE CAUDALES DE CUTZAMALA_____ 52

VI - 2.4. ANÁLISIS DEL PROGRAMA DE PARO DE POZOS_ _ 55

**VI - 3 CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL PARO DE POZOS**_____ 56

## CAPITULO VII PROBLEMÁTICA DETECTADA EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y EL ACUÍFERO


**VII - 1. FUGAS** _____ 57

**VII - 2. FENÓMENOS DE HUNDIMIENTO EN LA ZONA METROPOLITANA** _____ 57

VII - 2.1. ESPESORES Y CARACTERÍSTICAS GEOHIDRÓLOGICAS DE LAS ARCILLAS _____ 57

VII - 2.2. EZFUERZOS TOTALES NEUTROS Y EFECTIVOS _____ 58

VII - 2.3. COMPRESIBILIDAD DE SUELOS FINOS _____ 59

VII - 2.4. ANALOGÍA DE LA MECÁNICA DE TERZAGHI EN LAS ARCILLAS DEL VALLE _____ 59

VII - 2.5. HUNDIMIENTOS _____ 61

VII - 2.6. EXTRACCIÓN DEL AGUA SUBTERRANEA Y HUNDIMIENTO DEL TERRENO _____ 62

VII - 2.7. ANÁLISIS DE HUNDIMIENTOS Y SU RELACION CON LOS NIVELES PIEZOMETRICOS Y ESPESORES DE ARCILLA DEL ACUÍFERO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO _____ 63

VII - 2.8. HUNDIMIENTO MEDIO ANUAL _____ 63

**VII - 3. CAMBIOS EN EL CICLO HIDROLÓGICO EN LA ZMCM** _____ 66

VII - 3.1. MODELOS MATEMÁTICOS DE CALIDAD DEL AMBIENTE EN APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS _____ 66

VII - 3.2. RESERVAS _____ 67

VII - 3.3. BALANCE GEOHIDROLÓGICO EN EL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO _____ 68

VII - 3.3.1. ECUACIÓN DE BALANCE _____ 68

VII - 3.3.2. RECARGA HORIZONTAL AL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA _____ 68

VII - 3.3.3. LEY DE DARCY _____ 71

VII - 3.3.4. OBTENCIÓN DEL GRADIENTE HIDRAÚLICO _ 71

VII - 3.3.5 TRASMISIBILIDAD_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 72

VII - 3.3.6. CALCULO DE ENTRADAS POR FLUJO SUBTERRÁNEO _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 73

VII - 3.4. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 74

VII - 3.5. EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA_ _ _ _ _ _ _ 74

VII - 3.6. CALCULO DE LA RECARGA POR DRENADO VERTICAL_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 76

VII - 3.7. RECARGA TOTAL_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 76

VII - 3.8. EXPLOTACIÓN_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 76

VII - 3.9. NIVELES DE EXPLOTACIÓN_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 76

**VII - 4. LAS LÓGICAS DE LA EXPANSIÓN Y LA MOVILIDAD URBANA**

VII - 4. 1. ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS APLICADAS EN LA SUSTITUCIÓN DE CAUDALES_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 78

VII - 4.2. OFERTA-DEMANDA EN EL DISTRITO FEDERAL PARA EL AÑO 1995-2010_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 80

**CAPITULO VIII LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD**

**VIII - 1 EL MARCO LEGAL DE LA GESTIÓN AMBIENTAL**_ _ _ _ _ _ _ 81

**VIII - 2 LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE**_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 82

**VIII -3 LEY Y REGLAMENTO DE AGUAS NACIONALES**_ _ _ _ _ _ _ _ 83

**VIII - 4 NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE USO Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRÁULICO**_ _ _ _ _ _ _ 84

**CAPITULO IX EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO EN LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO HIDRÁULICO SUSTENTABLE**

**IX - 1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL** 85

**IX -2 TÉCNICAS DE PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN** 86

**XI - 3 TIPO DE ESTUDIO** 88

**XI - 4** ESTUDIO DE IMPACTO EN EL SUBSISTEMA ACUIFERO CIUDAD DE MÉXICO 89

IX – 4.1. DESARROLLO DE LA PRIMERA ETAPA 89

IX – 4.2. DESARROLLO DE LA SEGUNDA ETAPA 89

IX - 4.2.1. PRIMERA FASE 89

IX-4.2.1.1. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES QUE PROVOCAN IMPACTOS 89

IX-4.2.1.2. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EXISTENTES 90

IX-4.2.2. SEGUNDA FASE: ESTIMACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A METODOS MATRICIALES 94

IX-4.2.2.1. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES 94

IX-4.2.2.2. MATRIZ CAUSA-EFECTO CON RESULTADOS CUALITATIVOS 99

IX-4.2.2.3. MATRIZ DE IMPACTOS SUBSECUENTES 101

IX-4.2.2.4. MATRIZ DE COMPONENTES AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO Y SU ZONA GEHIDROLÓGICA 103

IX-4.2.2.5. MATRIZ DE PROBLEMÁTICA DE EXPLOTACIÓN 107

IX-4.2.3. TERCER FASE: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES AL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO _____ 109

IX-4.2.3.1. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES _____ 109

IX-4.2.3.2. MATRIZ CAUSA EFECTO CON RESULTADOS CUALITATIVOS _____ 111

IX-4.2.3.3. MATRIZ DE IMPACTOS SUBSECUENTES _____ 112

IX-4.2.3.4. MATRIZ DE COMPONENTES AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO Y SU ZONA GEHIDROLÓGICA _____ 113

IX-4.2.3.5. MATRIZ DE PROBLEMÁTICA DE EXPLOTACIÓN _____ 116

**CAPITULO X MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN**

**X - 1 INTRODUCCIÓN** _____ 117

**X - 2 ACIONES BILATERALES CIUDADANÍA - GOBIERNO** _____ 118

**X - 3 ACCIONES GUBERNAMENTALES** _____ 120

X - 3. 1. RECARGA ARTIFICIAL AL ACUÍFERO _____ 120

X - 3. 2. APROVECHAMIENTO DE NUEVAS FUENTES DE EXPLOTACIÓN A PARTIR DE EVALUACIONES DE IMPACTO _____ 126

X - 3. 3. IDENTIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE NUEVOS ACUÍFEROS _____ 128

X - 3. 4. CONSOLIDACIÓN Y APLICACIÓN DEL MARCO JURÍDICO _____ 129

X - 3. 5. PRIVATIZACIÓN DEL RECURSO Y FIN DEL SUBSIDIO _____ 130

**EVALUACIÓN GENERAL DE IMPACTOS AMBIENTALES AL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO (CONCLUSIÓN)** _____ 132

**BIBLIOGRAFÍA** _____ 136

## OBJETIVO GENERAL

El objetivo del presente trabajo, es conocer el comportamiento del sistema acuífero mediante el "ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR LA EXPLOTACIÓN DE MANTOS ACUÍFEROS PARA AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU ZONA CONURBADA". Basándonos en la interrelación que existe entre la teoría de impacto ambiental y el sistema ecológico.

Desde la conquista española en 1520 se ha sometido el uso de los recursos naturales de la Cuenca de México a los intereses de la sociedad y en nuestro propio beneficio.

Nuestra Ciudad como centro de desarrollo del país enfrenta hoy los problemas que aquejan a las sociedades industrializadas (contaminación grave del aire, detrimento en las características del suelo y escasez de agua potable). Se corre el riesgo que en el mediano plazo, se reduzcan los beneficios esperados por las inversiones de manufactura, debido a la sobre explotación de los sistemas naturales, Lo anterior nos lleva a la acentuación de los problemas que viven las sociedades en vías de desarrollo (perdida de sistemas naturales ecológicos irrecuperables, hacinamiento en la ciudad y las poblaciones periféricas a la misma, encarecimiento del sistema de vida en la parte central y periférica, problemas de salud por modificación en los patrones de consumo de recursos etc.).

El conocimiento de este comportamiento cobra relevancia ya el agua subterránea constituye una importante fuente de abastecimiento de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Los resultados obtenidos nos permiten la administración del recurso de forma sustentable, manteniendo el equilibrio dinámico que sucede entre la sociedad y la naturaleza.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de éste trabajo se sustenta en los estudios realizados por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) durante los años de 1995 y 1996, los cuales se consideran actuales para el presente año de 2004 ya que el ritmo de explotación ha sido el mismo.

A partir de lo anteriormente descrito el trabajo queda integrado de la siguiente manera en el capítulo uno se habla sobre la evolución de la explotación en los acuíferos del Valle de México en relación con las actividades humanas, en el capítulo dos se justifica la importancia que guarda la cuenca de la Ciudad de México, con el resto del país, así como su localización geográfica.

En los capítulos tres y cuatro se tratan las características del entorno natural, para así poderlo aplicar a la evaluación de impactos donde posteriormente es utilizada como una importante herramienta para el estudio de las medidas de prevención y mitigación

En los capítulos cinco y seis, se efectúa el análisis de la infraestructura existente, para el conocimiento de su eficiencia así como el análisis de las políticas de operación y estrategias generales para el manejo de los sistemas en la explotación subterránea.

En el capítulo siete se efectúa una evaluación del estado actual en el acuífero y su entorno identificándose la problemática y las causas que originan la explotación

Una vez conocida la infraestructura y los medios que se tienen para su preservación en el capítulo ocho se habla sobre la evolución de una legislación y normatividad existente, así como leyes y reglamentos que hacen viable su recuperación.

Discernidos los estudios mencionados anteriormente, en el capítulo nueve se aplican estos a métodos matriciales de impacto conformando las diferentes matrices que permitan un análisis objetivo, siguiendo un lineamiento que va de la evaluación de los impactos generales hasta enfocarnos de forma específica a los cambios físicos en el sistema acuífero, que ya se hayan presentado o se tenga el riesgo de su presencia, de esta forma se estudia la interrelación que sucede entre estos y las acciones que los originan, de igual forma se analiza la interrelación de las distintas zonas gehidrológicas en los cambios físicos, coadyuvando a nuestro objetivo principal, el de sustentar la evaluación de impacto como instrumento en la planificación del recurso hidráulico.

A partir del espectro más amplio de impacto obtenido en las evaluaciones en el capítulo diez se determinan las medidas de prevención y mitigación que hagan posible que en las generaciones futuras no recaiga los efectos de nuestro ritmo de explotación, y que pueda ser sustentable el desarrollo de la Ciudad de México.

# I DESARROLLO HISTÓRICO DE LAS OBRAS DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO.

## I -1. EPOCA PREHISPANICA

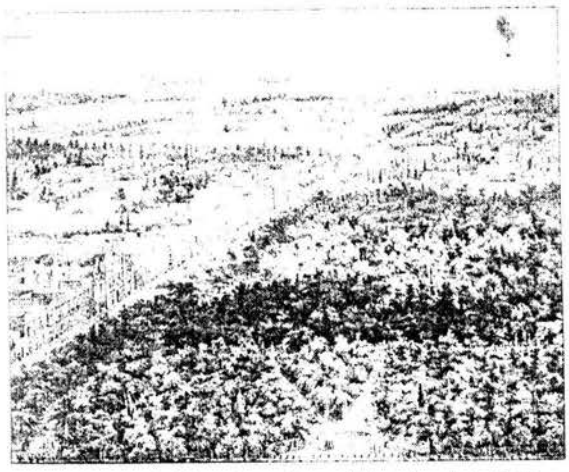
Dentro de la Cuenca en la zona sur y en la parte topográficamente mas baja del Valle se localiza el Distrito Federal y su área conurbada, en este lugar se alojaron los grandes lagos alimentados con el flujo de los manantiales y con el aporte de los ríos (se estima 400 millones de $m^3$ al año), se cubría una extensión aproximada de 1,575 $km^2$. (figura I 1)

A la llegada de los Aztecas en 1267 y una vez liberados del Señor de Azcapotzalco en 1428, ampliaron el islote donde se cumplió la profecía de su Dios, el surgimiento de la ciudad sucedió con la acumulación de lodo y piedras sobre balsas de junco que se hundían hasta sobresalir del espejo de agua, formándose así una isla artificial, con canales dentro de ella y terraplenes sobre su perímetro.

Los aztecas atendieron la demanda de agua para consumo humano, por medio del acarreo en chalupas, después, en 1466, entra en funcionamiento un acueducto de pasto y carrizo, sostenido por estacas y piedras que suministraba el agua desde Chapultepec hasta el templo mayor, se tiene conocimiento de otras obras de este tipo como la de Churubusco y la de Azcapotzalco a Tlatelolco, el acueducto de Coyoacán a Tenochtitlan.

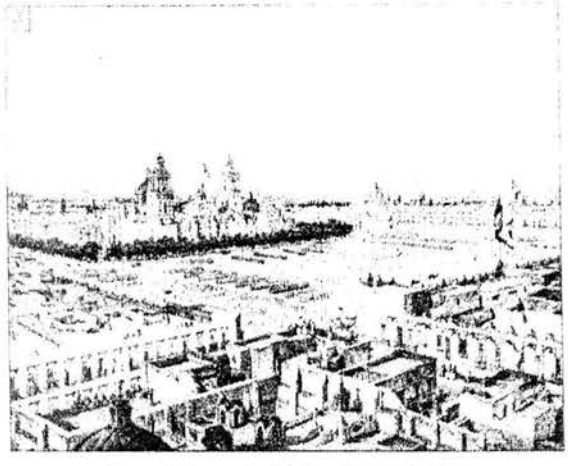
Como obras complementarias se construyo el dique de 16 km que iba del cerro de Atzacoalco en la Sierra de Guadalupe al cerro de la Estrella en Iztapalapa, éste tenía el propósito de resguardar a la Ciudad en tiempo de lluvias y de regular los niveles de los lagos, el de México, de agua dulce y el de Texcoco de agua salobre, impidiendo que estas se mezclaran.

FIG I 1 LOS RÍOS Y MANANTIALES QUE ALIMENTABAN LOS LAGOS DEL VALLE



*La Alameda de Mexico* (tomada en globo), decada de 1850.

Unidad Habitacional Tlatelolco, decada de 1990.



*Plaza de Armas de Mexico*, decada de 1850.

Aeropuerto de la ciudad de Mexico, decada de 1990.

*El Valle de Mexico* (desde Chapultepec), decada de 1850.

Avenida Ignacio Zaragoza, decada de 1990.

FIG I.1 (NOMENCLATURA DE FOTOGRAFIAS EN EL VALLE)

## I - 2. ÉPOCA VIRREINAL

Al conquistar la gran Tenochtitlan el 13 de agosto de 1521, los españoles abrieron tajos en los diques para dar paso a las embarcaciones y casi destruyeron los acueductos para sitiar la ciudad.

A principios del siglo XVII, el centro de la capital se abastece por medio del acueducto nombrado la Tlaxpana con 900 arcos y una longitud de 6.5 km y que consistía en una arquería doble; por la parte superior corría el agua de Santa Fe y por la interior la de Chapultepec, para las poblaciones cercanas a la capital se aprovechan los manantiales de Coyoacan, Acuecuexco, el Desierto de los Leones y Cuajimalpa, así como el río Tlanepantla

Del agua que llegaba por los acueductos para el servicio doméstico, se surtían solamente las casas principales, algunos, conventos y edificios públicos. La mayor parte de los habitantes la obtenían por medio de los aguadores, quienes la transportaban de las fuentes o pilas (simples receptáculos de mampostería) en depósitos o tinajas de barro, en sus tinajeras a lo largo de las acequias

Por otra parte después de una larga sequía en 1555, se presenta una inundación, esto obliga la construcción de nuevos diques como el albarrón de San Lázaro, para controlar el nivel del lago de Texcoco, otro dique es el que divide el lago de San Cristóbal que se utiliza como camino al Tepeyac en el norte de la ciudad. En 1607 se plantea llevar el desagüe de los lagos, comenzando con la ampliación de los terraplenes para el paso de carreteras y más tarde la construcción de rellenos para la edificación de viviendas. Así se transformó, en poco tiempo la ciudad y su entorno.

En 1806 se inicia el desagüe, por la parte de la laguna de San Cristóbal Ecatepec, pueblo de Huehuetoca y el sitio nombrado de Nochistongo, desviando el río Cuautitlan hacia el de Tula ayudando al control del lago de Zumpango, posteriormente debido a derrumbes irreparables el túnel es convertido a un corte a cielo abierto. (fig. I 2)

## I - 3. ÉPOCA INDEPENDIENTE

Ante las enormes ventajas que ofrecen las tuberías de fierro fundido, fueron sustituidos los acueductos por ductos subterráneos y para el caso de la caja de distribución la Mariscala en 1852, se instala una bomba para la distribución, sin llegar a ser suficiente.

Estas obras de modernismo en nada alivia el abasto, pues el problema real es que el volumen era cada vez más escaso. En 1878, ante la gravedad de la escasez y amparándose en la Ley de Expropiación de Agua, se incrementa la explotación de los manantiales del Desierto de los Leones. Sin embargo al no ser suficientes los manantiales de los ranchos circunvecinos se importa agua de los llanos de Salazar, iniciándose las importaciones de otra cuenca.

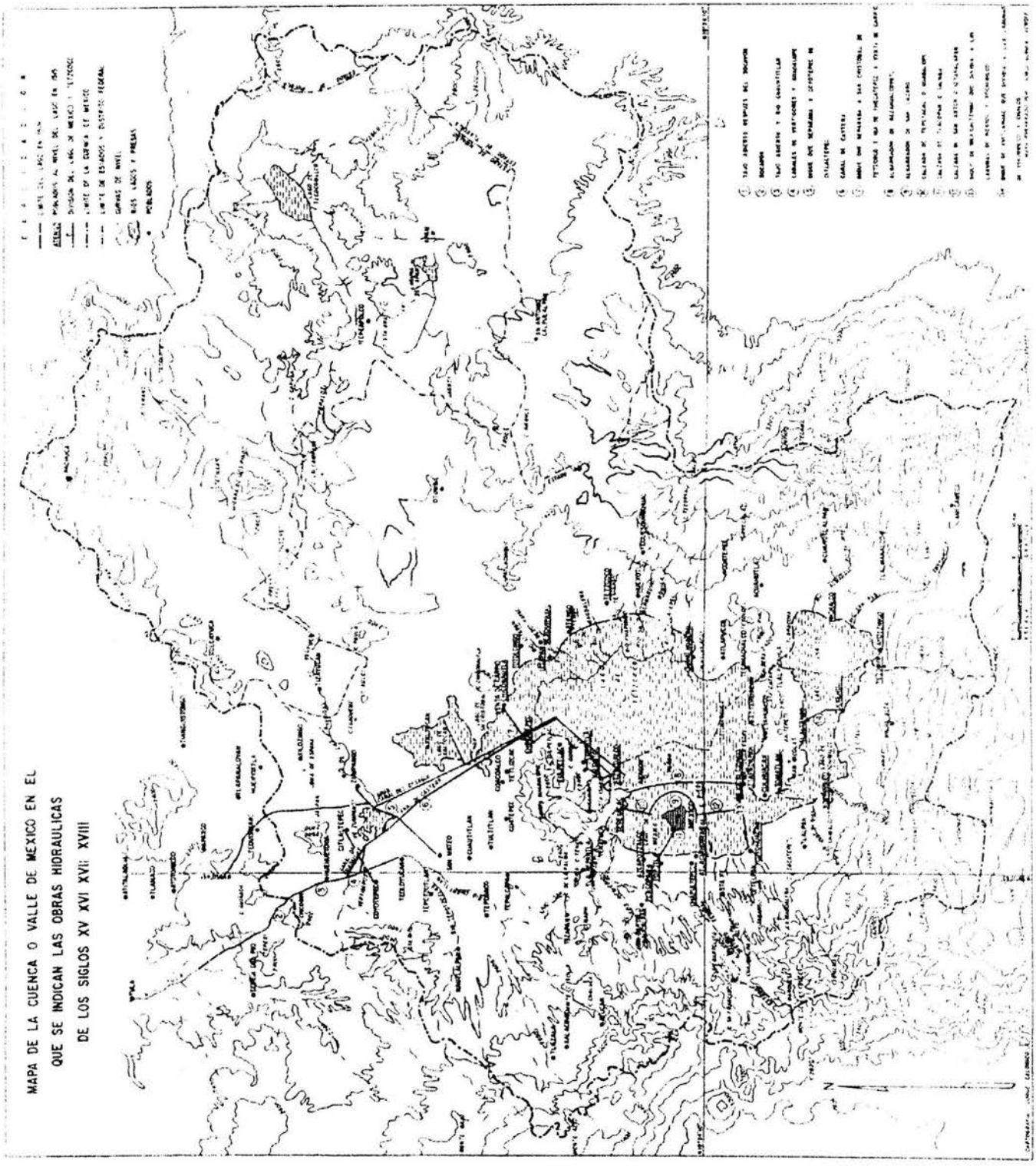
Esta disminución del volumen radicaba, en el aumento de la población, y a una excesiva deforestación, comenzando de esta manera la proliferación de pozos domésticos urbanos.

En 1819 a causa de una lluvia extraordinaria se convirtió la ciudad otra vez en lago, de inmediato se reforzaron bordos, diques y calzadas, además de desazolvar los canales.

A principios del siglo XIX se puso en práctica trazar una red de atarjeas sin ningún proyecto preconcebido, funcionando de muchas formas, menos para el propósito con el que habían sido creadas, se descarga en el lago de Texcoco cuya única salida era la evaporación, la principal razón de las inundaciones era la falta de desagüe en dicha cuenca.

En 1856 se abre el canal de Garay, proyecto denominado "regulación en la capital y las poblaciones vecinas para siempre libres de inundación", cuya infraestructura descargaba en el río Tequixquiac reuniéndose con el Tula de esta forma converger con el Panuco para terminar en el Golfo de México, obra que se termina en 1902. (fig. I 2)

FIGURA I 2


MAPA DE LA CUENCA O VALLE DE MEXICO EN EL
QUE SE INDICAN LAS OBRAS HIDRAULICAS
DE LOS SIGLOS XV XVI XVII XVIII

## I – 4. SIGLO XX

### I - 4.1. INICIO DEL SIGLO XX

En 1900 al desarticularse las tuberías provenientes de Chapultepec por siniestros ocurridos, se restringen las tomas de agua para uso industrial los niveles de agua subterránea también empiezan a bajar. En 1901 la ciudad contaba con 107,575 m de cañería de diversos diámetros para 6,532 casas un caudal de 570 l/s y 1,132 pozos; el agua del manantial de Chapultepec se eleva por bombas a los estanques en la zona de Dolores, desde donde se distribuía al resto de la urbe.

Sin embargo, se incrementan las demandas y con esto la política de comprar agua de los ranchos circunvecinos trayendo como consecuencia suministro de agua no potable. Es de esta manera como el Consejo Superior de Salubridad en 1902, analiza la potabilidad del recurso en los pozos que abastecían a la Ciudad. Un total de 1,376 pozos propios con un caudal de 362 l/s, y los pozos externos que aportaban un caudal promedio de 500 l/s para hacer un total de 862 l/s. Para este año ya se tiene 108.501 m de tuberías de diámetros diversos.

La demanda en dos años aumenta un 80% haciéndose necesario el incremento de la explotación de agua subterránea por medio de pozos iniciándose así la aceleración en la captación y distribución.

Hasta 1913 se habían concluido los proyectos para los manantiales de Xochimilco, con una captación de 2,000 lts/seg, las plantas de bombeo para cada uno de los manantiales la Noria, Nativitas, Santa Cruz, Acalpixtla y San Luis Tlaxialtemanco: con una capacidad de bombeo de 300 l/s, para Nativitas y 600 l/s para cada una de las tres restantes dando un total de 2,100 l/s, también se contaba con cuatro tanques de reserva de 50,000 $m^3$ cada uno.

El acueducto principal se concluye en 1908 sus características fueron concreto hidráulico armado con metal desplegado su longitud total es de 33,155 m en dos tramos, uno de sección circular de 1.40 m de diámetro y 6,455 m de longitud, y otro de sección ovoide, con una sección transversal equivalente a un diámetro de 1.90 m y una longitud de 26,700 m.

Debido a la convulsión revolucionaria, en esta época numerosas familias se asientan en la cuenca con la posibilidad de mejora, su nivel de vida. De esta forma, en 1926 el tiempo de servicio se incrementa en 18 horas, con un caudal de 2.5 $m^3/s$ para un millón de habitantes.

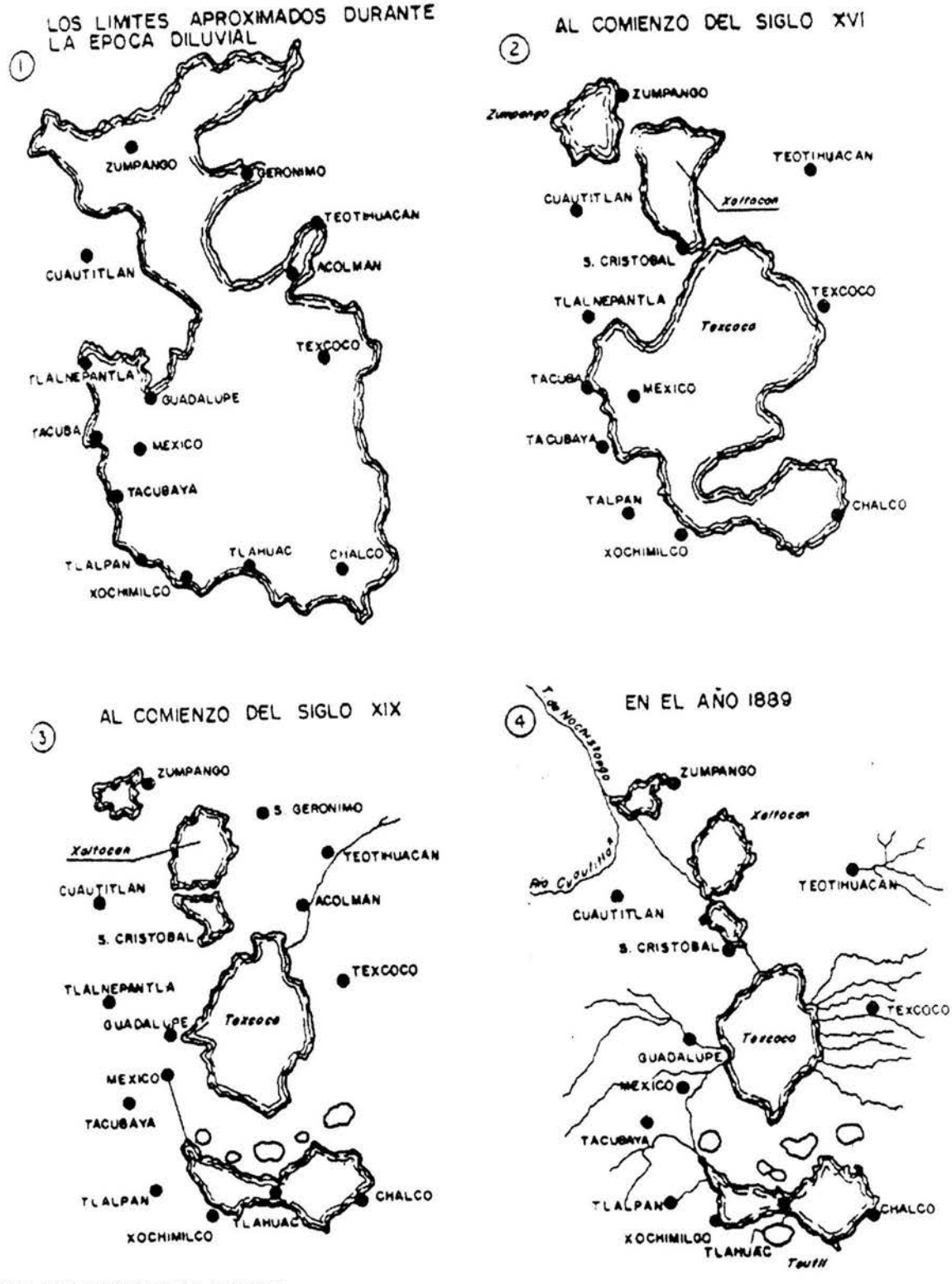
Hacia 1927 el servicio de aguas estaba dividido en dos secciones; la exterior o sea de captación y conducción y la interior, de distribución urbana, en la cual se colocaron 4,956 m de tuberías de distintos diámetros. Para este año la ciudad recibía 2.5 $m^3/s$ para una población de un millón de habitantes, es decir, 216 l/h/d.

Para 1932 se presentaron graves deficiencias en el abasto hidráulico debido a la heterogeneidad en las instalaciones, desde las captaciones hasta la distribución; las fuentes de captación estaban muy diseminadas, y de los 100 km de acueductos, unos operaban por gravedad y otros por bombeo, lo que complicaba el sistema, provocando un servicio deficiente en cantidad y calidad

El 25 de Septiembre de 1933 la nueva entidad federativa crea la Dirección de Aguas y Saneamiento (DAS)[1], con objeto de atender el servicio de agua potable y saneamiento.

Debido al crecimiento desmesurado de la ciudad en cada población anexada a esta se construyen nuevas redes de distribución. Sin embargo al no disminuir la demanda de vivienda en las Delegaciones, Gustavo A. Madero, Tlalpan, Xochimilco, Tlahuac y Milpa Alta se acelero la desecación del suelo de la cuenca del Valle de México, ocasionando la impermeabilización del terreno y las evoluciones negativas en el nivel de agua subterránea, por lo que hubo necesidad de pozos cada vez mas profundos a fin de captar mantos abundantes hasta entonces no explotados (fig. I 3).

(1) Dirección de Aguas y Saneamiento (DAS)




POR: ELIZABETH SCHLING KIEL

SECUENCIA DEL SECADO DE LOS LAGOS

FIGURA I 3

## I - 4.2. MEDIADOS DEL SIGLO XX

De forma paralela al proyecto de Lerma, se continuaron las obras para surtir agua a los pueblos circunvecinos y a las colonias de la ciudad de México. En realidad el mayor volumen se obtenía de los manantiales de Xochimilco con una extracción de 3000 l/s, y pérdidas del 33% a la entrada a la capital.

También era necesario aumentar la presión del agua proveniente de los manantiales de Xochimilco y de los pozos perforados en el sureste del Distrito Federal, para lo cual se pensó en la planta de bombeo Xotepingo con una capacidad de bombeo de 7.5 $m^3$/seg. Y una carga dinámica total de 64 m elevaba el agua de los manantiales hasta los tanques de dolores. Obra que entro en funcionamiento en 1939.

El 4 de septiembre de 1951 se pusieron en operación oficialmente las obras del Lerma, proporcionando 4 $m^3$/seg en su primera etapa. La altura del Valle de Toluca permitía que por gravedad se abasteciera a todas las regiones del Distrito Federal. Para ello se calculó un caudal inicial de 6 m3 /s. Para llegar a un total de 14 $m^3$/s, lo suficiente para cubrir la demanda de 2,800.000 habitantes, con una dotación diaria de 430 l/hab. El trayecto, presento una ventaja: tres caídas de doscientos sesenta metros, que podrían general 16 mil caballos de fuerza, y abastecer por gravedad y presión a lugares hasta 100 m arriba del centro de la ciudad de México.

A pesar de todos los esfuerzos, y dado que el Distrito Federal tenia en 1952 una población de 3,460,000 habitantes, y contaban con un caudal de agua potable de 13.1 $m^3$/seg, únicamente el 50% de la masa urbana tenia servicio domiciliario, suministrado por la red publica de distribución, el resto se surtía con hidrantes públicos o pipas.

Ante la preocupación de que el nivel friático se abatía cada año, y el avance del hundimiento de la capital sucede en forma vertiginosa, se plantea el tratamiento de agua de los lagos de Xochimilco, Tláhuac y Texcoco, y se clausuro de cerca de 2,000 pozos artesianos en predios particulares que extraían 1.2 $m^3$/s; así mismo, se adopto la tendencia de impedir nuevas perforaciones de pozos.

En 1954 se prevé la captación en subcuencas como la de Chiconautla, proyecto concebido en tres ramales, donde se perforaron 40 pozos con una profundidad media de 150 m para proporcionar un volumen igual a 3.3 $m^3$/s. En 1956 finalizaron las obras del sistema Chiconautla[1]; contaba con el equipo para tratar el agua antes de distribuirla. Con ello se beneficiaría la zona norte del orbe.

( 1 ) La explotación en el acuífero de Lerma y el subsistema Chiconautla así como el incremento en la zona de Xochimilco, se hizo para evitar los hundimientos en base a las demostraciones del Dr. Nabor Carrillo.

En 1957 se inició el sistema denominado Chimalhuacán - El Peñón, localizados en las inmediaciones del cerro del Peñón Viejo. Con nueve pozos para un gasto de 0.5 $m^3/s$. Este sistema apoyaba a 125,000 habitantes, alojados en 20 colonias del oriente del Distrito.

En 1964 la población del Distrito era aproximadamente 5,800,000 habitantes que en conjunto consumía un caudal de 22.2 $m^3/s$ o sea 331/litros/habitante/día, con una cobertura del servicio de agua potable de el 86%.

Para 1972 la CAVM[1], plantea la importación del Excedente de Cuencas aledañas, se estudiaron las cuencas de los ríos Cutzamala, Tecolutla y Amacuzac. Paradójicamente en 1973 una sequía extrema obliga a los campesinos del Valle de Lerma, a tomar para el riego de temporada, agua de su mismo sistema, abatiendo notablemente los caudales que entraban a la Ciudad, como medida compensatoria se les paga sus cosechas y se perforan 45 pozos y trabajos de bordería para la retención de la lluvia, por algún tiempo tuvieron la captación de 14 $m^3/s$.

En 1974 se celebró un convenio con la CAVM para encargase de las nuevas previsiones en toda la cuenca. Inició esta Comisión entregando 1 $m^3/s$ de agua del sur en 1973 y 6 $m^3/s$ de aguas del norte en 1978.

En 1978 se fusionan las DAS y la DGOH, para crear la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH)[2], con el objeto de organizar y proporcionar los servicios hidráulicos que requería el Distrito Federal.

La mejor alternativa para la importación de excedentes fue la cuenca del Cutzamala, ofreciendo la operación técnica, social y económica más viable; de esta forma, el Sistema Cutzamala se proyectó en tres etapas, la primera para terminarse en 1982, contaría 4 $m^3/s$ de la presa Villa Victoria; la segunda, con límite en 1988, contaría 6 $m^3/s$ de la presa Valle de Bravo y finalmente la última, programada para concluirse en 1993, tomaría del vaso Colorines 8 $m^3/s$ y, al principio considerada como reserva, 1 $m^3/s$ de la presa Chilesdo, para completar 19 $m^3/s$. Además se dispusieron en compensación 2 $m^3/s$ para las zonas aledañas a las captaciones y del trazo del acueducto, pero en el estado de México.

Con nueva política de optimización del recurso la política orientada era, la sustitución y rehabilitación de pozos, para ello se efectuó una perforación promedio de 250 m, procurando que los efectos de la sobre explotación fueran similares para cada una de las áreas de influencia.

(1) Comisión de Aguas del Valle de México (C A V M)
(2) la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH)

Con el objetivo de mejorar la distribución en las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez y Coyoacan, se construye la nueva planta Xotepingo, en 1986 empieza la construcción del túnel Ramal Sur y obras complementarias, con objeto de mejorar los caudales del sistema Cutzamala y de las futuras fuentes de abastecimiento externas al valle de México.

Dicho ramal se localiza al poniente de la Capital; es de 4 m de diámetro y 11 km de longitud, entre el portal San José, en la Delegación Cuajimalpa y el Cerro del Judío, en la Delegación Magdalena Contreras; forma parte del Acueducto Periférico o Acuaférico.

En el marco del programa de desarrollo de tecnología, se construyo la planta piloto Santa Maria Aztahuacán, en Iztapalapa, para experimentar procesos no convencionales en la potabilización de agua subterránea de deficiente calidad, parámetro que contribuyó a definir la ingeniería básica para plantas potabilizadoras además, se construyo el Laboratorio de Ingeniería Experimental, que con la SECOFI elaboró las Normas Oficiales Mexicanas, NOM para la reducción de gastos en muebles sanitarios.

## I - 4.3. FINALES DEL SIGLO XX

La infraestructura de agua potable en operación en 1996 está compuesta básicamente por 847 pozos y 47 manantiales que surten 35 $m^3$/seg; 253 tanques de almacenamiento y regulación, con capacidad conjunta de aproximadamente 1.57 millones de $m^3$; 490 km de líneas de conducción y 183 plantas de bombeo; 690 km de red primaria, con diámetros entre 0.50 y 1.23 m; mas de 10,000 km de red secundaria, con diámetros hasta de 0.50 m; 16 plantas potabilizadoras, de las cuales 12 son a pie de pozo, 356 dispositivos de cloración; y 23 estaciones instrumentadas para la medición en tiempo real del agua recibida en bloque.

## II UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### II -1. UBICACIÓN (LA CUENCA EN LA GEOGRAFÍA)

En el altiplano mexicano, aproximadamente a unos 2,240 m sobre el nivel del mar, se encuentra una depresión conocida con el nombre del Valle de México, lugar donde se ubica el Distrito Federal y su zona conurbada.

En esta zona se asienta una población que hoy en día supera los 21.0 millones de habitantes. Representa el centro económico más importante del país, situación que provoca una demanda de agua potable siempre creciente, originándose a través de los años una severa explotación.

El "Valle de México" es en realidad una Cuenca cerrada o endorreica, y su forma puede semejarse a una elipse, cuyo eje mayor de NE a SE mide 110 km, y el menor de NW a SE, una longitud de 80 km (figuras II 1 y II 2). Tiene una extensión superficial de 9,600 $km^2$ y esta situada en el borde sur de la mesa Central, entre las latitudes N 19° 03′ 53′′ y 20° 11′ 09′′ y las longitudes 98°11′ 53′′ y 99° 30′ 24′′ al W de Greenwrch.

### II - 2. FISIOGRAFÍA

Una cadena de altas montañas constituye el enorme muro que rodea la cuenca. Al SE se encuentra la Sierra Nevada, enmarcada por el Popocátepetl y el Iztacihuatl de 5,438 y 5,286 m. s. n. m. La Sierra Nevada se liga hacia el S con la del Chichinautzin y la del Ajusco.

El cordón montañoso de proyecta al SW con las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, y sigue al NW la Sierra de Tepotzotlán para cerrar el asombroso anfiteatro al N con las sierras de Tezontlalpan y Tolcayuca, así como por las eminencias geográficas de la cercanía de Pachuca.

En la planicie, al W y con dirección N a S. se proyecta una pequeña sierra que de hecho separa una porción del Valle de México, constituyendo la subcuenca de Ápan, en la que se localiza la laguna del mismo nombre.

Diseminadas en el interior de la cuenca se encuentran otras formaciones orográficas como la sierra de Guadalupe, al N de la ciudad de México, cuya altura mayor, el Cerro del Sombrero (3,000 m), marca el extremo N del Distrito Federal.

Al E de la cuenca se encuentra la sierra de Santa Catarina y la Caldera, así como las moles del Volcán de Xico y el Cerro de Pino, en el área de Chalco. (fig. II 3 ).

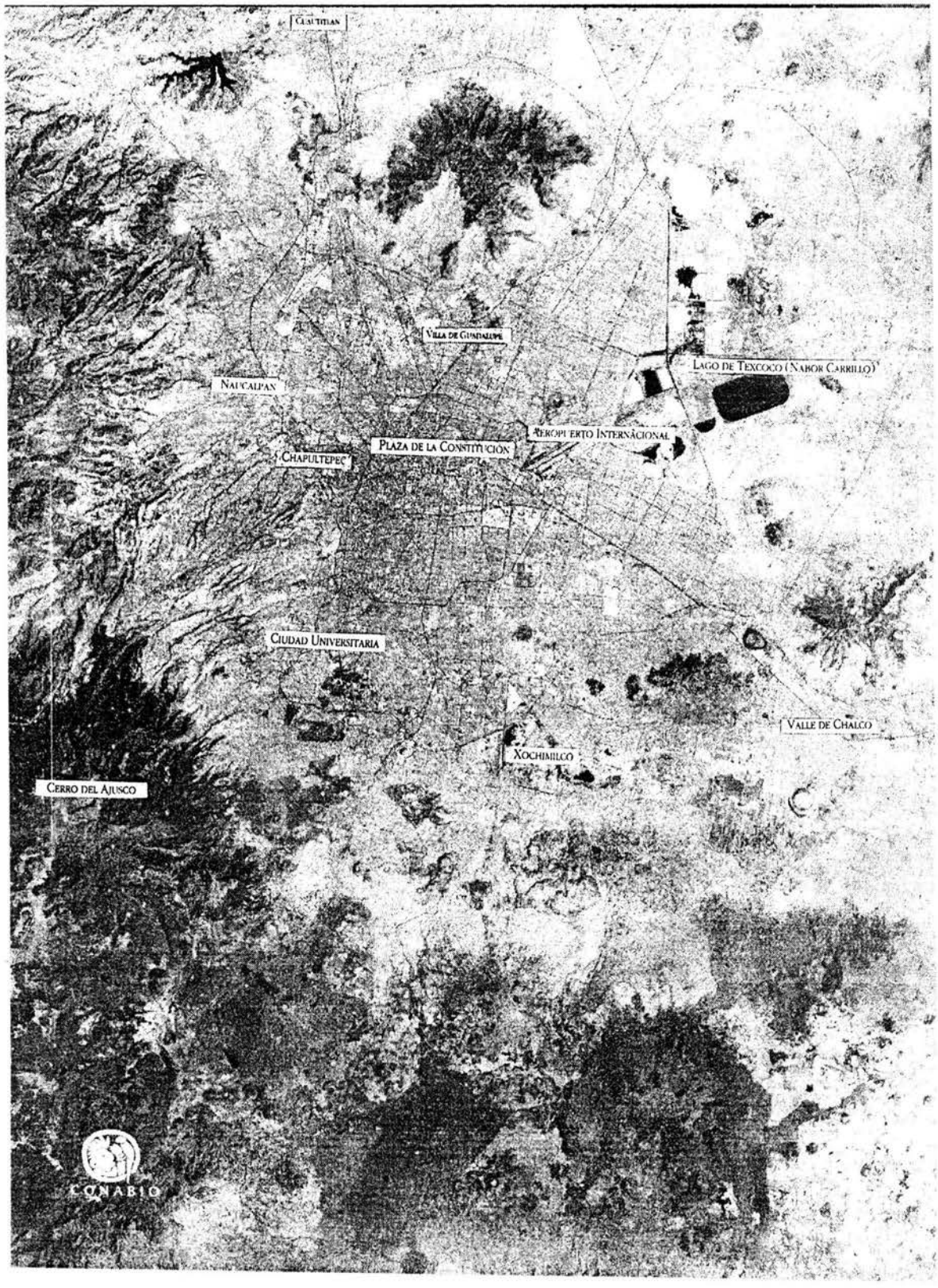



FIGURA II 1 La Cuenca de México (zona sur), 21 de marzo del 2 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (2 003) "Ciudad de México en imagen de satélite" fuente "Arqueología Mexicana" Septiembre 2004

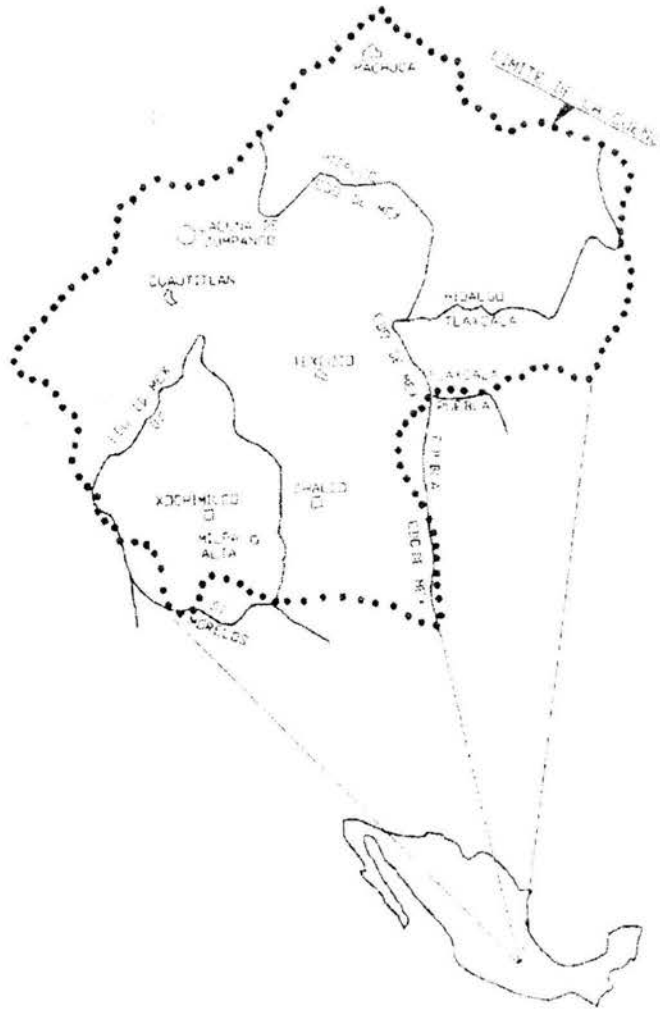


FIGURA II 2
ENTIDADES
FEDERATIVAS
DENTRO DE LA
CUENCA

Las siguientes entidades federativas tiene jurisdicción en la Cuenca

| | Km2 | % | Número de municipios |
|---|---|---|---|
| Estado de México | 4,800 | 50.00 | 49 |
| Estado de Hidalgo | 2,540 | 24.46 | 19 |
| Estado de Tlaxcala | 840 | 8.75 | 9 |
| Estado de Puebla | 100 | 1.04 | 2 |
| Distrito Federal | 1,320 | 13.75 | 16 |
| | 9,600 | 100.00 | 85 |

FISIOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

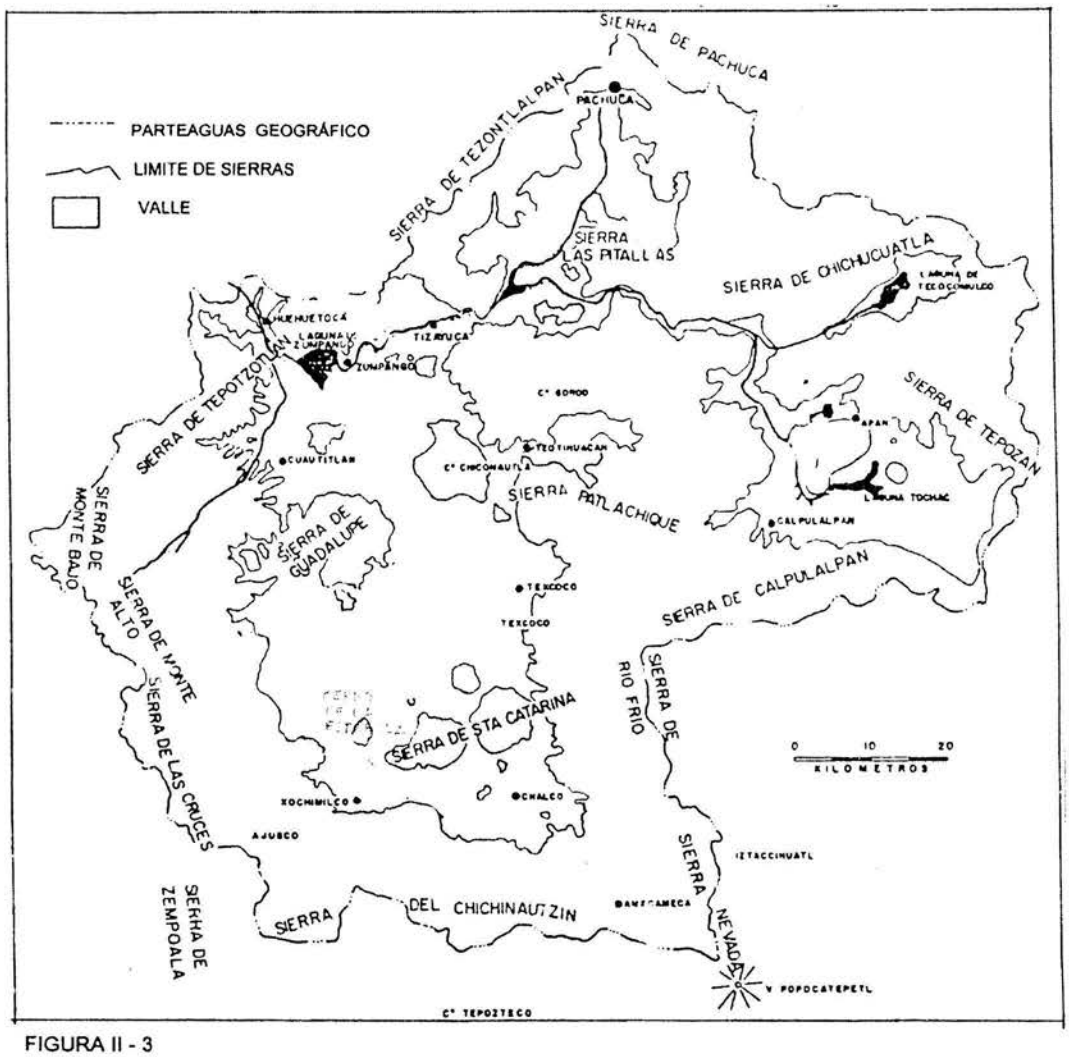



FIGURA II - 3

## III HISTORIA GEOLÓGICA

### III – 1 GEOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico (fig III 1), caracterizada por existir en ella numerosos volcanes que han dado origen a sierras volcánicas y cuencas lacustres.

El Valle de México se encuentra limitado al oeste por sierras andesíticas terciarias (Sierra de Las Cruces); al sur por basaltos cuaternarios (Sierra de Chichinautzin); al norte por rocas volcánicas terciarias (Sierra de Guadalupe); hacia el noreste se abre una planicie lacustre (Ex-lago de Texcoco) y en la porción central-este se encuentra una sierra de basaltos cuaternarios (Cerro de la Estrella y Sierra de Santa Catarina): El valle, está formado por los sedimentos arcillosos de los antiguos Lagos de Texcoco, México y Chalco. (figura III 2)

El valle está formado por sedimentos lacustres que sobreyacen a aluviones y basaltos que forman en conjunto un paquete de materiales de varios cientos de metros de espesor. A profundidades del orden de 1600 - 2000 m, se ha detectado, mediante perforaciones, rocas sedimentarias marinas del Cretácico.

### III – 1.1. SEDMENTOS CALCAREOS DEL CRETÁCICO

Las rocas más antiguas corresponden a sedimentos calcáreos marinos de edad Cretácica, las cuales han sido encontrados a profundidades de entre 1600 y 2000 m. En la figura III. 3 se muestran los cortes litológicos de dichos pozos.

Las rocas calcáreas han sido correlacionadas con los sedimentos cretácicos que afloran en el Estado de Morelos, estas son muy permeables al flujo subterráneo, sin embargo las rocas calcáreas marinas detectadas al rededor de 1 600 a 2 000 m, se desconoce a ciencia cierta su capacidad, sin embargo se infiere su alta mineralización.

### III – 1. 2. SEDIMENTOS TERCIARIOS

Sobre los sedimentos cretácicos se encuentra una alternancia de productos volcánicos y aluviales que alcanzan espesores de alrededor de 2 000 m.

Las rocas aflorantes más antiguas que forman el Valle de México, consisten en rocas volcánicas y material granular del Terciario. Estas forman las sierras del norte, este y oeste. Dentro de la secuencia volcánica terciaria, (F. Mosser, 1974) se distinguen volcanitas del Mioceno constituyendo a lo que se denomina como Sierras Mayores Tmv (figura III 2) , así como la Formación Tarango Tpt constituida.

por tobas, aglomerados, depósitos fluviales, delgadas capas de pómez, horizontes de cenizas y arenas, y en algunos sitios intercalaciones de lahares y materiales lacustres, las cuales han sido asignadas al Plioceno inferior. Culmina la secuencia terciaria con lavas y piroclástos que forman los principales conos volcánicos y su contorno.

### III – 1. 3. ROCAS DEL CUATERNARIO

Sobre los depósitos mencionados, se encuentran productos volcánicos y aluviones, todos ellos de edad Cuaternaria, constituyendo la mayor parte de los afloramientos y forman los acuíferos que son explotados en el Valle.

Emisiones volcánicas del cuaternario cerraron la cuenca del Valle de México, la que antes de esta época drenaba hacia el sur. Los productos volcánicos dieron origen a la Sierra del Chichinautzin con el emplazamiento de numerosas lavas y piroclástos expulsados a través de un gran número de conos volcánicos (figura No. III.4 ). En este periodo geológico se formó la Sierra de Santa Catarina.

Antes y durante el cierre hidrológico del sur por los volcanes de la Sierra del Chichinautzin, se depositaron aluviones intercalados con corrientes de lava. El cierre de la cuenca formó grandes lagos que propiciaron el depósito de materiales finos que actualmente funcionan como acuítardo.

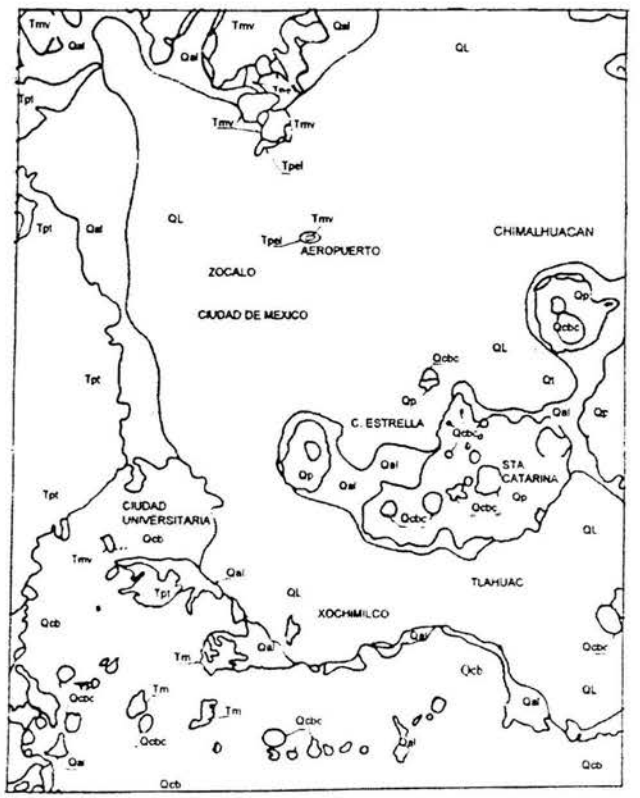
En los lagos formados hacia Texcoco, predominaba el agua salada y la evaporación originaba horizontes salinos o bien agua salobre. En los lagos del centro de México Tenochtitlan y del sur, existía una continua alimentación de aguas provenientes principalmente de los basaltos y piroclástos de la Sierra del Chichinautzin, lo que dio origen a lagos de agua dulce. Los depósitos arcillosos lacustres producto de los deslaves depositados en el lago y que actualmente forman la porción superficial del valle, no son homogéneos e incluyen horizontes arenosos. En la figura No. III.5 se ilustra la secuencia geológica en la porción oriental del valle.

En la fig. III.6 se muestran secciones norte - sur y este-oeste del Valle de México, donde se observa que el subsuelo está formado por bloques afallados correspondientes al basamiento del Terciario Medio. Sobre éste, se encuentran la Sierra de las Cruces y la Sierra de Guadalupe, correspondientes al Mioceno Superior y Plioceno Superior. En los flancos de la Sierras, los depósitos de la formación Tarango y en los valles los rellenos aluviales. En la sección norte-sur se muestra la Sierra del Chichinautzin constituida por volcánicos del Plioceno Superior y Cuaternario, los que cerraron hidrológicamente la cuenca y facilitaron el deposito tanto de rellenos aluviales como de las arcillas lacustres.

FIGURA III 1

( CLASIFICACION DE PROVINCIAS FISIOGRAFICAS, E., DE RAISZ, 1964 ).

FORMACIÓN GEOLÓGICA AFLORANTE EN EL VALLE DE MÉXICO



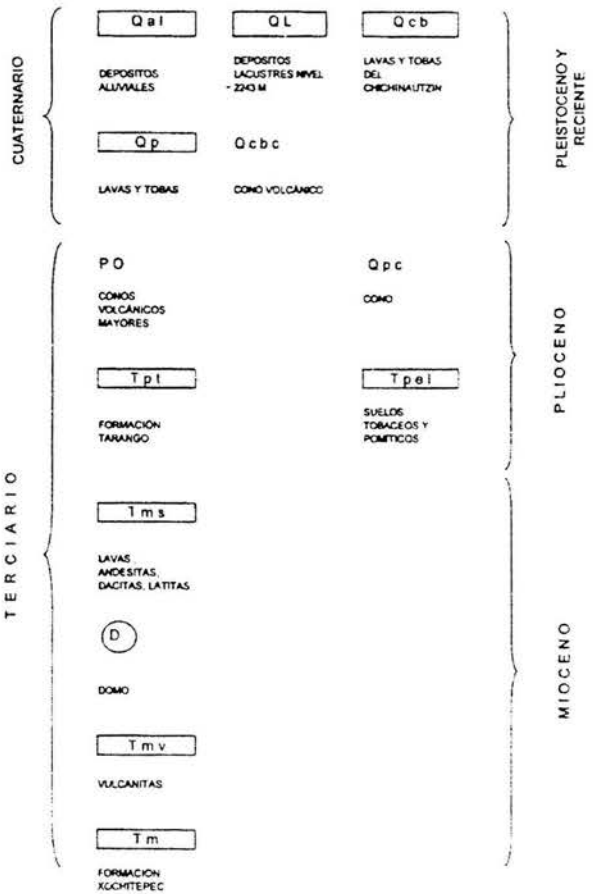

EXPLICACIÓN

DELIMITACIÓN DE SIERRA

FORMACIÓN GEOLÓGICA

FORMACIÓN GEOLÓGICA

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA




PLANO GEOLÓGICO FIGURA III - 2

POZOS PROFUNDOS CIUDAD DE MEXICO

PEMEX 1986

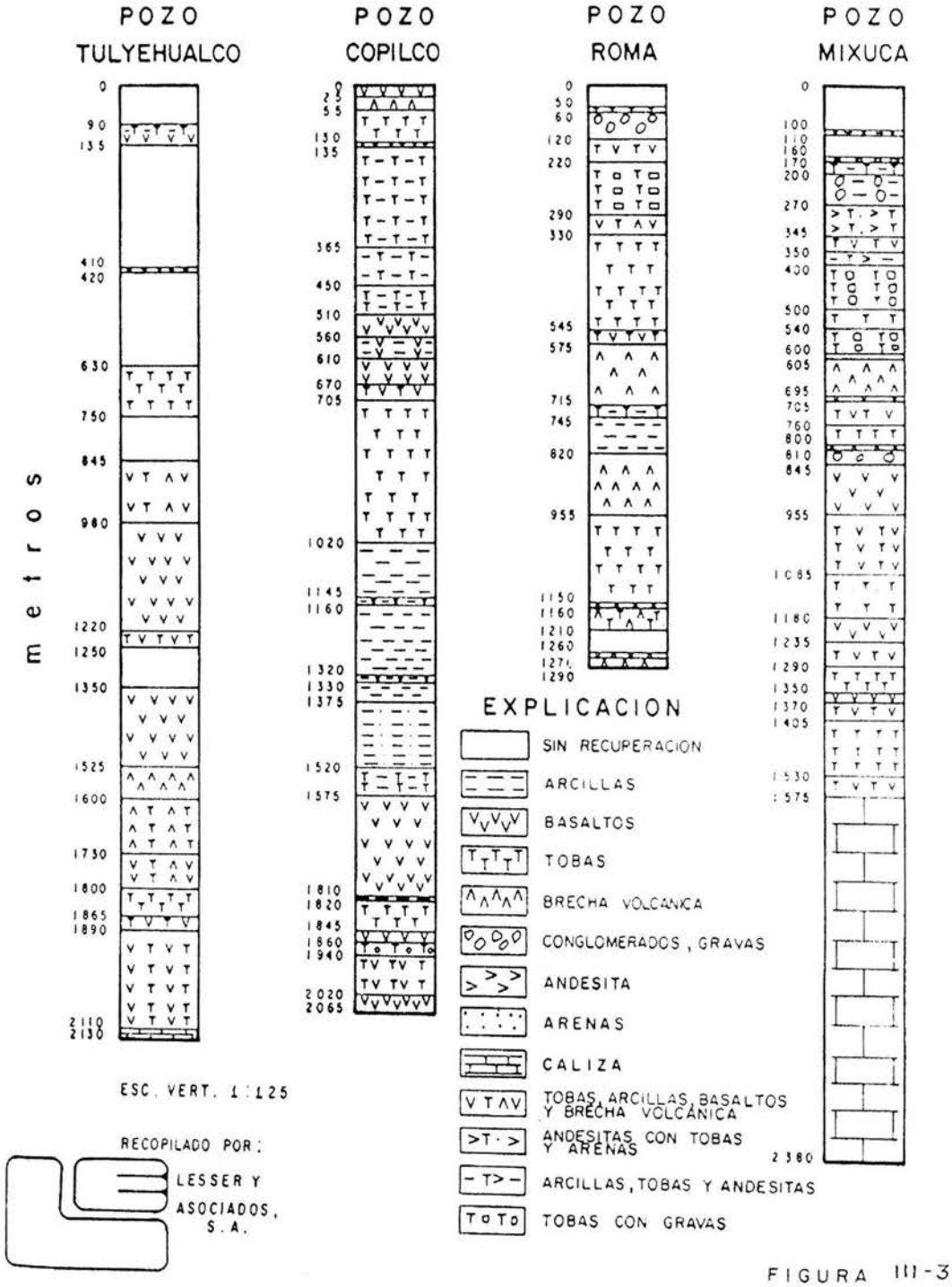
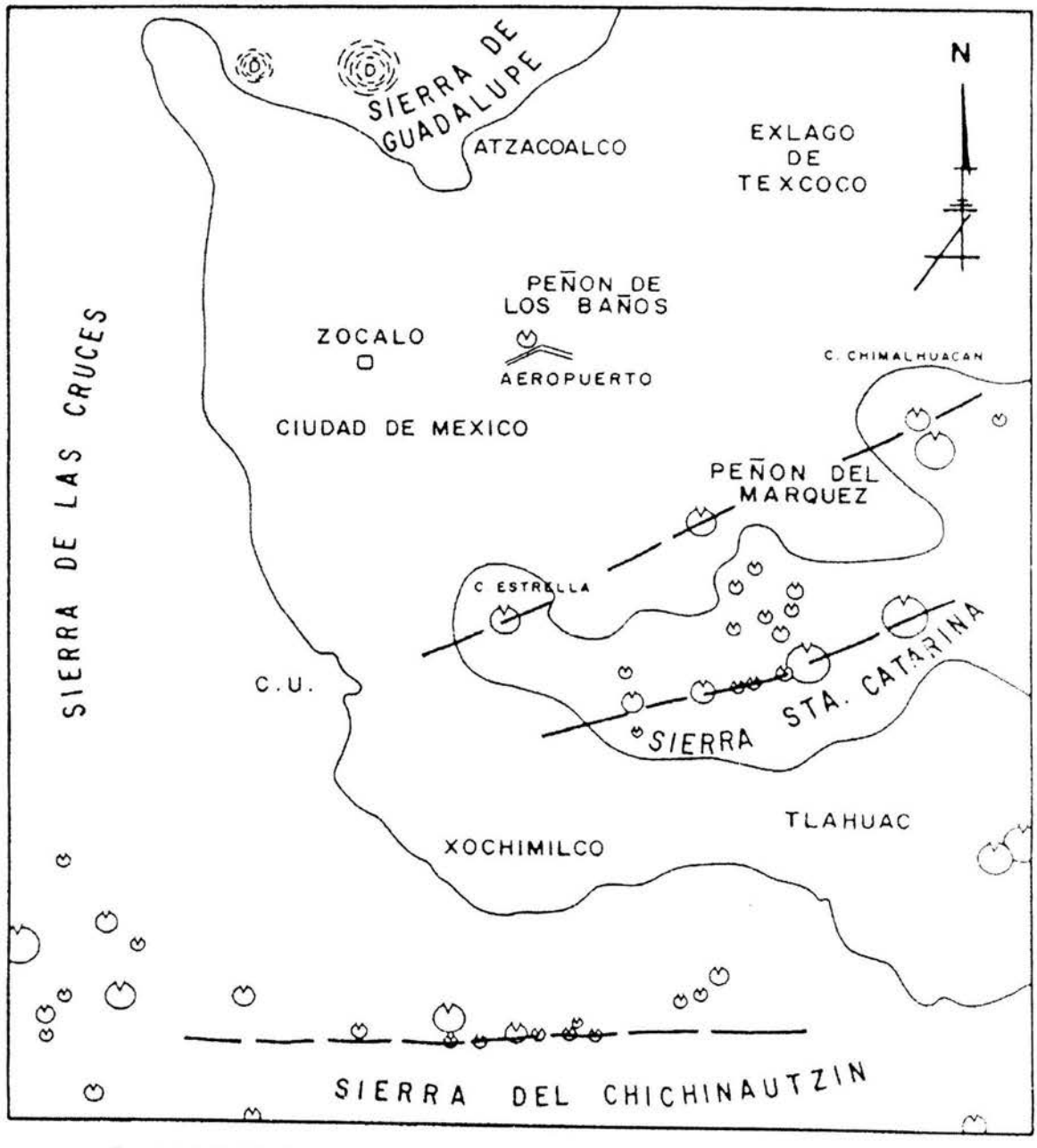



FIGURA III-3

FIGURA III 4
CONOS VOLCÁNICOS MENORES Y ALINEAMIENTOS




EXPLICACION

CONO VOLCANICO

DOMO

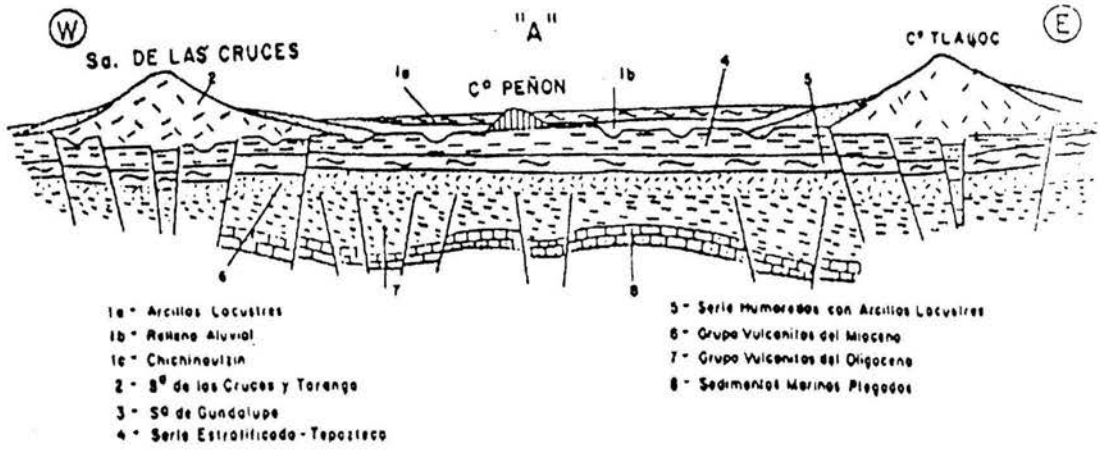
SIMBOLOGIA

ALINEAMIENTO ESTRUCTURAL

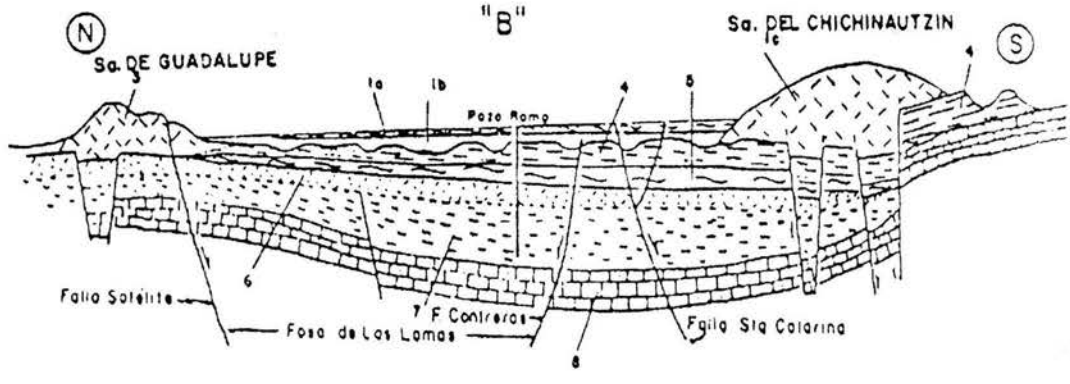
SIERRA VOLCANICA

VALLE ( Antiguo Lago en su mayor parte )

SECCION W-E EN EL SUR DE LA CUENCA




SECCION N-S EN EL SUR DE LA CUENCA




DE F. MOOSER 1990

FIGURA III 6

## IV CARACTERÍSTICAS GEOHIDROLÓGICAS

### IV – 1. ACUÍTARDO Y ACUÍFERO

Es irónico pensar que después de la abundancia de agua existente en la Cuenca del Valle de México y después de los esfuerzos a través de varios siglos para su desagüe. Sólo quede la explotación de los acuíferos subterráneos, los cuales se describen de forma esquemática, como grandes esponjas de distintos grosores y tamaños que descansan sobre superficies impermeables de distintas formas y características. Estas esponjas naturales fueron saturándose de agua a lo largo del tiempo geológico gracias a las condiciones en que lo mantenían los lagos existentes, así como a las infiltraciones de agua superficial y escurrimientos de aguas subterráneas

### ARCILLAS LACUSTRES RECIENTES (ACUÍTARDO)

Los sedimentos recientes en el Valle de México, están representados por arcillas de los antiguos lagos de Texcoco, México, Xochimilco, Tlahuac y Chalco. Desde su origen, se distinguieron los depósitos de Texcoco por incluir grandes contenidos salinos, producto de procesos de evaporación y flujos profundos, en contraste con el agua "dulce" hacia el centro y sur.

El espesor de las arcillas lacustres es variable. Va desde más de 100 metros en algunas zonas como Tlahuac - Chalco y Texcoco hasta acuñarse y desaparecer en el borde del antiguo lago. En la figura IV 1 se muestra la distribución de la zona montañosa y de la zona lacustre, y la denominada zona de transición. Las arcillas se encuentran saturadas. Presentan una baja permeabilidad, del orden de $10^{-9}$ m/seg. y gehidrológicamente funcionan como un acuítardo.

### BASALTOS Y ALUVIONES (ACUIFERO)

Los productos volcánicos y aluviones del terciario y cuaternario, presentan permeabilidad de media a alta. Al encontrarse constituyendo el subsuelo en la zona del valle, forman el acuífero de la región. Cuando afloran en las zonas topográficamente altas, funcionan como zonas de recarga de agua subterránea (figura IV 2)

FIGURA IV 1 ZONIFICACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO
(ADAPTADO POR LESSER 1990, TOMADO DE MARSAL Y MAZARI)

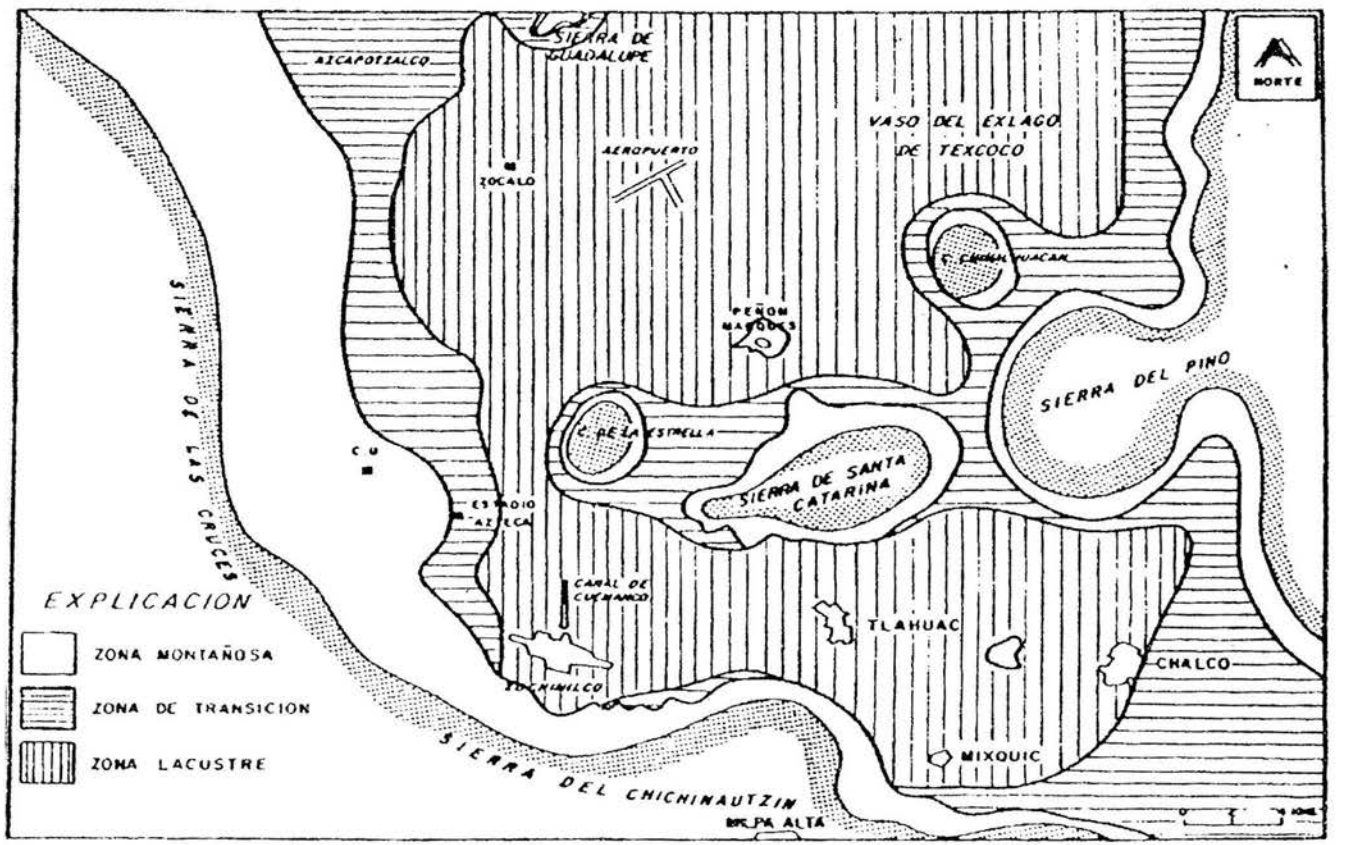
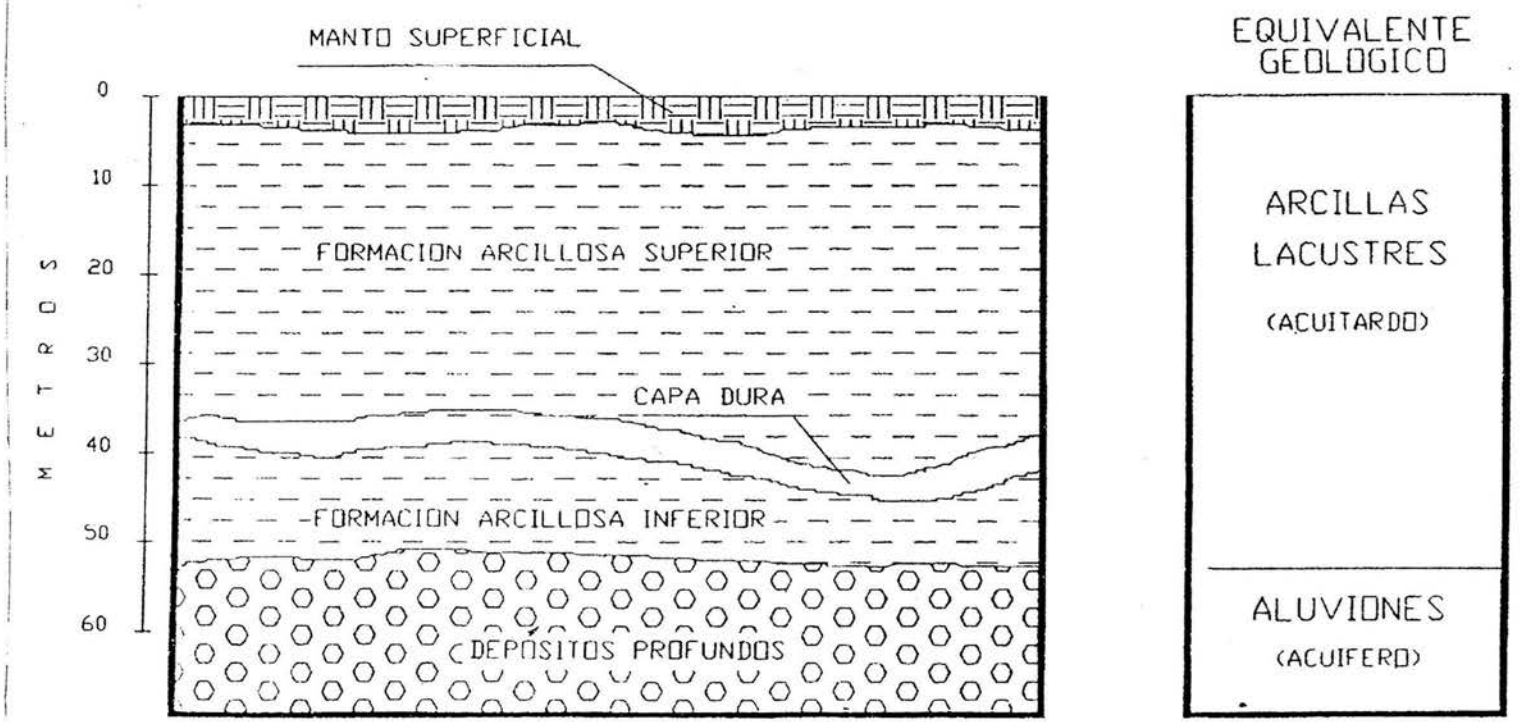


FIGURA IV 2

CLASIFICACIÓN DE LOS ESTRATOS SUPERIORES DEL TERRENO EN LA ZONA PLANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO



## IV – 2. ZONIFICACIÓN GEOHIDROLÓGICA.

Las características geohidrológicas en determinado sitio son las referidas a: el tipo de roca que constituye el acuífero, el espesor del mismo, coeficiente de permeabilidad o transmisividad y de almacenamiento; del conjunto de estos dependerá en gran medida el caudal de explotación y la calidad del agua. De esta forma la D. G. C. O. H. defino la zonificación geohidrológica que se muestra en la figura No. IV 3, misma que conjunta estos elementos con los de calidad y tipo de roca, mediante esta síntesis se ha logrado dividir el Distrito Federal en cinco zonas geohidrológicas principales denominadas del número uno al cinco con algunas subdivisiones;

### IV – 2. 1. ZONA GEOHIDROLÓGICA I.

Corresponde a zona de lago, la cual está constituida por rocas de tipo granular, arenas y gravas de origen aluvial intercaladas hacia la parte superior por limos y arcillas lacustres, la parte superior esta cubierta por arcilla que tiene espesores variables desde 60 a 70 m en el área de Iztapalapa y de 120 a 150 m en la subcuenca de Chalco-Xochimilco, en el lago de Texcoco tiene un promedio de 80 m. Los pozos aquí ubicados producen caudales hasta de 60 lps con coeficientes específicos de 3 a 5 lps por m de abatimiento, el abatimiento regional promedio es de 0.5 metros por año y la calidad está en función de los estratos que se exploten, por lo general los pozos someros ubicados en esta zona de menos de 100 m tienen mala calidad, reportando altas concentraciones de cloruros, sulfatos, potasio, fierro y manganeso, entre los parámetros más sobresalientes.

### IV – 2. 2. ZONA GEOHIDROLÓGICA II.

Se le conoce también como zona de transición y es aquella en la cual se mezclan los diferentes ambientes de depósitos, se pueden diferenciar hasta tres zonas de transición, la denominada zona II "*sensu strictu*", formada con la intercalación de "conos aluviales" formados por la erosión pluvial de las capas de la formación Tarango durante el cuaternario subyaciendo a las rocas pertenecientes en esta misma formación, por ser rocas redepositadas, alcanzan en ocasiones grandes permeabilidades que se reflejan en transmisividades del orden de $10^{-2}$ $m^2$/seg., los caudales que pueden proporcionar ocasionalmente sobrepasan los 100 lps. Pero los pozos deben tener buenas profundidades superiores a los 250 m, los abatimientos regionales reportados son del orden de un metro por año, la calidad del agua que se encuentran en estos sedimentos es muy buena pero alta permeabilidad de la zona la hace susceptible de ser contaminada con facilidad.

Existen otras dos subdivisiones a saber la IIA y IIB, la primera corresponde a depósitos de tipo fluvial subyaciendo a rocas de tipo andesítico, principalmente en las inmediaciones de la Sierra de Guadalupe, donde en superficie se aprecia buena permeabilidad, pero una vez que los niveles bajan a las andesitas la permeabilidad se hace prácticamente nula. En esta misma denominación se encuentra una franja en las estibaciones del Cerro del Ajusco, en esta zona los abatimientos son realmente más fuertes por la disminución de permeabilidad de algunos paquetes rocosos.

La subdivisión denominada IIB, también conocida como "transición abrupta", en ella se mezclan o intercalan sedimentos de origen lacustre principalmente arcillas con rocas de tipo basáltico, pudiendo ser estas granulares o sea piroclástos de diferentes tamaños, o bien, coladas de basalto; esta es una de las zonas más productivas, se ubica en el flanco norte de la Sierra del Chichinautzin, y es la que rodea a los Cerros de la Estrella , Peñón del Marqués, Chiconautla y la Sierra de Santa Catarina; como características principales, su alta productividad que sobrepasa los 100 lps, los abatimientos se miden en centímetros, el nivel piezométrico se encuentra relativamente a poca profundidad, la calidad de su agua es buena a pesar de que por el crecimiento de la mancha urbana hacia estos sitios, se detectan algunos puntos con problemas de calidad por la costumbre adoptada de canalizar los desechos sólidos y las aguas residuales hacia fracturas o como relleno de cañadas.

IV – 2. 3. ZONA GEOHIDROLÓGICA III

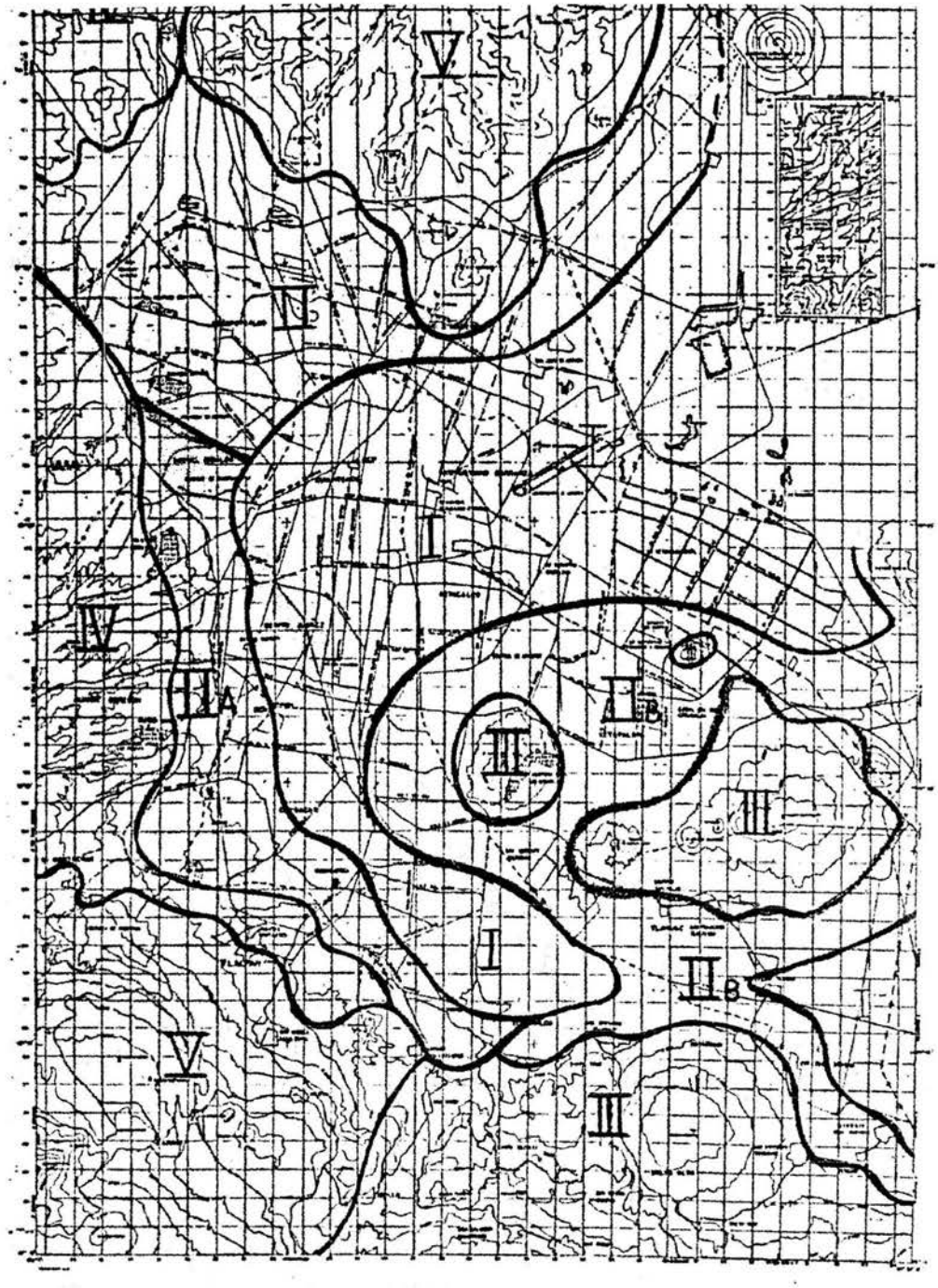
Zona III de origen basáltico que se ubica en las partes altas de los cerros y sierras mencionadas en la zona IIB. Su importancia real es como zona de recarga, el problema de su explotación radica en que a pesar de ser una roca almacenadora potencial, el acuífero se considera de tipo libre, los caudales de los pozos es excelente y el abatimiento tanto regional como de bombeo son prácticamente nulos; presenta la misma susceptibilidad a la contaminación; si bien la profundidad del nivel del agua es también un resguardo de esta.

IV – 2. 4. ZONA GEOHIDROLÓGICA IV

Se denomina de esta manera a las rocas pertenecientes a la formación Tarango, constituidas por tobas y lahares, intercalados con conglomerados de origen andesítico, son rocas de permeabilidad media a baja con caudales inferiores a los 60 lps, en esta zona quedan incluida las rocas que afloran en la Sierra de las Cruces y parte norte de la Sierra de Guadalupe, la topografía en ambas sierras es abrupta de tal manera que al igual que en la zona III, el nivel estático se encuentra a profundidades que van de 80 a 150 metros en las zonas potencialmente explotables, en los sitios donde han hecho captaciones, la calidad del agua siempre ha sido buena ya que por contener intercalaciones de rocas permeables con semi-impermeables es difícil de que los contaminantes lleguen hasta el agua subterránea.

IV – 2. 5. ZONA GEHIDROLÓGICA V

Está conformada por rocas andesíticas, son estas las más antiguas como las ubicadas en la Sierra de Xochitepec y la base de la Sierra de Guadalupe o las de edad cuaternaria como el Ajusco, estas rocas no se consideran como acuíferos los pocos ejemplos que existen de pozos perforados en ellas reportan caudales menores a 10 lps a pesar de su gran fracturamiento la permeabilidad es baja con transmisividades reportadas de $10^{-4}$ a $10^{-5}$ $m^2$/seg en ellas están ubicados los manantiales que aparecen en el poniente y los escurrimientos que dan forma a los ríos Magdalena, Eslava y Ondo entre otros, existen dentro del Distrito Federal pequeñas prominencias que también podrían ser incluidas en esta clasificación como, el Cerro del Peñón de los Baños, cerca del aeropuerto, el Cerro Zacaltepetl N. y el Cerro de Chapultepec.




ZONA I LACUSTRE

ZONA II TRANSICIÓN (LACUSTRE - TARANGO - ANDESITAS)

ZONA $II_A$ TRANSICIÓN (LACUSTRE - TARANGO )

ZONA $II_B$ TRANSICIÓN (LACUSTRE - BASALTOS)

ZONA III BASALTOS

ZONA IV TARANGO

ZONA V ANDESITAS

ZONIFICACIÓN GEOHIDROLÓGICA VALLE DE MÉXICO

IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO

FUENTE: DDF - DGCOH

FIGURA IV - 1

## IV - 3. PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTATICO

De acuerdo al registro de pozos piloto que la DGCOH llevo en los años de 1984 y 1995, es utilizado el trazo de configuraciones piezométricas en el siguiente trabajo.

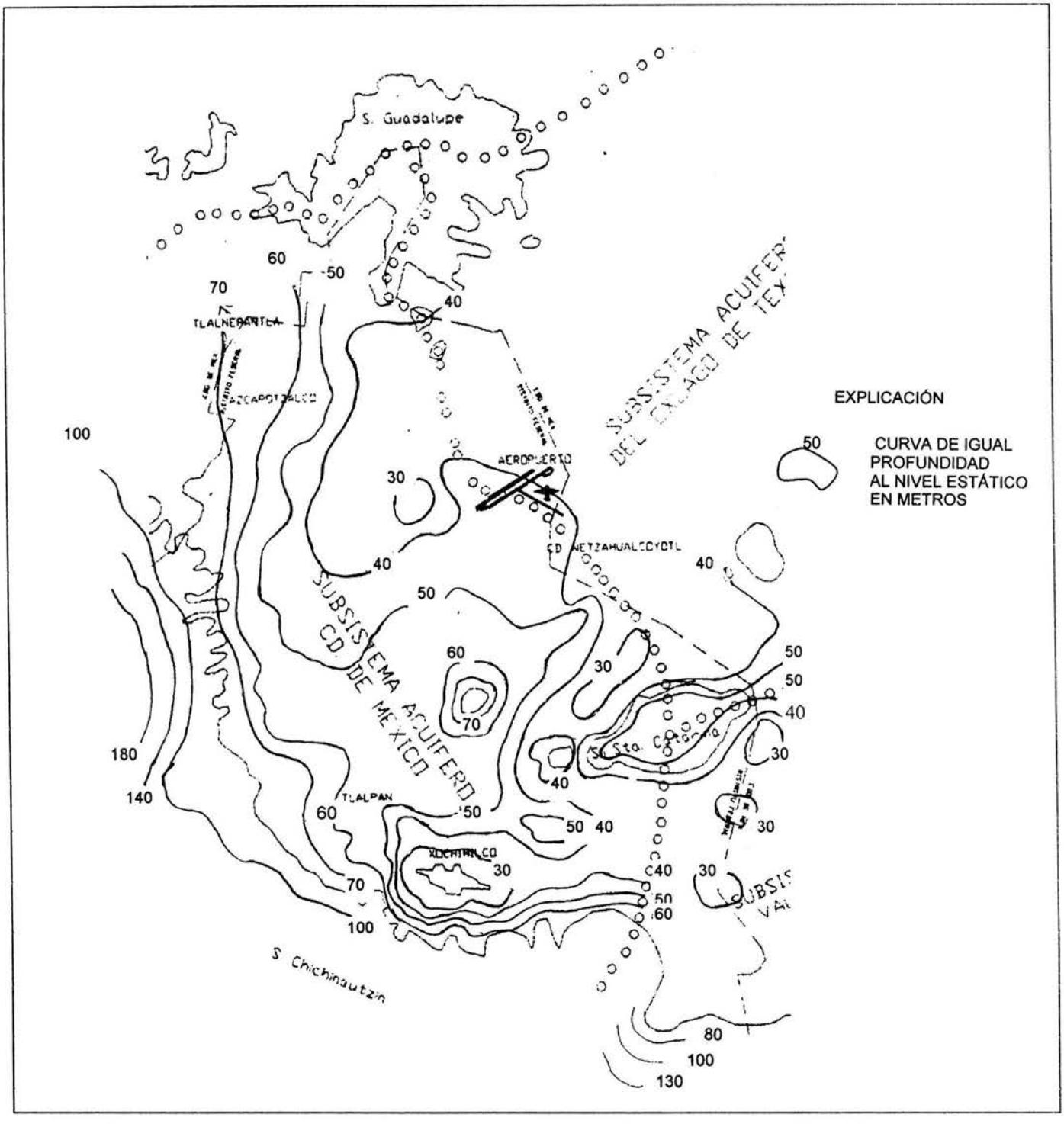
La DGCOH realizo recorridos de campo, midiendo la profundidad al nivel estático. Durante la toma de cada muestra se comparo el dato obtenido con el historial del pozo. Para los pozos que se encontraban en operación, se solicito la suspensión de bombeo con anticipación de al rededor 6 a 8 horas . Para los sitios en donde se presentaron valores disparados de elevación con respecto a años anteriores, se repitió la medición en el campo hasta en tres fechas diferentes, por lo que se considera que los datos obtenidos son confiables y representativos

### IV - 3.1. ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Se puede observar en la figura IV 4, las curvas de profundidad entre 100 y 180 m al pie de la Sierra de la Cruces. Esto es debido a que los pozos se encuentran perforados en las partes altas. Una distribución de valores similares; se observa en los pozos del sistema sur, entre Xochimilco y Tecomitl, donde varios pozos se ubican topográficamente altos, por lo que la profundidad al nivel estático se encuentra entre 80 y 130 m de profundidad, como se marca en las curvas de la configuración piezométrica

Los valores de profundidad disminuyen hacia el valle. Por lo general, en una franja alargada norte-sur en la zona de lomeríos del poniente, que va desde Azcapotzalco pasando por la Avenida Constituyentes y a lo largo del anillo periférico hasta Perisur y el estadio azteca, se encuentran valores de profundidad al nivel estático que van de 50 a 80 m.

Valores menores de 60 m dominan la parte central de los valles. Hacia el Valle de Xochimilco-Tlahuac, el nivel del agua se encuentra a profundidades de entre 30 y 50 m. En la batería de pozos Tlahuac-Neza, se presentan valores de alrededor de 50 m de profundidad al nivel estático.




| | |
|---|---|
| | PROFUNDIDAD AL NIVEL ESTÁTICO EN EL AÑO DE 1995 |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: DDF - DGCOH — FIGURA IV - 4 |

## IV - 4 EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO

Las configuraciones piezométricas son una forma de representar gráficamente al acuífero. Su estudio en diferentes fechas, permite deducir las variaciones que ha sufrido como consecuencia de la extracción de agua por bombeo. En la figura IV. 5 se muestran las configuraciones piezométricas al nivel estático a partir del año de 1985 a 1995, en periodos de dos años observándose la evolución del acuífero, en especial el abatimiento que se ha registrado y la formación de conos piezométricos en el área de Tlalpan-Xotepingo.

### IV - 4.1 . EVOLUCION DEL PERIODO 1985-1995

Se trazo una configuración observándose valores que van de 0 a 15 m figuras IV. 6 y IV. 6a, en la porción comprendida en el Distrito Federal, las menores evoluciones registradas se encuentran en la parte norte, mientras que las evoluciones negativas o abatimientos más fuertes se registraron hacia el sur.

En el norte, alrededor de Azcapotzalco, se trazo la curva 0, que indica que el nivel estático no ha variado en los últimos 10 años. Hacia el sur de Azcapotzalco o sea entre la Calzada Mexico-Tacuba y continuando al sur hasta aproximadamente la Avenida Río Churubusco, la evolución fue negativa o sea que existió un abatimiento de entre 5 y 10 m. Continuando hacia el sur y en una zona entre el Río Churubusco y el anillo periférico sur, se encuentran abatimientos mayores, los que en general van de 10 a 13 metros con algunas áreas donde alcanzan los 15 metros.

La evolución del nivel estático en los últimos 10 años es un reflejo del aumento de extracción de agua subterránea, la cual ha sido comparativamente mayor hacia el sur. Al centro y norte de la ciudad, la extracción ha disminuido, además de que el rendimiento de los pozos es menor.

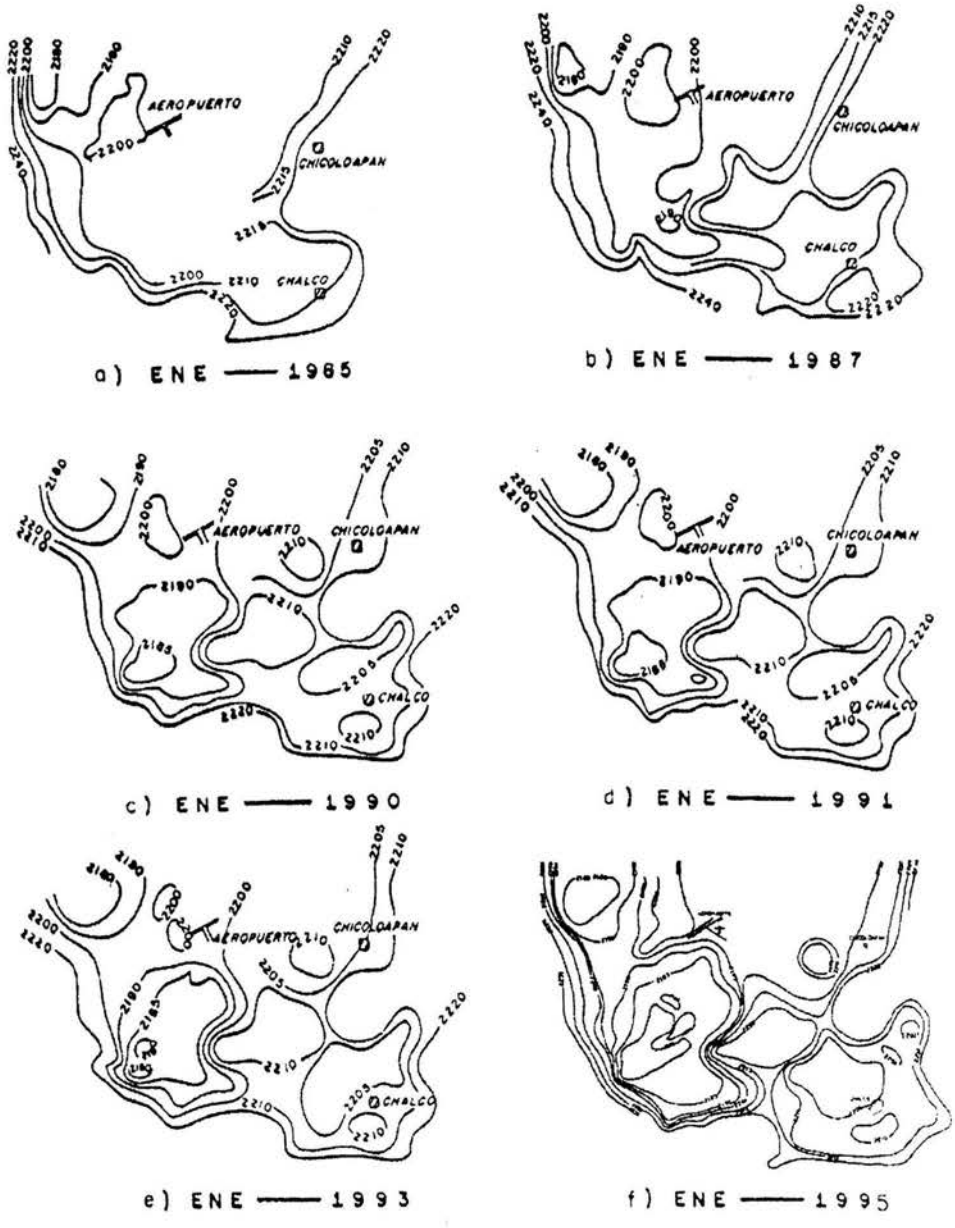
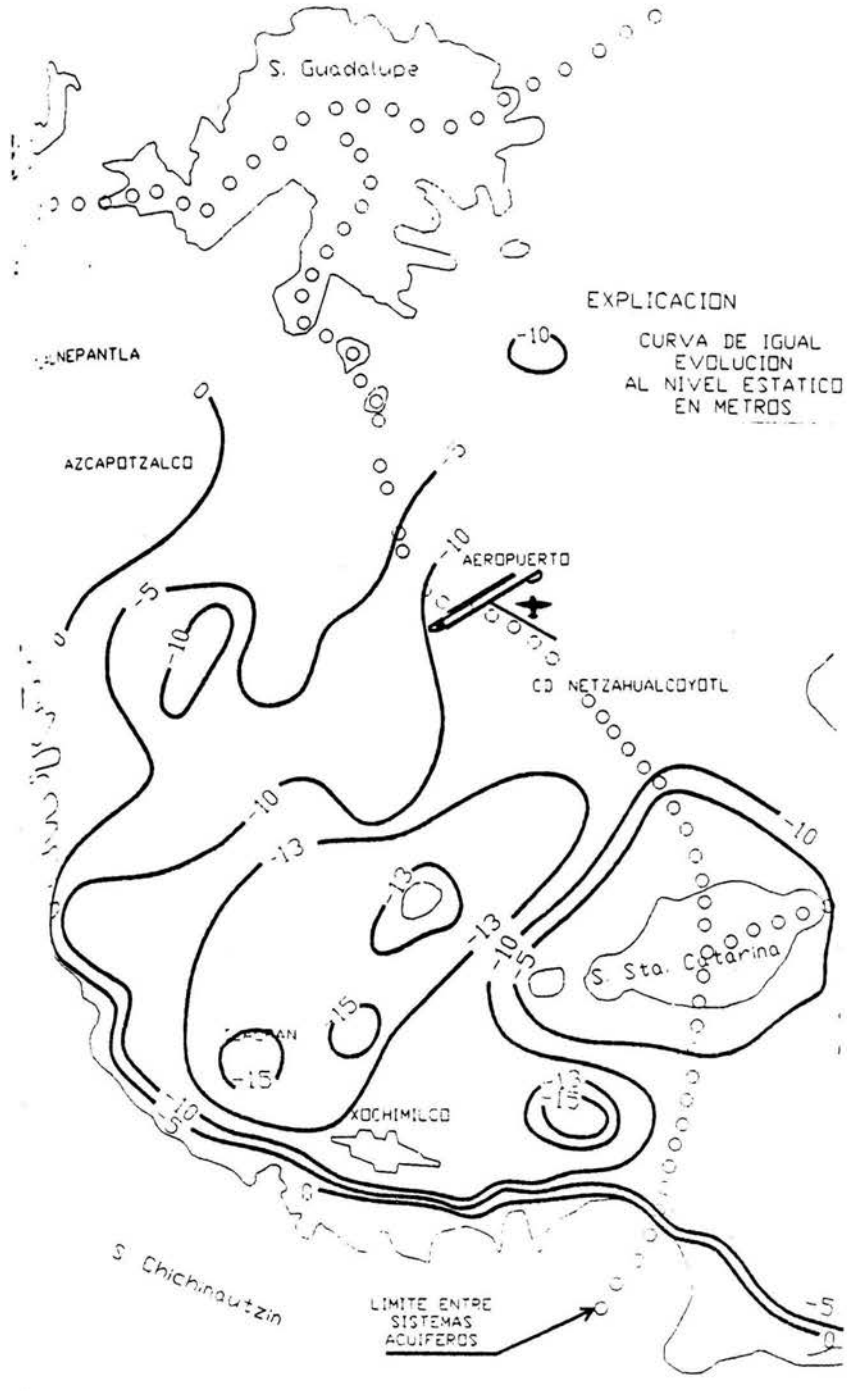



FIGURA IV-5 EVOLUCIÓN DE LA ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO (ENE) EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR.

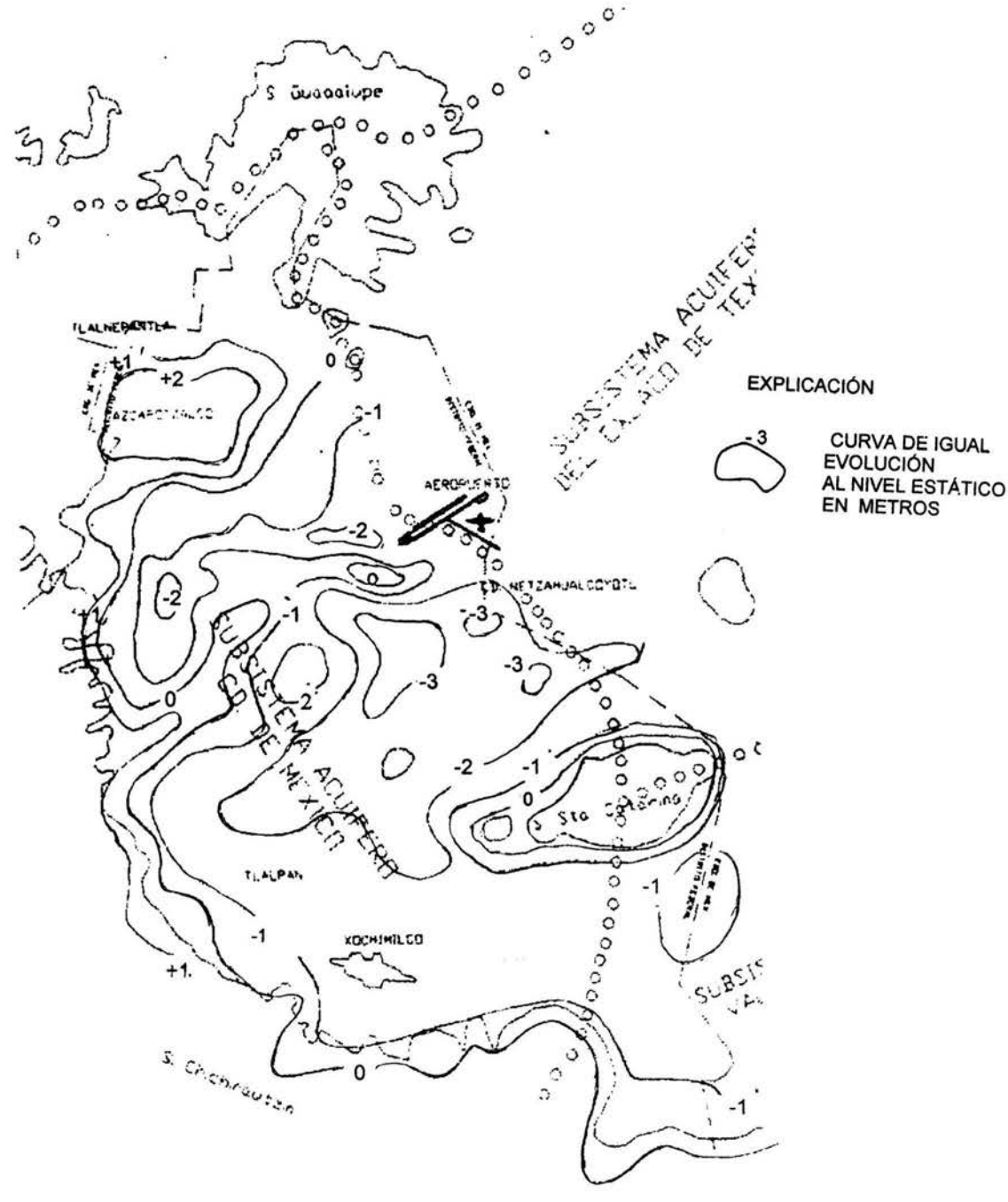



EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO DEL PERIODO 1985 - 1995

IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO

FUENTE: DDF - DGCOH

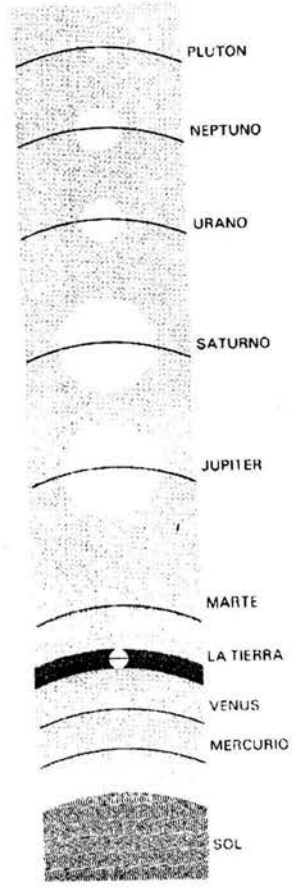
FIGURA IV 6




| | |
|---|---|
| | EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO DEL PERIODO 1993-1995 |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: DDF - DGCOH FIGURA IV 6 a |

## IV - 5 DEFINICIÓN DEL AGUA Y SU IMPORTANCIA PARA LA VIDA

FIGURA IV 7




**SOLO EN LA SUPERFICIE** de un planeta de nuestro sistema solar se ha hallado agua en sus tres formas (hielo, vapor y líquida). Este planeta, la Tierra, gira en órbita en la franja azul oscuro. Más cerca del Sol, al parecer no hay agua líquida en las superficies, si bien quizá la atmósfera de Venus contiene vapor o hielo. Más lejos del Sol, el agua superficial ha de estar congelada, aunque tal vez aparezca brevemente la lluvia dentro de la honda atmósfera del enorme planeta Júpiter. Como el agua líquida es esencial para los procesos vitales conocidos, la Tierra parece ser el único planeta capaz de tener vida.

En muchos sentidos puede decirse que la historia del agua es nada menos que la historia de la vida. Sobre la superficie de la tierra se contiene 1350 millones de kilómetros cúbicos. Y por debajo de la superficie existen aproximadamente 8 millones de kilómetros cúbicos. En la atmósfera terrestre se estima 12.500 kilómetros cúbicos de agua, casi toda ella en forma de vapor.

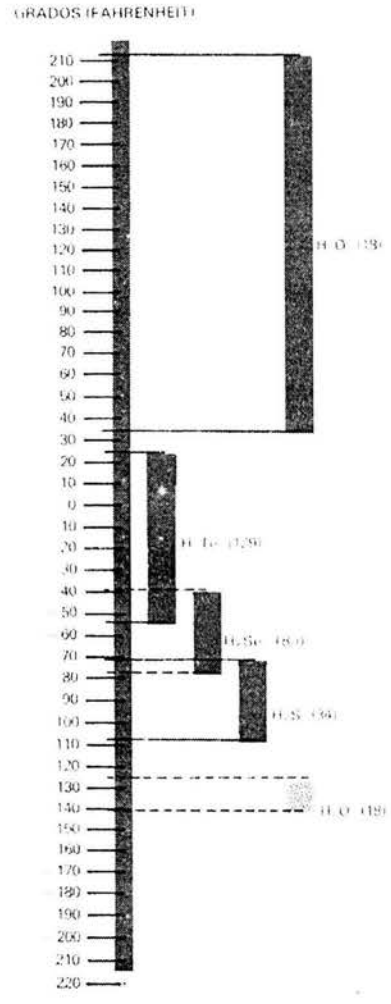
El potencial de esta agua ya existía cuando se formo la tierra, y la teoría científica cree que la vida se originó en los primitivos océanos del planeta. El agua sigue sustentando todas las formas de vida: algunos organismos de gran simplicidad puede existir sin aire, pero ninguno puede desarrollarse sin agua.

El agua es una sustancia inolora, incolora e insabora. Como sustancia química, es única: es un compuesto de gran estabilidad, solvente notable y poderosa fuente de energía química. Toma algo de casi todas las sustancias orgánicas, pero es poderosamente atraída por la mayoría de los materiales inorgánicos incluso de ella misma. A decir verdad, sus moléculas se adhieren unas a otras con más tenacidad que la de ciertos metales. Cuando la congelación la convierte en un sólido, se dilata en vez de contraerse como ocurre con casi todas las sustancias. Es capaz de absorber e irradiar más calor que la mayoría de las sustancias. En lo que respecta a muchas de las propiedades físicas y químicas - como las temperaturas a las que se congela y hierve -, el agua es el compuesto químico singular, la excepción de la regla.

La energía química precede enteramente de la poderosa fuerza que une a dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno en la molécula de agua. El enlace covalente es la base de otras características del agua. La forma en las que se unen los átomos de hidrógeno al de oxígeno, sucede en un ángulo de 105°, uno de los efectos de esta estructura es la desigual distribución de cargas eléctricas. El lado del hidrógeno de la molécula se tiene una carga positiva, mientras que la carga del lado de oxígeno es negativa, con lo que la molécula se convierte en una estructura bipolar, es decir, el equivalente a una barra imantada

En muchas sustancias, los átomos no se mantienen unidos por enlaces covalentes, sino por la simple atracción eléctrica. La sal de mesa – cloruro de sodio – es un ejemplo. En este compuesto, cada átomo lleva cargas eléctricas opuestas.

FIGURA IV 8




**LA ESCALA DE TEMPERATURAS DEL AGUA** – el lapso entre sus puntos de congelación y ebullición – resulta curiosamente fuera de consonancia con la teoría química, como puede verse en esta gráfica. Sustancias similares al agua ($H_2O$) en su estructura – $H_2Te$, $H_2Se$ y $H_2S$ – descienden por la escala en una pauta general: cuanto más bajo el peso molecular, más baja la temperatura y más estrecha la diferencia entre los puntos de congelación y ebullición. El agua, cuyo peso molecular es el más bajo de los cuatro, debería estar en la parte más baja de la escala *(barra azul pálido)* y no en la superior. Los químicos consideran que los fuertes enlaces que unen a las moléculas del agua entre sí le permiten congelarse más pronto, y la hacen hervir a un punto mucho más alto del que en otro caso sería normal.

La curiosa estructura de la molécula de agua es también indirectamente la que determina su comportamiento durante del proceso de congelamiento. Casi todas las sustancias líquidas, sólidas o gaseosas reducen el volumen al descender su temperatura. A medida que se contraen, se vuelven más densas. Así pues, en forma líquida, son más pesadas que en la gaseosa, y en la sólida, más pesadas que como líquidos.

El agua obedece esta regla fielmente como gas, y como líquido. No así en estado sólido, ya que durante el 96% del proceso de congelación, se contrae ininterrumpidamente. Pero al llegar a los 4° C, y hasta llegar al estado sólido, el agua se dilata y se vuelve más ligera, hasta aumentar aproximadamente su volumen en un 9%.

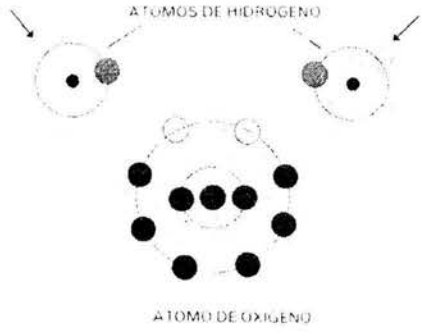
Si el hielo fuera más pesado que el agua, se precipitaría y se iría acumulando, en el fondo de los mares ríos y lagos. En este mundo de hielo, las estaciones anuales serian más severas, los vientos que corren en este planeta serían abrasadores, dejando una estela de ruinas y desiertos.

Antes de elevar la temperatura de cualquier sustancia, es necesario poner un vigoroso movimiento las moléculas que la forman. Pero tratándose de las moléculas de agua, primero hay que aflojar los enlaces de hidrógeno (que une a las moléculas) quien las une tan firmemente, y eso requiere grandes cantidades de calor. Si los enlaces no pusieran tan tenaz resistencia, el agua herviría a temperaturas inferiores a las que existen en el polo norte. Sin esta propiedad no existiría en este nuestro planeta más que vapor.

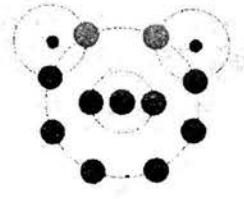
El agua participa en las funciones más fundamentales del cuerpo humano. Actuando en los alimentos, con la ayuda de las enzimas, descompone las grandes moléculas de los carbohidratos en grupos moleculares simples (especialmente la glucosa, un azúcar) lo bastante pequeños para ser absorbidos por las membranas celulares.

Otra igualmente indispensable par la vida sucede durante el mantenimiento de la temperatura corporal ya en ambientes desérticos, el agua que tiene la particularidad de, absorber grandes cantidades de calor metabólico sin que la temperatura suba mayormente; su rápida circulación por todo el cuerpo a través de la corriente sanguínea le permite llevar el exceso de calor a la superficie del cuerpo, de donde escapa al aire que lo rodea.

FIGURA IV 9



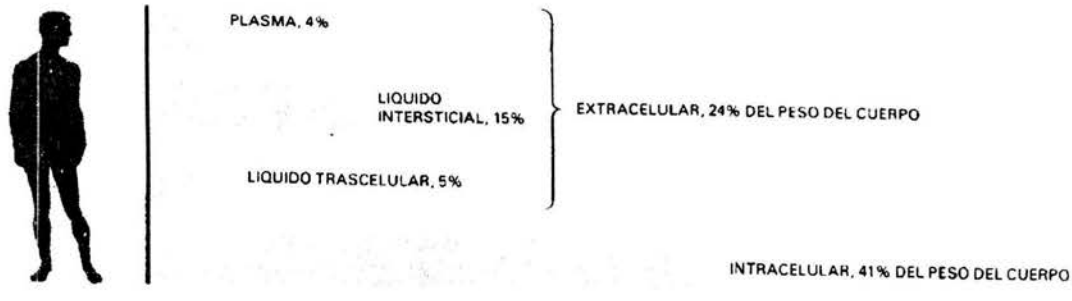

**FORMACION DE UNA MOLECULA DEL AGUA:** Dos atomos de hidrogeno y uno de oxigeno llenan sus orbitas de electrones, compartiendolos. Cada atomo de hidrogeno, con un solo electron que gira en torno a su nucleo, necesita un electron más para estabilizarse. El atomo de oxigeno, más grande, con seis electrones en su capa exterior, necesita dos más para llenar su órbita. Cuando los tres àtomos inestables reunen sus electrones *(abajo)*, el resultado de esa unión es una molécula estable de agua.



MOLECULA DE AGUA

FIGURA IV 10 (ABAJO)

**EL SATURADO CUERPO** del hombre es agua en un 65 por ciento. El liquido penetra todos los tejidos humanos, llena los huecos intercelulares y las cavidades óseas, y fluye por 96.500 kilómetros de arterias y venas. El agua contenida en las células representa el 41 por ciento del peso del cuerpo; el plasma sanguíneo proporciona el 4 por ciento, y el fluido que llena las cavidades vacías, como los intestinos y los globos de los ojos, representa el 5 por ciento. Esta distribución no es estática: el agua no reconoce barreras anatómicas y pasa constantemente de un compartimiento a otro, para lo cual tiene que atravesar las membranas.



## IV - 6. CALIDAD DEL AGUA

### IV - 6.1. INTRODUCCIÓN

Los cuerpos de agua se caracterizan por tres componentes básicos: hidrológico, físico- químico y biológico. Por la importancia del uso para consumo humano, el agua del acuífero ha sido monitoreada durante los últimos 45, los parámetros que se miden son: los aniones y cationes principales, bacteriología, características organolépticas, la concentración de cloro residual en la red para garantizar su potabilidad.

En años recientes y ante la interrogante de si existe o no contaminación del acuífero, se han implementado análisis como la detección del contenido de orgánicos totales, de orgánicos extraíbles, la presencia de metales pesados.

Se han definido como zonas vulnerables aquellas en las cuales existe mayor riesgo de contaminación al acuífero debido a su alta permeabilidad o con niveles de agua subterránea a poca profundidad de ella, entre las diversas fuentes, se puede mencionar a los residuos sólidos dispuestos directamente en zonas minadas o barrancas y aguas residuales que se incorporan a los cauces naturales corriendo por las cañadas, incluyendo las aguas residuales derivadas de las fugas de la red general de drenaje, o a las mismas gasolinas.

### IV - 6.2. CLASIFICACION DEL AGUA POR GRUPOS

Para clasificar la calidad del acuífero, se han utilizado diversas metodologías en las cuales se debe cumplir con la electro neutralidad en la muestra, es decir que debe existir balance iónico, la carga de aniones reportados debe ser igual o semejante a la de cationes; para la clasificación de las aguas en familias o grupos de aguas con características semejantes, se procede a transformar *miligramos por litro a su equivalente en mili equivalentes que son las unidades para la construcción de los diferentes diagramas*, siendo una variación las gráficas de relaciones XY y Stiff modificado.

La D.G.C.O.H., efectuó el estudio denominado "Diagnóstico del estado presente de las aguas subterráneas de la Ciudad de México y determinación de sus condiciones futuras" en el cual mediante la interpretación de estos diagramas subdivide el acuífero en 6 grupos principales. El primero corresponde al acuífero libre presente en las rocas volcánicas de origen basáltico, el grupo II, las aguas que se encuentran en el acuífero libre pero en rocas granulares, el grupo III en el acuífero semiconfinado en materiales granulares, el IV denominado de evolución o mineralización; el V en el cual se advierte la existencia de intercambio iónico, se ubica en una franja entre el acuífero libre y el semiconfinado y el grupo IV se reserva a la zona que se localiza en las inmediaciones de la Sierra de Santa Catarina cuyas características son especiales figuras IV 11 y IV 11 a

### IV - 6.2.1. GRUPO I

Es el agua contenida en las rocas de origen basáltico, infiltradas directamente en la zona de recarga, relacionado con los basaltos de la formación Chichinautzin, su mineralización es baja, su contenido de iones de calcio, magnesio, sodio, cloruros y sulfatos, reportan valores inferiores a los 20 mg/l con alcalinidad de 100 mg/l. A pesar de la buena calidad existente, el crecimiento de la mancha urbana ha ocasionado la aparición de puntos de contaminación local debido al encauzamiento de las aguas residuales hacia barrancas y fracturas; afortunadamente se ha constatado la gran capacidad de auto purificación presente en la zona, ya que al suspenderse la fuente de contaminación, en poco tiempo adquiere nuevamente su calidad habitual.

### IV - 6.2.2. GRUPO II

También clasificado como acuífero libre contenido en rocas granulares (Sierra de las Cruces) presenta una ligera mineralización ya que existen intercalaciones de estratos de grava y arenas no compactadas que son fácilmente lixiviados por el agua de lluvia, los valores correspondientes a los cationes principales el calcio, magnesio y sodio varían entre 20 y 50 mg/l, el sodio se muestra alto si bien no rebasa los criterios de calidad adoptados para agua potable, con valores inferiores a 7 mg/l.

Por lo que respecta a los aniones, los bicarbonatos son los más abundantes clasificando las aguas de este grupo como bicarbonatadas mixtas, pudiendo ser bicarbonatadas cloruradas, bicarbonatadas sulfatadas o bicarbonatadas calciomagnésicas dependiendo del ion dominante en segundo término, la bacteriología en muestras obtenidas de pozos ubicados en la zona es baja.

### IV - 6.2.3. GRUPO III

Se incluyen las aguas que se extraen de los aluviones que subyacen a capas de arcilla con espesores menores a los 50 m y que se localizan en el poniente y al centro de la Ciudad de México, su recarga proviene de la Sierra de las Cruces y el Cerro de la estrella. El flujo en esta zona es horizontal con poco gradiente, esta medianamente mineralizado, la cantidad de sólidos totales disueltos, es cercano a la norma, hay incremento en los iones cloro y sodio, el calcio y el magnesio se mantienen bajos, aumenta la alcalinidad, su concentración de potasio sobrepasa la norma en 2 o 3 unidades, sus características organolépticas son aceptables .

IV- 6.2.4. GRUPO IV

Es uno de los mejor definidos, corresponde a la zona de lago pero con mayor espesor de arcillas, como zonas típicas representantes de este grupo se pueden mencionar a las Delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza, el área del lago de Texcoco y las partes planas de la subcuenca de Chalco Xochimilco.

Se diferencia del resto por la gran mineralización existente , la cual aumenta conforme se engrosa el espesor de arcillas con valores de sodio y cloruros cercanos o superiores a los 200 mg/l, la conductividad sobrepasa las 1000 unidades, además de su característico contenido de fierro-manganeso muy por encima de la norma, los cuales al reaccionar con el cloro que se adiciona como desinfectante, precipitan proporcionando el agua un color amarillento, el sabor regularmente es amargo y ocasionalmente presenta olor por contenido de ácido sulfhídrico; el agua que se extrae del acuífero debe ser sometida a tratamiento de potabilización para su adecuación y posterior distribución.

IV - 6.2.5. GRUPO V

Son las aguas que se ubican entre el grupo tres y cuatro, su calidad es buena de manera general pero puede presentar concentraciones de fierro y manganeso que a pesar de no sobrepasar la norma, si proporciona color, la alcalinidad y los sólidos totales disueltos, se muestran altos.

IV- 6.2.6. GRUPO VI

Es el agua recargada en la Sierra de Santa Catarina, su salinidad pero los altos contenidos de sulfatos y nitratos la hacen única y diferente, al relacionar los diferentes elementos presentes con el tipo de roca, se advierte que la reducción de los sulfatos es la que controla la composición química de los componentes minerales del agua subterránea, de tal manera que es necesario definir el origen de los sulfatos, la Sierra de Santa Catarina es de formación reciente (en términos geológicos), se manejan edades entre los 40,000 y los 15,000 años', por lo que los sulfatos pueden estar relacionados con el vulcanismo ya que estas aguas también están asociadas a fluoruros, manganeso y amoníaco.

1 .-Recopilación por TASA de F. Mooser Comunicación verbal

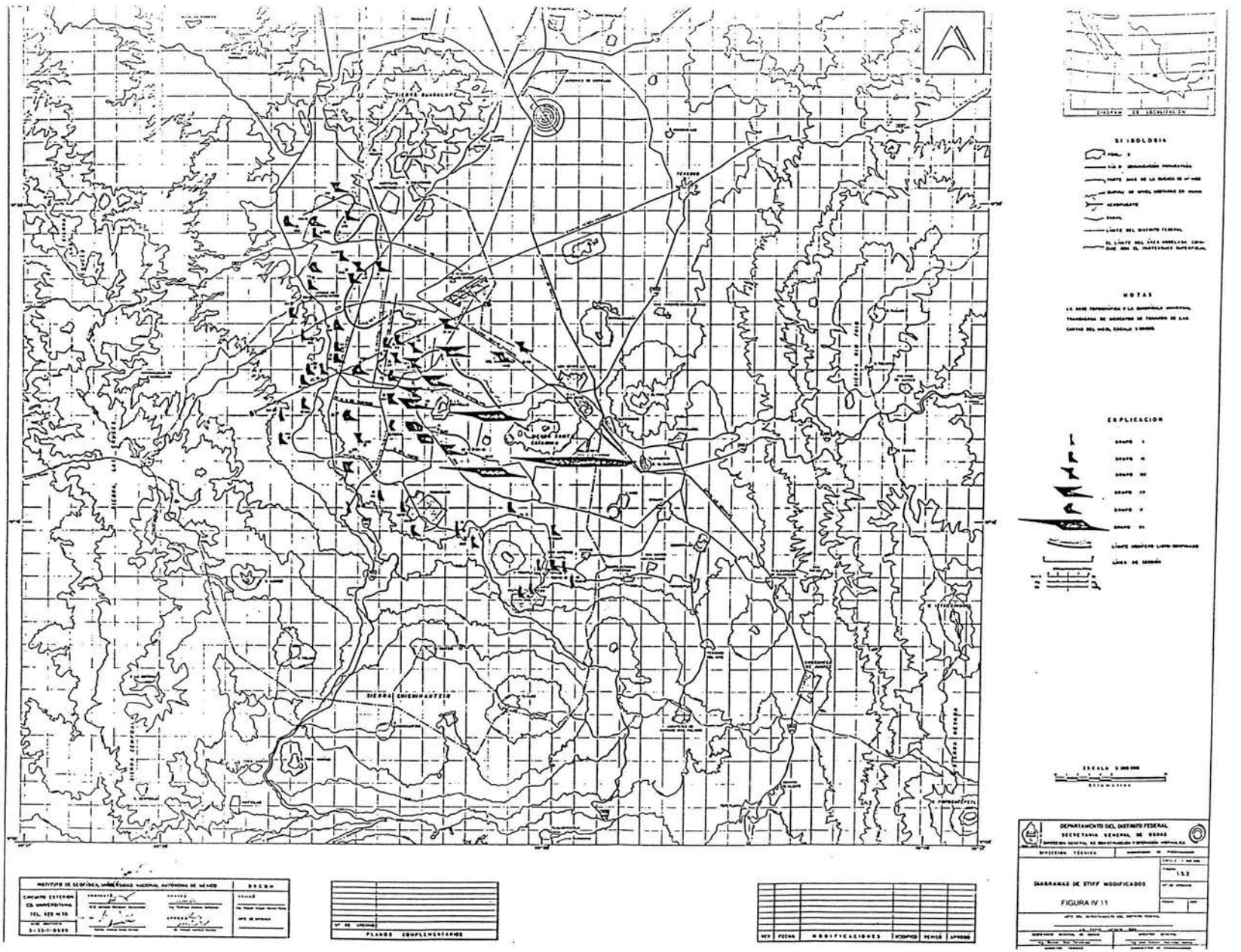
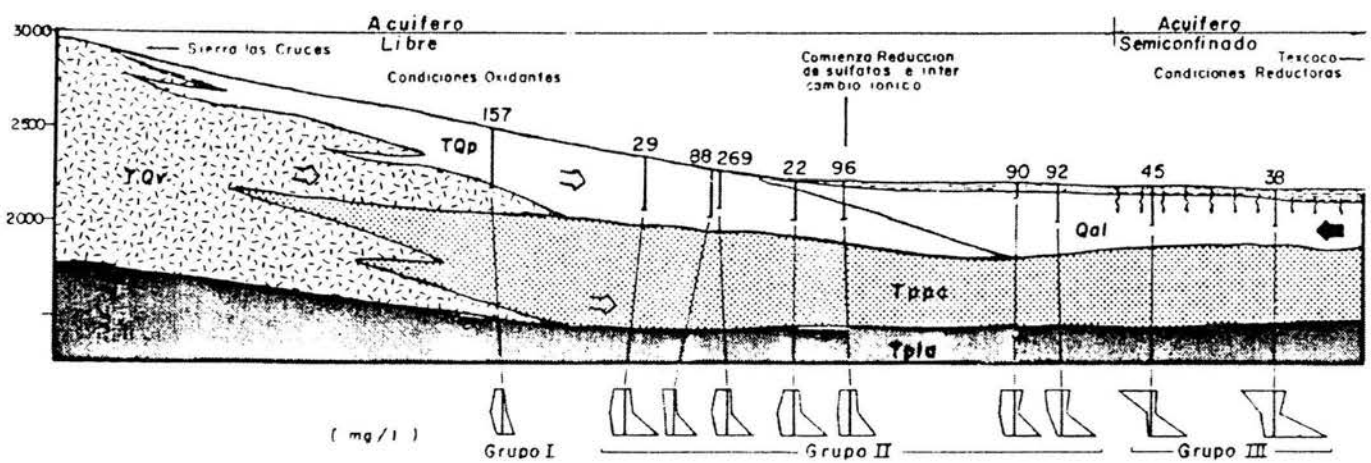

SIMBOLOGIA
NOTAS
EXPLICACION
DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL
SECRETARIA GENERAL DE OBRAS
DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADOS
FIGURA IV.11
PLANOS COMPLEMENTARIOS
MODIFICACIONES

FIGURA IV 11a

CORTE ESTRATIGRÁFICO B - B, CLASIFICACIÓN DE AGUA POR GRUPOS DIAGRAMAS DE STIFF MODIFICADO




FUENTE DDF - DGCOH DIRECCIÓN TÉCNICA

# V DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS CIVILES QUE IMPLICAN LA EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS SUBTERRÁNEOS

## V - 1. INTEGRACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE REHABILITACIÓN Y REPOSICIÓN

La creciente demanda de servicios en los últimos 40 años ha originado la intensificación de las perforaciones y trabajos de mantenimiento en los pozos. El uso interrumpido de los equipos de bombeo, provoca grandes consumos de energía eléctrica y desperdicio del agua. en la década de los ochentas la DGCOH uso como fuente principal de abastecimiento la operación de pozos, lo que derivo a intensificar los problemas de hundimientos, por lo que se propuso el estudio de programas y políticas encaminados a evitar mayor degradación del acuífero.

Los problemas que se presentan son los físicos de la infraestructura y cambio de las características geohidrológicas en el acuífero cada uno de ellos o su combinación conllevan a una disminución del caudal. Por lo que la DGCOH ha establecido a través de varios años un programa permanente de rehabilitación y reposición de pozos el basándose en el historial es estudios del historial del pozo teniendo como objetivo un mejor rendimiento.

### V - 1.2. OPERACIÓN DE POZOS POR SISTEMA

De los 571 pozos perforados en el año de 1994 operaban únicamente 460, con un caudal global de 16.42 $m^3/s$. En el año de 1995 y a solicitud de la Comisión Nacional de Agua se pararon pozos un gasto total a 4 $m^3/seg$. provenientes de la cuarta etapa del Cutzamala.

Para facilitar su manejo, la Dirección de Operación ha agrupado el total de los pozos en cinco sistemas denominados: Sistema Norte, Sur, Oriente, Poniente y Centro (fig. V. 1. y tabla No. V.1.). El sistema norte esta compuesto por los pozos ubicados en Azcapotzalco y Chiconautla, el sistema Sur se subdivide en Sistema Sur Coyoacan, Sur Milpa Alta-Tlahuac, Sur Tlalpan y Sur Xochimilco. El Sistema Oriente está constituido por 80 pozos ubicados en las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza, el Sistema Poniente se encarga de vigilar el funcionamiento de los pozos ubicados en Alvaro Obregón, Cuajimalpa y parte de Miguel Hidalgo. El Sistema Centro se ocupa de las delegaciones Cuahtémoc, Benito Juárez y Miguel Hidalgo

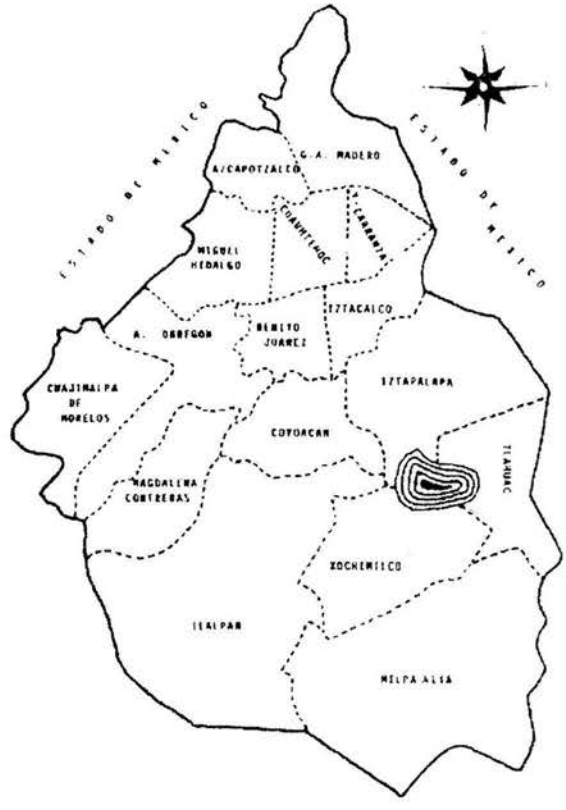



FIGURA V.1.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE POZOS POR SISTEMA

TABLA V.1. POZOS OPERADOS POR LA DIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA POR SISTEMA (1996)

| SISTEMA | POZOS PERFORADOS | OPERANDO | FUERA DE OPERACION |
|---|---|---|---|
| Norte | 77 | 55 | 22 |
| Sur Coyoacán | 133 | 92 | 41 |
| Sur Milpa Alta - Tlahuac | 50 | 29 | 21 |
| Sur Tlalpan | 58 | 50 | 8 |
| Sur Xochimilco | 71 | 48 | 23 |
| Oriente | 80 | 53 | 27 |
| Poniente | 23 | 13 | 10 |
| Centro | 79 | 54 | 25 |
| **TOTAL** | **571** | **394** | **177** |

## V - 2. ANÁLISIS OPERACIONAL DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

La DGCOH, opera 571 pozos profundos para el abastecimiento de agua potable para el área Metropolitana del Distrito Federal, con los cuales se abastece al 65 % de su población. La distribución general del agua potable, se realiza por medio de acueductos, redes primarias y secundarias, que se complementan con tanques de rebombeos y plantas potabilizadoras.

### V - 2 .1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El sistema de distribución que abastece a la Ciudad de México es muy complejo, se pueden mencionar los acueductos y la red primaria como base angular. En estos se recibe el volumen de las baterías de pozos y agua proveniente de fuentes externas, estas redes se interconectan con las redes secundarias que surten de agua al usuario. Para realizar la operación y brindar servicio en las zonas urbanas ubicadas en las partes altas de la ciudad, se cuenta con tanques de regulación y tanques de rebombeo adicionales. Para la adecuación del agua con altos contenidos de minerales existen plantas potabilizadoras.

#### V - 2.1.1. ACUEDUCTOS, RED PRIMARIA Y SECUNDARIA

ACUEDUCTOS

Se definen como acueductos a todas aquellas tuberías con diámetros mayores a 20" de diámetro (0.50 m ), los cuales pueden estar ubicados dentro o fuera del perímetro del Distrito Federal. Los acueductos más importantes son los que provienen de la cuenca del alto Lerma como las del río Cutzamala, el acueducto Risco, Chiconautla y Chalco que reciben el caudal proporcionado por las baterías de pozos ubicados en la parte norte de la cuenca del Valle de México.

En el Distrito Federal y dentro de su territorio, se concentran los caudales de varias baterías de pozos en acueductos. El Acuaférico el cual se define como una línea de 4 m de diámetro del cual se concentrarán los caudales provenientes del río Cutzamala y se ubica en las márgenes de la Sierra del Chichinautzin. Gran parte del Sistema Cutzamala, deriva hacia los tanques Dolores y Aeroclub para distribuir el agua en la zona poniente de la ciudad (figura V 2).

RED PRIMARIA Y SECUNDARIA

La red primaria está compuesta por tuberías con diámetros menores a 20" (0.50 m), actualmente se considera una cobertura del 98 % de infraestructura en el Distrito Federal, con una longitud aproximada de 659 km., la Dirección General divide a la ciudad en sistemas de la siguiente manera:

Sistema Norte, comprende parte de la delegación Gustavo A. Madero, Sistema Atzcapotzalco-Cuautepec.

Sistema Centro, comprende las delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc.

Sistema Poniente, incluye las delegaciones de Miguel Hidalgo, Cuajimalpa, Alvaro Obregón y parte de la delegación Magdalena Contreras

Sistema Oriente a las delegaciones Venustiano Carranza, Iztacalco e Iztapalapa

Sistema Sur, subdivide en: Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta-Tláhuac, Norte Coyoacan y Xotepingo.

El punto de llegada del agua potable a los usuarios se realiza por medio de la red secundaria, de diámetros menores a los 0.30 m., con una longitud aproximada de 10 036 km. Esta red es operada por las delegaciones políticas, dando como resultado una ambivalencia que ocasiona serios problemas para el control de la distribución.

## V - 2.1.2. TANQUES, REBOMBEOS Y PLANTAS POTABILIZADORAS

### TANQUES Y REBOMBEOS

Con la finalidad de regular la dotación y abastecer a los habitantes ubicados en las partes altas en las zonas montañosas se han construido 279 tanques y 227 rebombeos, los cuales se ubican principalmente en las delegaciones de Tlalpan Xochimilco, Alvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero e Iztapalapa

Algunos tanques y rebombeos son alimentados por pozos cuyas aguas descargan directamente a ellos, sin embargo cundo se tiene la necesidad de sacar de operación algún pozo el área abastecida, se ve afectada pues en los casos, de los grandes tanques con capacidades superiores a los 20 000 $m^3$, si no se llega a controlar la descarga a la red de distribución pueda durar hasta semanas el poder recuperar las presiones, reflejándose en déficit de caudales.

### PLANTAS POTABILIZADORAS

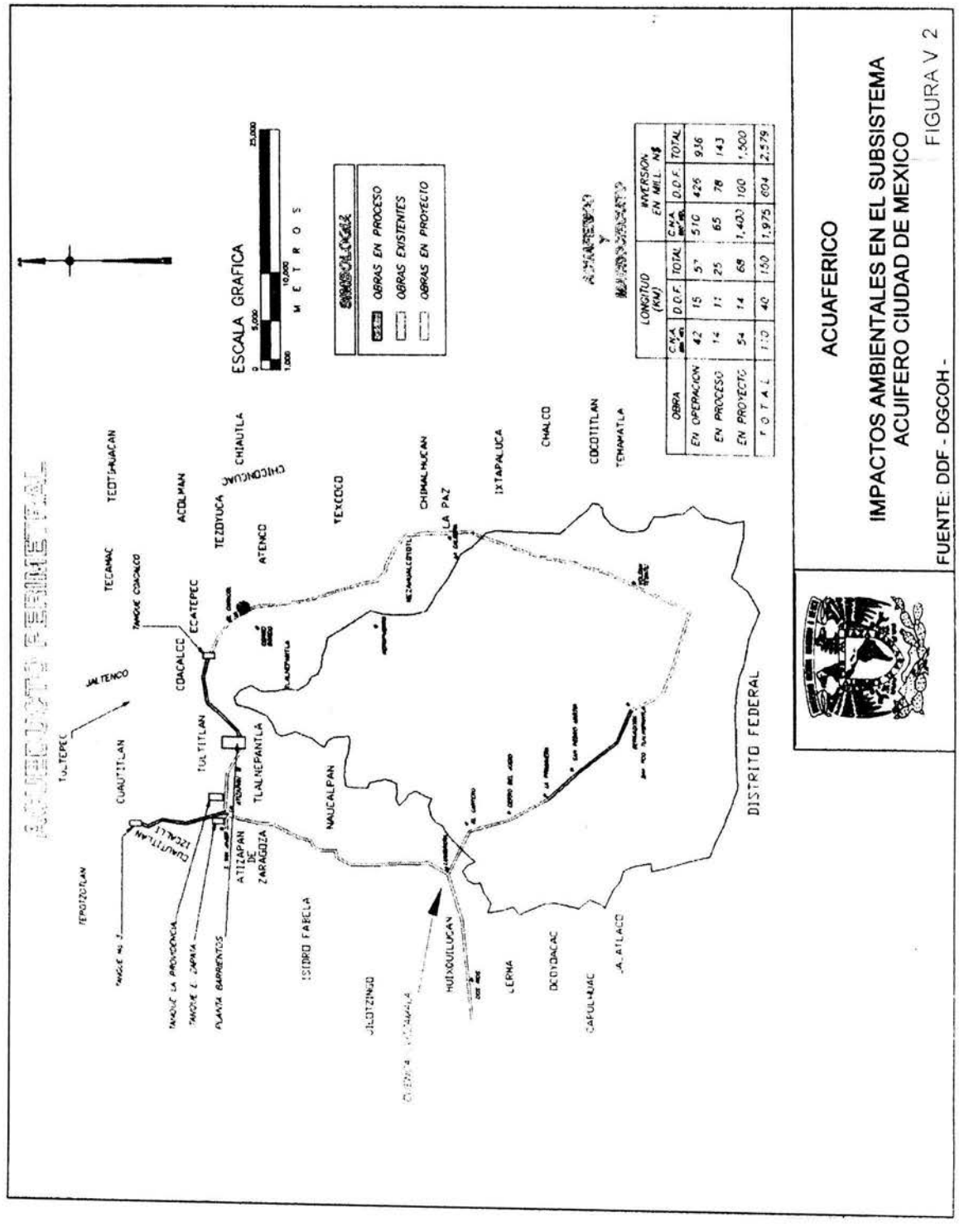
En la zona oriente de la ciudad agua subterránea presenta altos contenidos de sales, las plantas potabilizadoras realizan un papel clave en la adecuación de estas aguas, para su distribución, en esta zona existen dos tipos de plantas potabilizadoras, de acuerdo del caudal a tratar:

- La que recibe el agua en bloque de una serie de pozos, estos pozos deben tener las mismas características físico-químicas y bacteriológicas de tal manera, que pueda ser aplicado un mismo tren de tratamiento, de este tipo existen 3 plantas en el Distrito Federal.

- Planta ubicada a pie de pozo. Estas plantas se han diseñado con la finalidad de eliminar componentes específicos presentes en el agua extraída en algunos pozos, desde nitratos en Xochimilco hasta sales en Tlahuac e Iztacalco, están constituidas por módulos de tratamiento que dependen del caudal extraído y los parámetros a eliminar.

FIGURA ACUAFERICO

FIGURA V 2



## VI ANALISIS GLOBAL DE POZOS EN OPERACION Y CAUSAS DE SU CANCELACION

El funcionamiento hidráulico del pozo depende del medio en el cual se encuentre perforado. Es lógico observar que los pozos agrupados por zonas geohidrológicas no tienen relación a la Delegación o al sistema al que pertenecen, por lo tanto es precisamente su zona geohidrológica el principal factor para el análisis del pozo.

El 60 % de los pozos tienen más de 20 años, a pesar de que están en el límite de su vida útil es mucho mayor que aquellos que aún les quedan más de 10 años. Los pozos con edad menor de 15 años, son aproximadamente 90 de un total de 571 apenas son el 16 %, características poco halagadoras si se considera la edad como primer factor para programar el mantenimiento o reposición del pozo, el segundo factor que se toma en cuenta son sus características constructivas entre las que destacan la longitud de la cámara de bombeo, mientras esta siga funcionando correctamente, es decir, no tenga desviaciones importantes ni rupturas ni incrustaciones que impidan la colocación de un equipo de bombeo, el pozo seguirá siendo útil.

Los equipos de bombeo también pueden ser causa de la generación de problemas durante la operación de un pozo. La falta de medición para detectar la baja eficiencia en el funcionamiento del conjunto motor-bomba, la falta de sumergencia y el nulo mantenimiento en algunos de los componentes, redunda en problemas que podrían evitarse con un adecuado programa de medición de eficiencia electromecánica y niveles de agua aunado a un programa adecuado de mantenimiento preventivo.

### VI - 1. PROGRAMAS DE REPOSICION Y REHABILITACION DE POZOS

Anualmente la Dirección Técnica en colaboración con la Dirección de operación realiza un análisis de los pozos que tienen mal funcionamiento, los cuales son incorporados a los programas de reposición o rehabilitación de pozos según sea el caso.

Para la realización de este programa se conjuntan diversos criterios, el más importante es la medición del caudal. Regularmente existe un descenso en él con el paso del tiempo, la Dirección de Operación realiza mantenimiento de tipo preventivo a los equipos de bombeo por lo que es de suponer cualquier problema detectado es de pozo.

Entre la problemática más común asociada a la operación de pozos, está la incrustación de minerales en la abertura de las ranuras de aforo, el asolvamiento de la perforación, la corrosión del ademe situaciones que provoca colapso de la tubería y la obstrucción de la perforación; cuando se han afectado en los ademes se procede a su limpieza en forma mecánica, que consisten principalmente en el desazolve de la cámara de bombeo, cepillado de la tubería y su desinfección.

Si la problemática incluye reducción de la cámara de bombeo de, si carece de cámara de captación suficiente, tiene problemas de verticalidad, colapsos o producción de arenas, el pozo se manda a reponer.

## VI - 2. PROGRAMA DE PARO DE POZOS

### VI - 2.1. CRITERIO PARA DETERMINAR SI UN POZO SALE DE OPERACION O SE MANTIENE COMO ACTIVO EN EL SISTEMA

En condiciones normales de operación de un acuífero con explotación normal, un pozo es susceptible de salir de operación por diversas causas pudiendo ser estas de índole constructivo, geohidrológico u operacional, desde el punto de vista constructivo un pozo se debe parar cuando se tenga lo siguiente:

1. Reducciones en el ademe y por no contar con suficiente cámara de bombeo.
2. Pozos poco profundos, la cámara de captación no es suficiente.
3. La captación aporta muy bajo caudal y no es económicamente posible continuar con la operación.
4. El agua es de naturaleza corrosiva.
5. Incrustación de la parte ranurada en los ademes de los pozos.
6. Problemas de verticalidad en la cámara de bombeo.
7. Colapsos que ocasionan introducción de arenas.

Desde el punto de vista geohidrológico, se tienen las siguientes causas:

1. Si la zona esta declarada en veda.
2. Que la calidad del agua se haya degradado de tal forma que no sea apta para consumo humano.
3. Si existen afectaciones a obras civiles o terrenos por la sobreexplotación.
4. Peligro de agotamiento de acuíferos con evolución negativa. Al detectar una evolución abrupta de los niveles.

El aspecto operacional contempla otras causas:

1. Pozos muy cercanos entre sí con sobreposición de sus conos de abatimiento
2. Producción de arenas o corrosión de las partes del equipo de bombeo.
3. Captación de una fuente más económica y eficiente que sustituya el caudal del pozo. Cuerpos extraños atrapados en el interior, bombas o partes del mismo equipo de bombeo que no se hallan podido recuperar e impidan la colocación de un nuevo equipo.

En el caso del acuífero que subyace a la ciudad de México se han realizado estudios suficientes como para comprender que no es tan fácil poder parar un pozo ya que también existen los aspectos sociales. Pueden eliminarse una fuente subterránea en cualquier sitio pero antes de hacerlo se debe reponer su caudal. Cualquier pozo que salga de operación estará beneficiando al acuífero siempre y cuando el caudal que lo sustituya no provenga del mismo, los resultados se acumulan y redundan en recuperación de los niveles de agua subterránea por tratarse de un sistema cerrado.

## VI - 2.2. POZOS PARADOS PANORAMA GENERAL

Para efectuar el paro en la extracción de un caudal subterráneo las causas desde el punto de vista ingenieril son los aspectos geohidrológicos. Sin embargo el aspecto social que rige la supervivencia humana es el principal regulador, de esta forma se considera que el paro debe hacerse en sitios estratégicos de tal forma que no se afecte en gran medida el abasto a la población.

Del estudio de la zonificación geohidrológica, se observa que la zona de lago presenta mayor afectación en cuanto a hundimientos, principal parámetro de comparación para tasar la sobreexplotación.

## VI - 2.3. PROGRAMA DE PARO DE POZOS POR LA ENTRADA DE CAUDALES DE CUTZAMALA.

En la zona geohidrológica I (zona de lago donde la recarga depende de las partes altas), se tienen operando 67 pozos, que se encuentran conectados a la red. Constituyendo baterías que, alimentan las zonas hacia donde no es posible perforar pozos, por problemas de calidad, los hundimientos son máximos en donde es mayor el espesor de la arcilla. Es casi nula la infiltración lateral, al estar perforados el 60% de los pozos en la zona de recarga lo cual no permite el avance del agua de las partes altas hacia el acuífero central, este fenómeno también es causante de que el acuífero libre se expanda. El gobierno de la ciudad adoptó como medida para disminuir el hundimiento importar agua proveniente de la cuenca del río Cutzamala, un caudal de $4m^3/s$ llevando agua hacia las partes altas de las delegaciónes, Tlalpan, Xochimilco, Tlháuac e Iztapalapa. El departamento del Distrito Federal en el año de 1994, inicio un programa de paro de pozos de acuerdo al cual deberían sustituirse 4 $m^3/seg$, extraídos del acuífero.

Como se puede observar los programas de rehabilitación y reposición son necesarios para mantener el suministro de 21 $m^3/s$ que provienen de los acuíferos de Lerma y Valle de México, ya que el déficit en el gasto existe y la importación del Sistema Cutzamala puede variar (tablas VI 1 y VI 2)

TABLA VI 1 CAUDAL PROPORCIONADO POR LOS POZOS QUE OPERA LA DGCOH

| SISTEMA | SUBSISTEMA | CAUDAL AFORADO $m^3/s$ | CAUDAL DE OPERACIÓN $m^3/s$ | No. DE POZOS EN OPERACION |
|---|---|---|---|---|
| NORTE | • POZOS A LA RED | 1.050 | 0.913 | 27 |
| | • CHICONAUTLA | ---- | 1.411 | 28 |
| SUR | • COYOACAN | ---- | 4.061 | 92 |
| | • MILPA ALTA-TLAUAC | 1.622 | 1.393 | 29 |
| | • TLALPAN | ---- | 1.346 | 50 |
| | • XOCHIMILCO | 2.648 | 2.283 | 48 |
| ORIENTE | • POZOS A LA RED | ---- | 2.513 | 50 |
| | • PLANTA ORIENTAL | 0.185 | 0.068 | 2 |
| | • PLANTA STA. CRUZ MEYEHUALCO | 0.068 | 0.037 | 1 |
| PONIENTE | • POZOS A LA RED | 0.453 | 0.241 | 13 |
| CENTRO | • POZOS A LA RED | 1.911 | 1.750 | 54 |
| | **TOTAL** | | **16.016** | **394** |

FUENTE DGCOH AGOSTO DE 1995

TABLA VI 2 VOLUMEN APORTADO POR EL SISTEMA CUTZAMALA GAVM PERIODO DEL 16 DE MARZO AL 15 DE JULIO 1994

Cauda! mensual mínimo enviado a el D. F. = 8.5 $m^3/s$

| MES | PERIODO | ACUEDUCTO | CAUDAL ENVIADO A EL D. F. $m^3/s$ | CAUDAL ADICIONAL $m^3/s$ | VOLÚMEN ADICIONAL EN EL PERIODO COMPRENDIDO $m^3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ABRIL | 16 MAR | CRUZ DE LA MISION | 4.324 | .821 | 2,198,966 |
| (31 dias) | 15 ABR | TUNEL ANALCO-SAN JOSE | 4.997 | | |
| MAYO | 16 ABR | CRUZ DE LA MISION | 4.692 | 2.075 | 5,736,960 |
| (31 dias) | 17 MAY | TUNEL ANALCO-SAN JOSE | 5.933 | | |
| JUNIO | 18 MAY | CRUZ DE LA MISION | 4.483 | 1.757 | 4,402,339 |
| (29 dias) | 15 JUN | TUNEL ANALCO-SAN JOSE | 5.774 | | |
| JULIO | 16 JUN | CRUZ DE LA MISION | 4.530 | 1.497 | 3,880,224 |
| (30 dias) | 15 JUL | TUNEL ANALCO-SAN JOSE | 5.467 | | |

Q med. 1.538 $m^3/s$

VOLÚMEN TOTAL 16,218,489 $m^3$

VOL PROGRAMADO 18,152,000 $m^3$

VOL ENTREGADO 16,218,489 $m^3$

DIFERENCIA 1,933,551 $m^3$

## VI - 2.4. ANALISIS DEL PROGRAMA DE PARO DE POZOS.

Los programas que realiza la DGCOH en el buen mantenimiento del sistema de operación, no impide que algunos pozos no se mantengan en operación el tiempo suficiente de vida útil programada, debido a que es mayor la demanda que la oferta. Los pozos tienen que ingresar al programa de rehabilitación antes de amortizar los recursos monetarios de una nueva perforación tal como se muestra en las tablas siguientes (VI-3 y VI-4)

TABLA VI-3, RELACION DE ALGUNOS DE LOS 57 POZOS QUE QUEDARON FUERA DE SERVICIO EN LOS MESES: MAYO JUNIO Y JULIO DE 1994

| NOMBRE DEL POZO | GASTO l/s | FECHA FUERA DE OPERACION | SITUACION EN 1989 |
|---|---|---|---|
| CRISTO REY | 50 | REHABILITACION 1994 | MALA CALIDAD |
| STA. LUCIA MIXCOAC | 30 | REHABILITACION 1994 | ---- |
| ARENAL DE SAN ANGEL | 22 | REHABILITACION 1994 | REPUESTO OPERANDO |
| LA HUERTA | 25 | REHABILITACION 1994 | REPUESTO OPERANDO |
| PANAMERICANA | 27 | REHABILITACION 1994 | MALA CALIDAD |
| VALLE DEL TEPEYAC | 83 | REHABILITACION 1994 | MALA CALIDAD |
| MARINA NACIONAL No 4 | 18 | REHABILITACION 1994 | REPUESTO OPERANDO |

FUENTE: "ANALISIS DE LOS EFECTOS Y POLÍTICAS DE OPERACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN EL D. F." TASA, S. A. DE C. V. DICIEMBRE DE 1995. AUMENTAD EN SU ÚLTIMA COLUMNA PARA TRABAJO DE TESIS

TABLA VI-4, RELACION DE AÑO DE PERFORACION DE ALGUNOS POZOS QUE OPERA LA DGCOH

| NUMERO DE POZO | NOMBRE DEL POZO | AÑO DE PERFORACION |
|---|---|---|
| 181 | CRISTO REY | 1991 |
| 147 | SANTA LUCIA MIXCOAC | 1993 |
| 135 | • ARENAL DE SAN ANGEL | 1959 |
| 21 | • LA HUERTA | 1993 |
| 99 | PANAMERICANA | 1992 |
| 321 | VALLE DE TEPEYAC | 1990 |
| 85 | MARINA NACIONAL No. 4 | 1993 |

FUENTE: "ANALISIS DE LOS EFECTOS Y POLÍTICAS DE OPERACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN EL D. F." TASA, S. A. DE C. V. DICIEMBRE DE 1995.

- POZO COMPRENDIDO EN EL PROGRAMA REPOSICION DE 1996

## VI - 3. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL PARO DE POZOS.

Los pozos marcados como fuera de operación deben ser captaciones que cumplan con las siguientes condiciones.

1. - Se ubican cerca de una línea de red primaria tanque o rebombeo y el caudal suministrado en su área de influencia es sustituido con el aportado por el del sistema Cutzamala.

2. - Se sustituye con agua de mejor calidad que la extraída por el pozo.

3. - El caudal aportado es poco y fácilmente substituible con la aportación que lleva la red secundaria.

4. - Pozos ubicados en la zona de recarga y su clausura sirva para la recarga del acuífero central

Estos pozos deben estar ubicados en el poniente de la ciudad por ser la entrada del sistema Cutzamala y es la zona beneficiada con el incremento de este caudal.

# VII PROBLEMÁTICA DETECTADA EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE Y EL ACUÍFERO

## VII. 1 FUGAS

Tienen su origen en las características propias del subsuelo, compuesto por arcillas de gran deformabilidad, aunado al detrimento de los componentes hidráulicos. El sistema de distribución de agua potable presenta problemas de diversa índole, entre los que destacan:

1. La vida útil de muchas de las redes de distribución han sido rebasadas.
2. El crecimiento de la población y la construcción de unidades multifamiliares que aceleran, la vida útil de la infraestructura de distribución.
3. La existencia de conexiones entre las tuberías de diferente material.
4. Cruce de tubería y hundimientos diferenciales en las zonas de transición.
5. Falta de aplicación de la normatividad en el tendido de las tuberías en el subsuelo.

Se maneja un valor de 30% del volumen perdido en fugas en las redes primarias, secundarias y tomas domiciliarias. Actualmente se está llevando a cabo una serie de mediciones en tomas domiciliarias como parte de una nueva metodología para la detención de fugas. Así mismo, se intentan cuantificar las pérdidas, haciendo mediciones en la red secundaria, dividendo la ciudad en distritos pitométricos.

## VII - 2 FENÓMENO DE HUNDIMIENTO EN LA ZONA METROPOLITANA

### VII - 2.1. ESPESORES Y CARACTERÍSTICA GEOHIDROLÓGICAS DE LAS ARCILLAS.

Los depósitos arcillosos que forman la parte superficial del valle tienen un espesor que fluctúa entre 40 y 60 m y van adelgazándose hacia las estibaciones de los cerros. En las partes centrales de las zonas de Texcoco y la zona comprendida entre Tláhuac y Chalco, estos estratos se encuentran intercalados con horizontes arenosos que llegan a presentar espesores de más de 100 m.

Estos depósitos arcillosos no son homogéneos, de modo que verticalmente presentan dos horizontes diferentes. El primero con un espesor que fluctúa entre 10 y 40 m de profundidad, y hacia abajo continua otro horizonte en el cual se encuentran intercaladas con capas de arenas.

Las arcillas se encuentran saturadas, y el nivel freático varia entre 2 y 3 m; las arcillas más superficiales presentan un coeficiente de compresibilidad que fluctúa de 0.11 a 6 $cm^2/kg$ , una relación de vacios que varía de 2 a 15 y una permeabilidad de $1 \times 10^{-9}$ m/seg .

## VII- 2.2. ESFUERZOS TOTALES NEUTROS Y EFECTIVOS

En una masa de suelo existen esfuerzos producidos por el peso propio del suelo. En mecánica de suelos se acostumbra clasificar los esfuerzos en totales, neutros y efectivos y la relación que existe entre estos parámetros lo expresa la siguiente fórmula:

$$P = p + u$$

Donde:

P = Esfuerzo total, es un esfuerzo debido al peso de la fase sólida y líquida que constituye un suelo y su magnitud (P), para un estrato que se le considere homogéneo con peso volumétrico ( $\gamma_m$ ), a una profundidad (h) es: $P = \gamma_m h$.

u = Esfuerzo neutro de poro, éste esfuerzo es producto de la presión hidrostática que produce el agua intersticial, su magnitud para una profundidad (z) medida a partir del nivel de aguas friáticas (N.A.F.)[1] es $u = \gamma_w h$; produciendo esfuerzos de tensión o compresión, dependiendo si (z) se mide a partir del N.A.F., hacia arriba o hacia abajo respectivamente. Sin embargo cuando eliminamos el esfuerzo que soporta la fase líquida tenemos:

$$p = P - u$$

Donde: p = Esfuerzo efectivo o intergranular debido al esfuerzo de la fase sólida, de ésta manera como se comportan las arcillas del Valle, que una vez consolidadas, el efecto es irreversible. De forma gráfica, se acostumbra representar los esfuerzos de la siguiente manera.

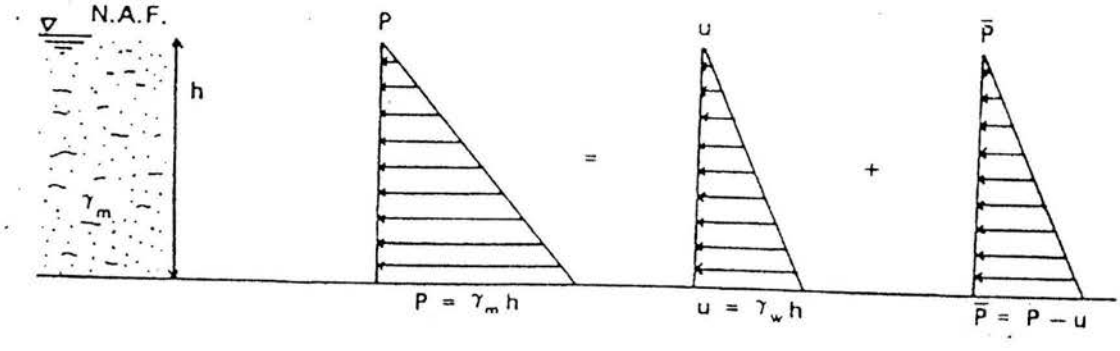



FIGURA No. VII 1

(1) nivel de aguas friáticas (N.A.F.)

## VII - 2.3. COMPRESIBILIDAD DE SUELOS FINOS

La consolidación primaria ocurre en suelos finos plásticos, de baja permeabilidad, en los que el tiempo que tarda para producirse es función del tiempo de expulsión del agua que los saturan, después de sufrir este proceso sucede la consolidación secundaria, deformación similar al comportamiento de un cuerpo viscoso; este proceso continúa durante muchos años.

Para las arcillas inorgánicas saturadas que forman la parte superficial de los Valles de la Ciudad de México el componente más importante es la consolidación primaria, despreciándose la deformación secundaria por ser insignificante.

$$\Delta Ht = \Delta Hp$$

Donde:
$\Delta Ht$ = Asentamiento total
$\Delta Hp$ = Asentamiento por consolidación secundaria

Durante este proceso de consolidación la posición relativa de las partículas sólidas sobre un mismo plano horizontal permanece igual; así, el cambio de volumen del suelo se debe al movimiento de las partículas de suelo solo en dirección vertical; esta es la consolidación unidireccional o unidimensional de Terzaghi.

## VII - 2.4. ANALOGÍA DE LA MECÁNICA DE TERZAGHI EN LAS ARCILLAS DEL VALLE

La teoría de la compresibilidad de las arcillas y hundimiento del terreno ocasionado por la pérdida de presión que provoca el bombeo de pozos, fue explicada originalmente para el valle de México por Nabor Carrillo (1969). Se considera un estrato de suelo de extensión infinita según un plano horizontal y de espesor (H), tal que la presión debida al peso propio del suelo y del agua de él mismo pueda considerarse despreciable a un incremento de presión producida por cargas aplicadas tal como lo muestra el siguiente esquema

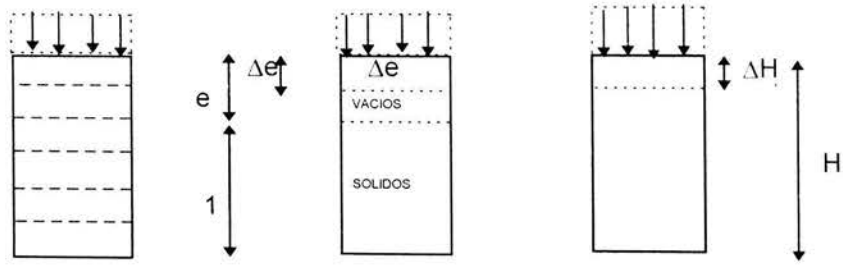



FIGURA No. VII 2

En la parte derecha se representa un estrato de espesor H con su asentamiento debido al mismo incremento de carga, de esta figura se deduce que:

$$\frac{\Delta H}{\Delta e} = \frac{H}{1+e}$$

Por lo tanto el orden de magnitud de los asentamientos por consolidación primaria total es;

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1+e} H$$

Se considera que el agua sólo podrá drenarse por su frontera superior del estrato considerándose confinado inferiormente por una frontera impermeable, considerando a estas condiciones aplicadas al estrato un incremento de presión ($\Delta p$). Una vez de su aplicada esta se soporta íntegramente por el agua intersticial, que adquire una presión mayor a la hidrostática.

Al cabo de cierto tiempo ("t") escapa cierta cantidad de agua por la superficie superior y consecuentemente, el exceso de presión hidrostática disminuye y parte de la carga $\Delta p$ se transfiere a la estructura sólida del suelo.

## VII - 2.5. HUNDIMIENTOS

El abastecimiento de agua potable a la ciudad de México se realiza principalmente por pozos profundos, actualmente 74% del gasto proviene de fuentes propias y de éste el 94% proviene del acuífero de la ciudad, y cuenca del Lerma, debido a que la explotación es mayor que la recarga se origina la sobreexplotación. Dentro de los efectos colaterales que genera está el abatimiento de niveles piezométricos y el hundimiento del subsuelo, este último se presenta por la consolidación de las arcillas al romperse el equilibrio hidrostático en los materiales que componen el acuífero, a causa de la extracción del agua por medio de pozos profundos. Este fenómeno se presenta con mayor magnitud en las zonas donde los espesores de arcillas son mayores.

Con la información recabada hasta el año de 1968, se pudo comprobar que el hundimiento de la ciudad de México pasó por tres etapas, comprendidas en los siguientes periodos; de 1898 a 1937, el hundimiento es prácticamente lineal de 4 cm/año. La segunda fase del proceso se marca de 1937 a 1947 donde también es de tipo lineal con un hundimiento medio de 14 cm/año. De 1947 a 1968, se marcó otra etapa en la que se registraron velocidades de hundimiento de 40 centímetros por año o mayores al inicio de la misma y que tiende a disminuir en forma progresiva hasta llegar al final de esta etapa con valores de 10 cm/año (fig.VII 3 )

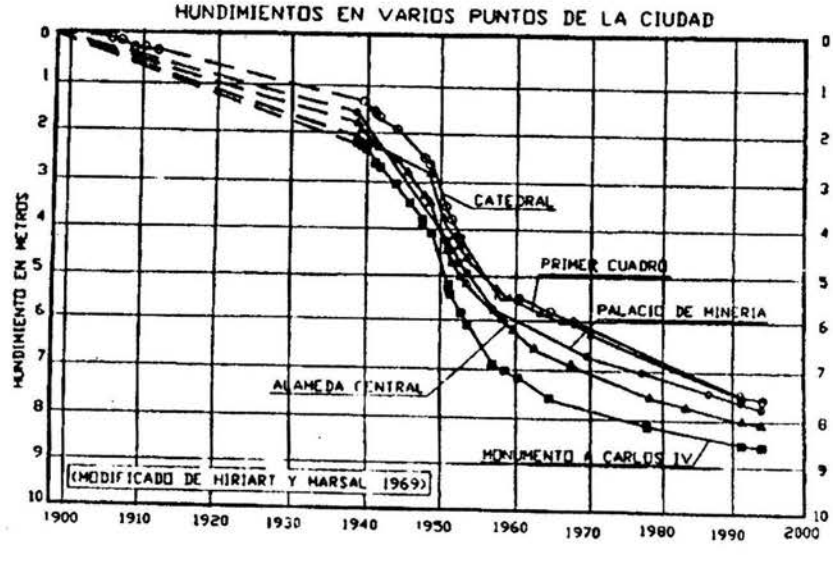



FIG VII 3

HUNDIMIENTOS EN DIFERENTES MONUMENTOS HISTORICOS DE LA CIUDAD.

## VII - 2.6. EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA Y HUNDIMIENTO DEL TERRENO

En la figura VII 4 se muestra el hundimiento del terreno y, la extracción de agua subterránea en el centro de la Ciudad de México, observándose que la extracción alcanzó su mayor nivel en las décadas de los 1940-1950, período en el que el hundimiento del terreno se aceleró. A partir de los 60`s, la extracción en el centro de la ciudad ha disminuido notablemente y el hundimiento continua aunque en menor grado.

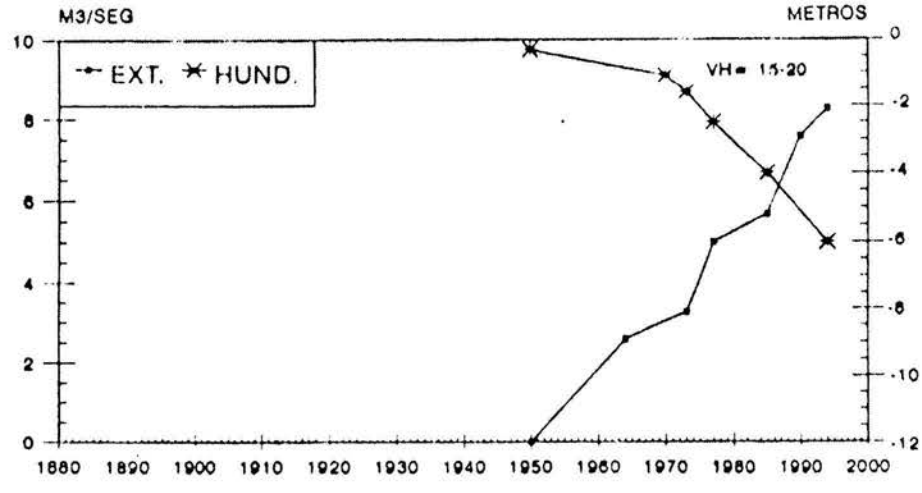



FIGURA VII 4
HUNDIMIENTOS EN EL CENTRO DE LA CIUDAD

Hacia el sur del Distrito Federal, en el área de Xochimilco-Chalco, la extracción se inició en la década de los 60`s, fecha a partir de la cual se ha ido incrementando hasta nuestros días. Por lo que respecta al hundimiento, éste se registra en forma notable a partir de la explotación acuífera de los años 60`s. (figura VII 5 )

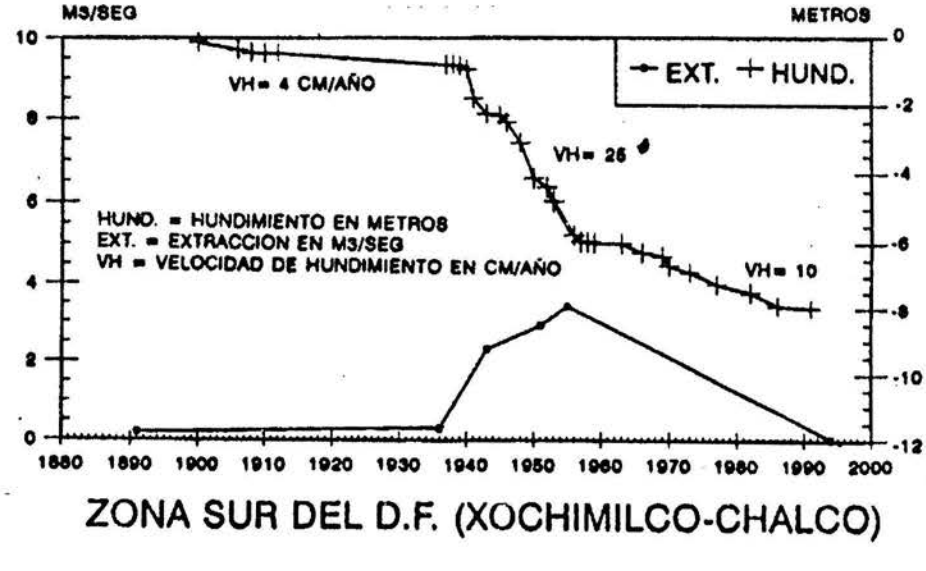



FIGURA VII 5
HUMIENTOS EN LA ZONA SUR DE LA CIUDAD

## VII - 2.7 ANÁLISIS DE HUNDIMIENTOS Y SU RELACIÓN CON LOS NIVELES PIEZOMETRICOS Y ESPESORES DE ARCILLA DEL ACUÍFERO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Con la información obtenida de las diferentes nivelaciones realizadas a partir de 1983 a 1994 (Fig. VII 6 y VII 7) y de los espesores de arcillas, la información de niveles piezométricos, se realizaron análisis de hundimientos con planos de piezometría, tanto para un periodo largo (10 años) como para uno corto (un año). Es conveniente puntualizar algunos aspectos.

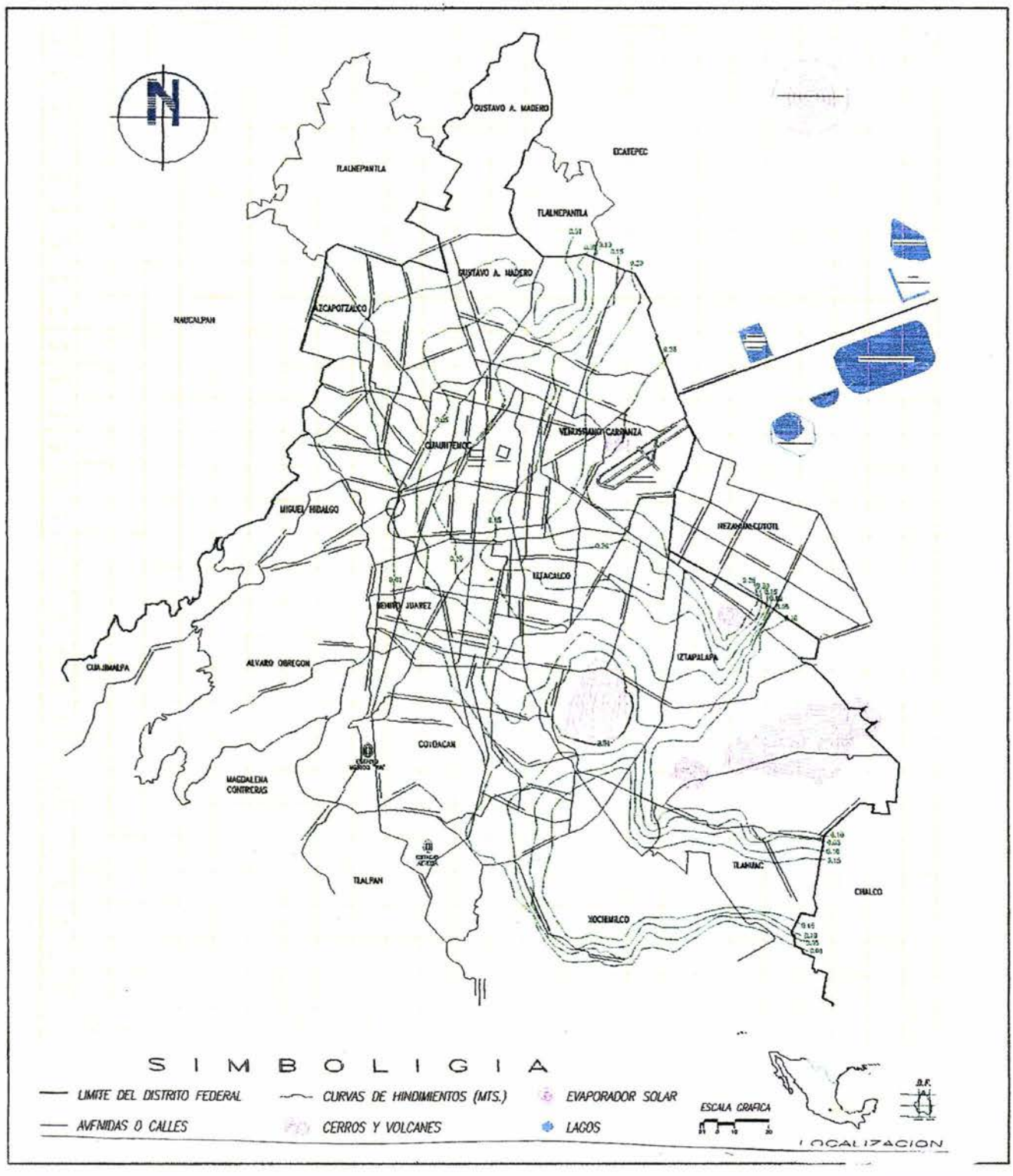
- Sabiendo la estrecha relación entre el hundimiento con la capa de arcillas, se elaboró un plano en el cual se sobrepuso la configuración de hundimientos 1983 - 1994, y el plano de espesor de arcillas.

- El hundimiento se ha relacionado con la ruptura del equilibrio de la estructura de las capas arcillosas por el sobrepeso de edificios se ha demostrado que lo realmente desastroso no es el peso sino el agua que se extrae durante la etapa de construcción de las obras subterráneas, desafortunadamente no se cuenta con información de caudales que puedan darnos indicios de la cantidad de agua extraída, pero si algunos reportes gráficos de los daños ocasionados por el bombeo de agua fréatica.

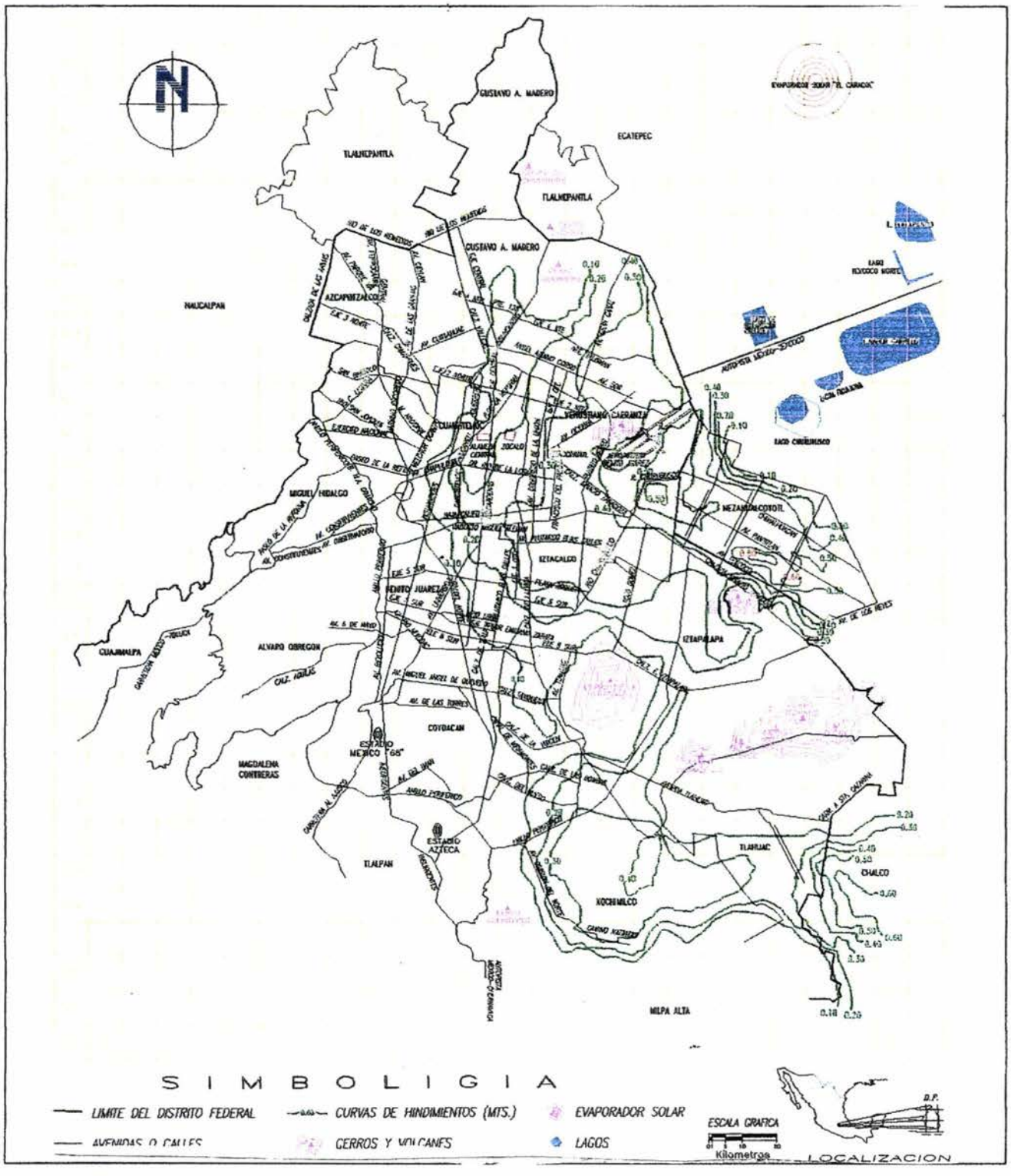
- Últimamente se ha manejado la tesis de que si el acuífero se hace libre, el hundimiento disminuye, es decir, que entre más profundo esté el nivel estático con respecto a las arcillas el fenómeno del goteo disminuye o desaparece. Esto parece muy lógico pero no ha sido probado plenamente; Cuando el agua subterránea deja de tener contacto con el agua de las arcillas, el nivel de la primera baja con rapidéz causando problemas durante la operación de pozos.

## VII - 2.8 HUNDIMIENTO MEDIO ANUAL

El hundimiento medio anual tiene valores máximos de 30 cm. en los límites entre el Distrito Federal y Ciudad Nezahualcoyotl; entre 20 y 25 c m. anuales de hundimiento en el Aeropuerto Internacional Benito Juárez; alrededor de 10 cm. en el centro de la ciudad; entre 2 y 5 cm. en el área de Azcapotzalco; alrededor de 15 cm. En el área de Xochimilco y el Canal de Chalco en el tramo donde se ubica la batería de pozosTlahuac-Neza.




| | |
|---|---|
| | HUNDIMIENTO MEDIO ANUAL PERIODO 1983 - 1994 |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: SEMARNAP - CNA, DDF - DGCOH — FIGURA VII - 6 |




| | |
|---|---|
| | HUNDIMIENTO TOTAL PERIODO 1992 - 1994 |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: SEMARNAP - CNA, DDF - DGCOH — FIGURA VII 7 |

## VII - 3. CAMBIOS EN EL CICLO HIDROLÓGICO EN LA ZMCM

### VII - 3.1. MODELOS MATEMÁTICOS DE CALIDAD DEL AMBIENTE EN APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

La predicción de los impactos sobre el ambiente requiere modelar las acciones de la actividad por estudiar e inferir las respuestas antes de llevar a cabo la acción. Esta predicción ahorrará costo, tiempo y daños en el ambiente.

Anteriormente no se contemplaba o no se tenia de forma clara el comportamiento del sistema acuífero, se consideraba que el acuífero de Xochimilco y de la Ciudad de México se encontraban divididos por un parte-aguas hidrodinámico Sin embargo, en fechas recientes se pudo comprobar que estos dos forman uno mismo y que la explotación del acuífero de Xochimilco se encuentra relacionado de forma directa al de la Ciudad de México. La magnitud de los efectos que ocasiona su explotación, la duración de estos, su extensión, nivel de confianza y la certidumbre de los impactos que pudiera seguir ocasionando.

Este modelo matemático representa la forma más acertada de conocer el comportamiento del acuífero ya que se basa en la ecuación de la continuidad, evaluado con parámetros geohidrológicos referentes al sistema acuífero sirve como elemento de comunicación para sintetizar los conocimientos de muchas personas de distintas especialidades, a fin de enfocar problemas de naturaleza interdisciplinaria.

## VII - 3.2. RESERVAS

La cantidad de agua libre almacenada por él terreno acuífero en el transcurso de una recarga importante, por medio de la alimentación natural, es denomina **reserva reguladora** (figura VII-8)**.** Sufre por consiguiente, las consecuencias del ritmo estacional o inter anual de las precipitaciones.

Las reservas reguladoras tienen en estrecha relación con las variaciones del nivel piezómetrico y las fluctuaciones de la superficie piezométrica de los mantos subterráneos. Permiten una explotación de un valor medio referido a un periodo relativamente largo, estacional o anual. Las **reservas permanentes o profundas,** guardan relación con el ciclo plurianual de las precipitaciones, permiten una explotación regularizada para períodos de varios años. Un caso límite lo representan las aguas fósiles. La suma de las dos es la totalidad del agua libre contenida en una capa acuífera, y constituyen las **reservas totales**. Que son las que se encuentran dentro de la cuenca.

Las reservas totales no pueden ser explotadas por razones técnicas o de seguridad, la cantidad máxima de agua libre que puede obtenerse constituye la reserva de explotación. Esta reserva se conoce como "rendimiento seguro". Cuando por medio de pozos profundos se extrae agua de estos depósitos en un volumen mayor a su recarga anual, se dice que se esta sobreexplotando el acuífero. Esto es precisamente lo que se ha estado realizando en los acuíferos de la Ciudad de México desde hace ya varias décadas.

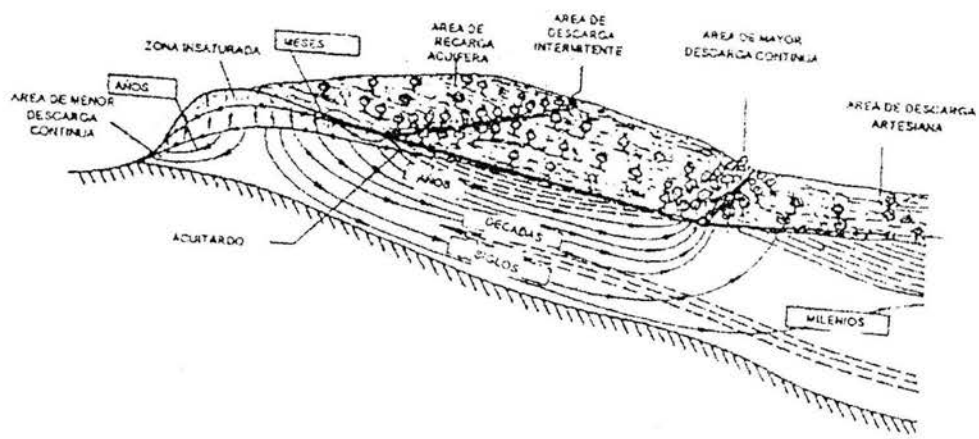



FIGURA VII 8 Clasificación de las reservas

## VII - 3.3. BALANCE GEOHIDROLÓGICO EN EL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

### VII - 3.3.1. ECUACIÓN DE BALANCE

A la ecuación que expresa el principio de la conservación de la materia aplicado a un acuífero, se le llama **ecuación de balance de agua subterránea**, indica que las estradas de agua al acuífero son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento (figura VII-9), equilibrando el sistema se tiene:

$$Eh + Rv = D + B \pm \Delta\forall$$

Eh = Recarga horizontal al flujo del agua subterránea
Rv = Recarga vertical (Infiltración)
D = Descargas por flujo subterráneo
B = Bombeo
Sh = Salidas

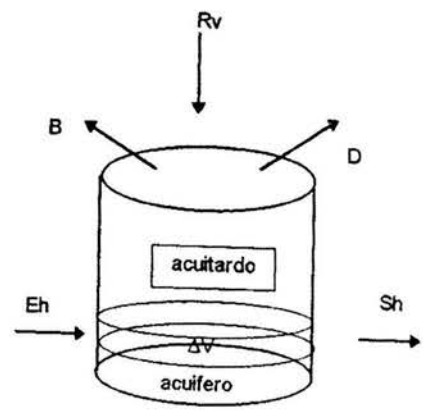



FIGURA VII 9

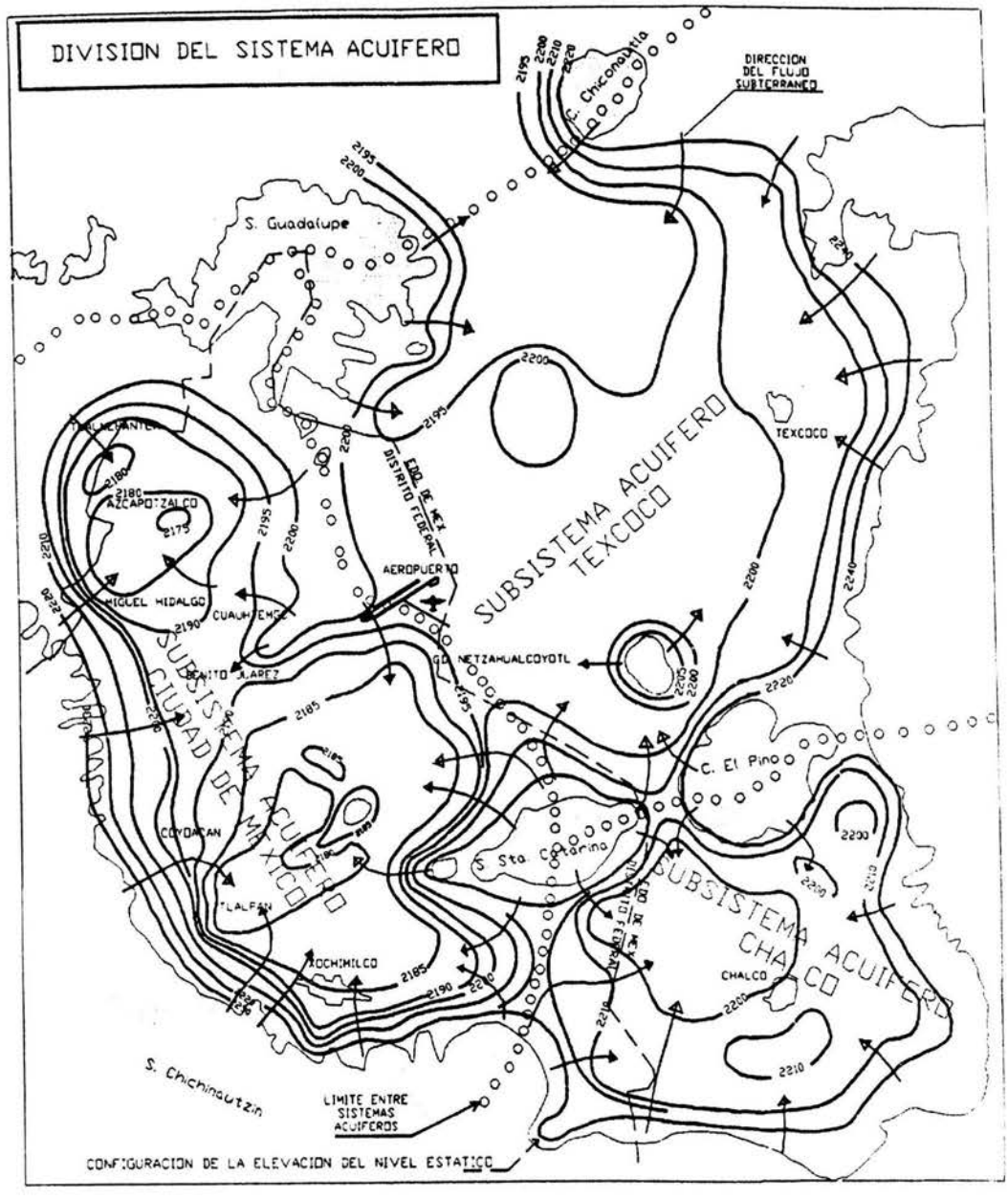
En el caso de la Ciudad de México estimando como área de balance hasta los parteaguas hidrodinámicos y suponiendo que no existen salidas subterráneas, se tiene un sistema cerrado que depende de las siguientes variables.

$$Eh + Rv - B = \pm \Delta\forall$$

### VII - 3.3.2. RECARGA HORIZONTAL AL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA

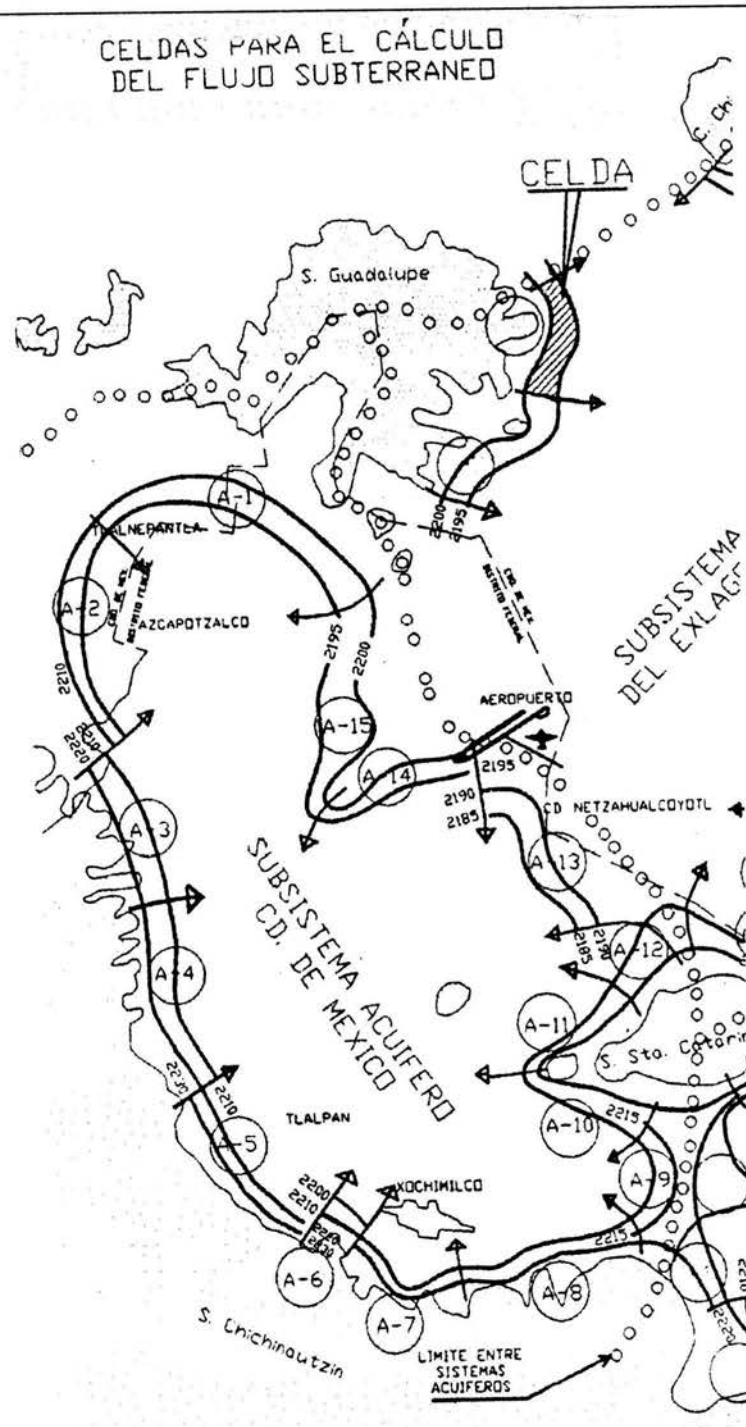
El flujo subterráneo es calculado dividiendo la zona de estudio para cada acuífero en celdas. Denominando una celda al área comprendida entre dos líneas de flujo de agua subterránea y dos equipotenciales, (figura VII 10)

La elevación de los niveles piezométricos a partir del nivel del mar es una forma de representación del acuífero, partiendo de esta elevación y con la teoría de flujo de aguas subterráneas se dividen las celdas del acuífero (figura VII 11).




CONFIGURACION OBTENIDA DE LA PIEZOMETRIA DE 1995, DGCOH

| | |
|---|---|
| | DIVISIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: DDF - DGCOH — FIGURA VII - 10 |




DETERMINACIÓN DEL ACUÍFERO EN CELDAS PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO

FUENTE: DDF - DGCOH

FIGURA VII - 11

## VII - 3.3.3. LEY DE DARCY

$Q = v A \Rightarrow Q = k i A$

Donde:
v = k i (principio universal de las aguas subterráneas)
k = conductividad hidráulica
i = gradiente hidráulico

$\Rightarrow Q = k i ( b * \text{ancho} )$

Donde:
b = espesor del acuífero

| **Q = T * i * ancho** |
|---|
| donde:<br>T = k b (Transmisividad)<br>b = Ancho de la celda |

## VII - 3.3.4. OBTENCIÓN DEL GRADIENTE HIDRÁULICO

Se determina la pérdida de carga hidráulica que se da en determinada longitud por medio de la diferencia de las curvas piezométricas dividido entre la longitud existente entre ellas (figura VII 12)

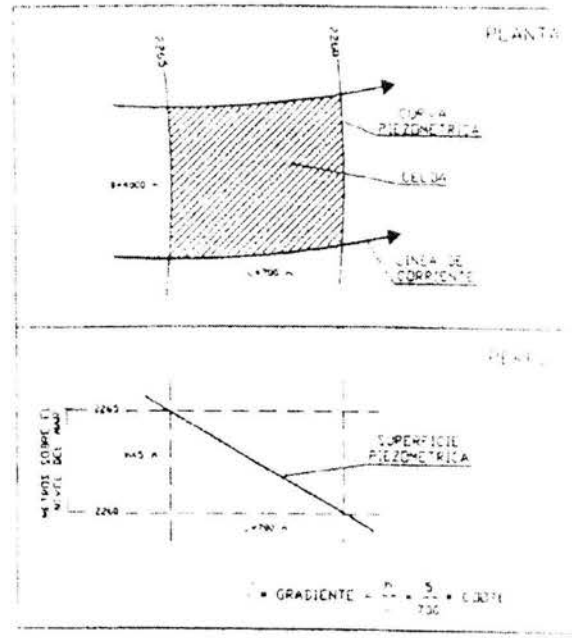



FIGURA VII 12

CÁLCULO DE FLUJO SUBTERRÁNEO

El gradiente hidráulico dentro del esquema de flujo o red piezométrica, presenta los valores más altos a los pies de las elevaciones topográficas. Hacia el centro de el valle el gradiente es nulo En la zona metropolitana de la Ciudad de México, el gradiente varía entre 0.0037 y 0.02 en los flancos del área.

## VII - 3.3.5. TRASMISIBILIDAD

Representa la cantidad de agua que atraviesa por una sección vertical de ancho unitario y altura igual al espesor saturado cuando el gradiente hidráulico es unitario

T=k * b
donde:
b=espesor del acuífero
k=conductividad hidráulica

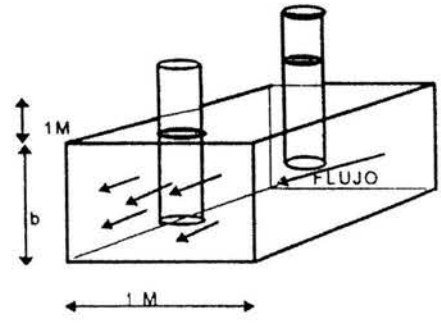



FIGURA VII 13

La trasmisibilidad de las rocas y materiales que constituyen el subsuelo, se asignaron a las diferentes celdas marcadas en la zona de trabajo. A partir de los resultados de pruebas de bombeo y geología. Los resultados de la trasmisibilidad se resumen en de la siguiente tabla.

| ZONA METROPOLITANA | TRASMISIBILIDAD $M^2/S$ |
|---|---|
| *PONIENTE | 0.005 - 0.006 |
| *PIE DE LA SIERRA CHICHINAUTZIN | 0.007 - 0.0011 |
| *FLANCOS DE LA SIERRA SANTA CATARINA | 0.007 - 0.0011 |
| *NORORIENTAL ENTRE EL AEROPUERTO BENITO JUARES Y PEÑÓN DEL MARQUES | 0.005 - 0.006 |

TABLA VII 1 TRASMISIBILIDADES EN EL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

## VII - 3.3.6. CÁLCULO DE ENTRADAS POR FLUJO SUBTERRÁNEO

Una vez obtenidos los parámetros geohidrológicos, se aplicaron a la ecuación de Darcy, De esta forma se calcularon las entradas por flujo subterráneo, del acuífero. (tabla VII 2, figura VII 11)

TABLA No. VII 2

CUANTIFICACIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

| CELDA | LARGO Km. (L) (longitud horizontal entre curvas piezométricas) | GRADIENTE HIDRÁULICO ( i ) X E-03 | ANCHO m. (B) (Longitud horizontal entre líneas de corriente) | TRANSMISIB-ILIDAD (T) $m^2$/seg | CAUDAL $m^3$/s (i x B x T) | VOLÚMEN EN EL AÑO $m^3$ (Millones de metros cúbicos) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A-1 | 1.000 | 5.0 | 12,400 | 0.005 | 0.300 | 9.459 |
| A-2 | 0.700 | 7.1 | 9,100 | 0.006 | 0.387 | 12.222 |
| A-3 | 1.000 | 10.0 | 6,400 | 0.006 | 0.384 | 12.107 |
| A-4 | 0.875 | 11.4 | 7,500 | 0.006 | 0.513 | 16.175 |
| A-5 | 0.500 | 20.0 | 7,850 | 0.006 | 0.942 | 29.701 |
| A-6 | 0.500 | 20.0 | 1,500 | 0.003 | 0.090 | 2.838 |
| A-7 | 0.400 | 25.0 | 7,200 | 0.011 | 1.980 | 62.429 |
| A-8 | 0.550 | 18.2 | 6,200 | 0.011 | 1.241 | 39.136 |
| A-9 | 0.550 | 9.1 | 4,500 | 0.007 | 0.287 | 9.038 |
| A-10 | 1.050 | 9.5 | 5,200 | 0.009 | 0.445 | 14.018 |
| A-11 | 0.600 | 16.7 | 4,700 | 0.009 | 0.706 | 22.273 |
| A-12 | 1.200 | 8.3 | 3,000 | 0.009 | 0.224 | 7.066 |
| A-13 | 1.000 | 5.0 | 7,300 | 0.006 | 0.219 | 6.905 |
| A-14 | 0.700 | 7.1 | 6,800 | 0.005 | 0.241 | 7.611 |
| A-15 | 0.800 | 6.2 | 2,900 | 0.005 | 0.089 | 2.830 |
| A-16 | 1.350 | 3.7 | 5,400 | 0.005 | 0.100 | 3.153 |

Suma 256 961 M*$m^3$/año

CÁLCULO POR FLUJO SUBTERRÁNEO

ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO 256, 961 M*m3/año*

M = Millones de metros cúbicos

## VII - 3.4. CAMBIO DE ALMACENAMIENTO ($\Delta\forall$)

Es el cambio de volumen que sufre un acuífero en cierto intervalo de tiempo debido a la acción combinada de las recargas y descargas.

$$\Delta\forall = \Delta h * A * Sy$$

donde:
$\Delta h$ = evolución del nivel estático
A = Area
Sy = Rendimiento específico (%)

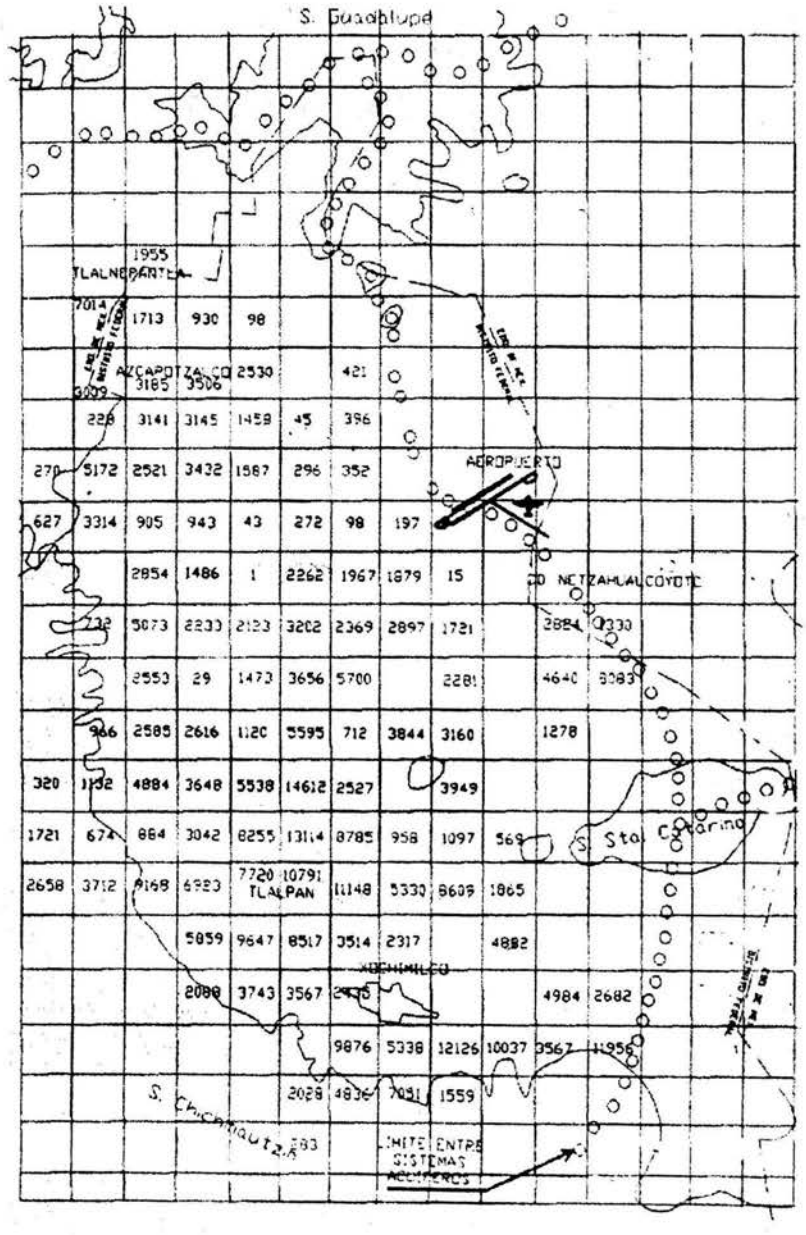
$$Sy = \frac{\forall \text{ drenado por gravedad}}{\forall \text{ total}}$$

| SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO | CAMBIO DE ALMACENAMIENTO M $m^3$/año (Millones de metros cúbicos al año) | $m^3/s$ |
|---|---|---|
| | -12.82 | -0.41 |

## VII - 3.5. EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

La extracción de agua subterránea fue obtenida a partir de censos efectuados en el estudio del Balance Geohidrológico y Recarga al Acuífero en la zona metropolitana de la Ciudad de México, que se actualiza cada año, elaborado por la Subdirección de Programación, Dirección Técnica, DGCOH, (figura VII. 14 ):

| ZONA | EXTRACCIÓN SUBTERRÁNEA M $m^3$/ año (Millones de metros cúbicos) |
|---|---|
| CIUDAD DE MÉXICO | 348 |




| | |
|---|---|
| | DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES DE EXTRACCIÓN |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: DDF - DGCOH |

## VII - 3.6. CÁLCULO DE LA RECARGA POR DRENADO VERTICAL

Las estradas al acuífero corresponden a la recarga por flujo subterráneo y al drenado vertical procedente de las arcillas, las salidas de agua corresponden a la extracción por bombeo, y al cambio de almacenamiento obtenido. Tres de los términos mencionados son conocidos, quedando como interrogante la entrada del drenado de las arcillas, el cual se despeja de la ecuación de balance.

$Eh + Rv - B = \Delta\forall \Rightarrow Rv = -\Delta\forall - Eh + B$

De esta forma:
ZONA METROPOLITANA

$$Rv = -12.82 - 257 + 348 = 78.18 \text{ M m}^3\text{/ año}$$

## VII - 3.7. RECARGA TOTAL

$R_T = R_h + R_v$

| ZONA | RECARGA TOTAL ($R_T$) M $m^3$/ año | RECARGA HORIZONTAL ($R_h$) M $m^3$/ año | RECARGA VERTICAL ($R_v$) M $m^3$/ año |
|---|---|---|---|
| ZONA METROPOLITANA | 335.18 | 257 | 78.18 |

## VII -3.8. EXPLOTACIÓN

$E = R_T - B$

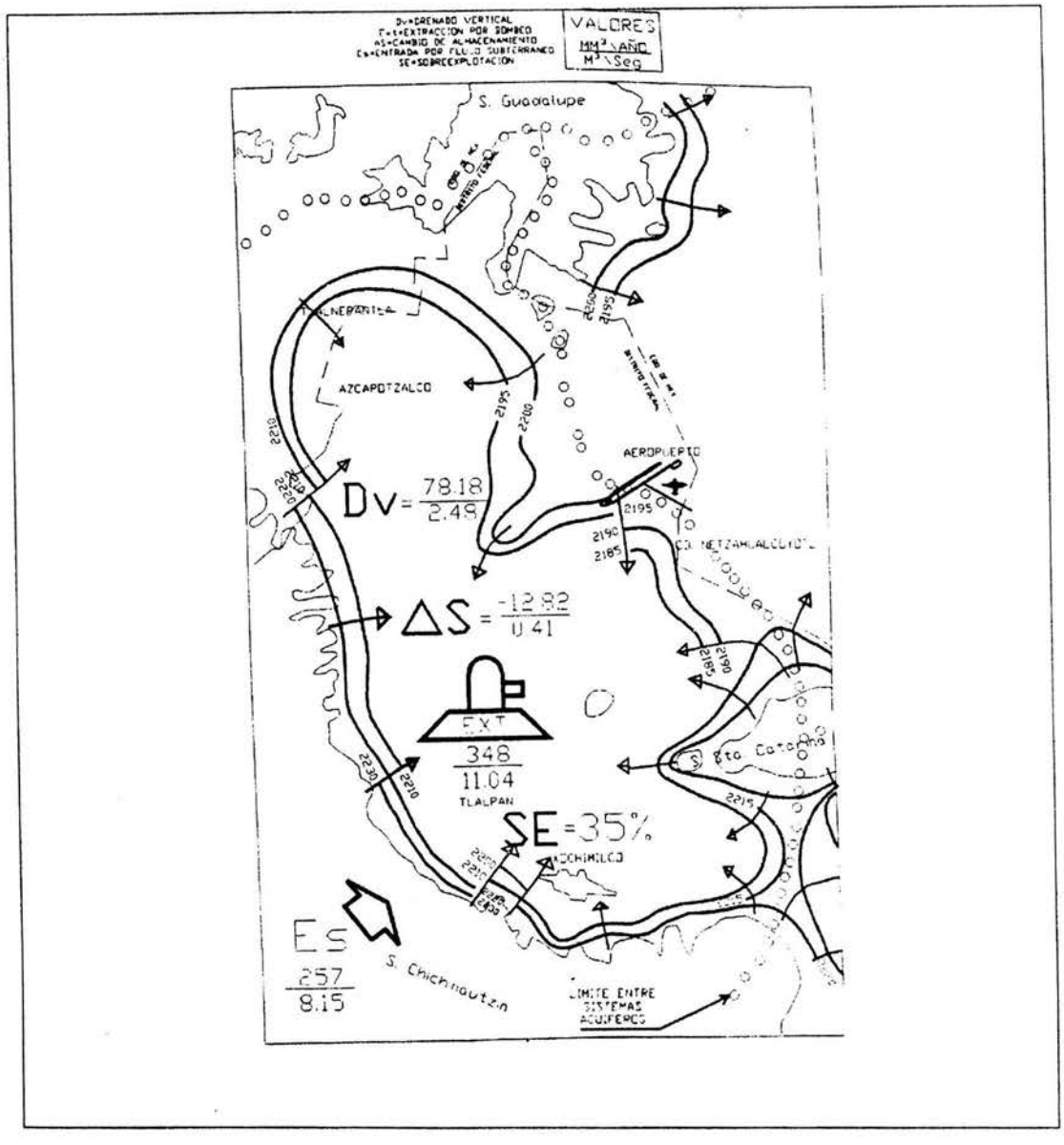
| ZONA | EXPLOTACIÓN M $m^3$/ año | $R_T$ M $m^3$/ año | BOMBEO (B) M $m^3$/ año |
|---|---|---|---|
| ZONA METROPOLITANA | -12.82 | 335.18 | 348.0 |

## VII - 3.9. NIVELES DE EXPLOTACIÓN

Debido a la baja permeabilidad de las arcillas que impide o limita a un mínimo la infiltración de las fugas. Aunado también la entrada de flujo vertical por su escaso aprovechamiento. Estos volúmenes se consideran parte de la explotación.

Obteniendo el volumen de explotación, que dividido entre la recarga por flujo subterráneo, nos da un porcentaje de explotación (fig. VII 15). De esta forma:

| ZONA | NIVEL DE EXPLOTACIÓN | $R_h$ M $m^3$/ año | EXPLOTACIÓN M $m^3$/ año |
|---|---|---|---|
| ZONA METROPOLITANA | 35.4 % | 257 | 78.18+12.82 = 91 |




| | |
|---|---|
| | BALANCE GEOHIDROLÓGICO CIUDAD DE MÉXICO |
| | IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO |
| | FUENTE: DDF - DGCOH FIGURA VII 15 |

FIGURA VII 15

## VII - 4 LAS LÓGICAS DE LA EXPASIÓN Y LA MOVILIDAD URBANA

La ilegalidad en la ocupación del suelo es, uno de los factores que ha conformado parte de los espacios de la Ciudad de México. A partir de 1970, los asentamientos irregulares predominan en la estructura urbana de la Ciudad. En el periodo de 1971-1991, los ritmos de expansión se orientaron hacia las cinco grandes vialidades que conducen a la capital. En este mismo periodo se urbanizan ilegalmente parte de las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco y Magdalena Contreras.

Una vez acaparada la parte plana del valle, se ocupan ilegalmente los terrenos de las partes altas, consolidándose la ciudad de las alturas, donde se anexan las zonas montañosas del Ajusco, Magdalena Contreras y Cuajimalpa.

En el estudio para el plan maestro de drenaje en la ZMVM[1] realizado por el Instituto de Ingeniería, se analiza la evolución de la población. En el periodo de 1980 - 1990 la población creció 1.2 millones aproximadamente, con una expansión en la ocupación de la tierra de 344 $Km^2$ equivalente a una tasa del 3.4 % anual. (superficie equivalente al área urbana que ocupa la Ciudad de Guadalajara).

Comportamiento que tiene su origen en la inversión pública y privada del capital inmobiliario en zonas centrales, produciendo una dinámica modificación de uso del suelo y la sustitución de población originada por actividades comerciales, administrativas y financieras.

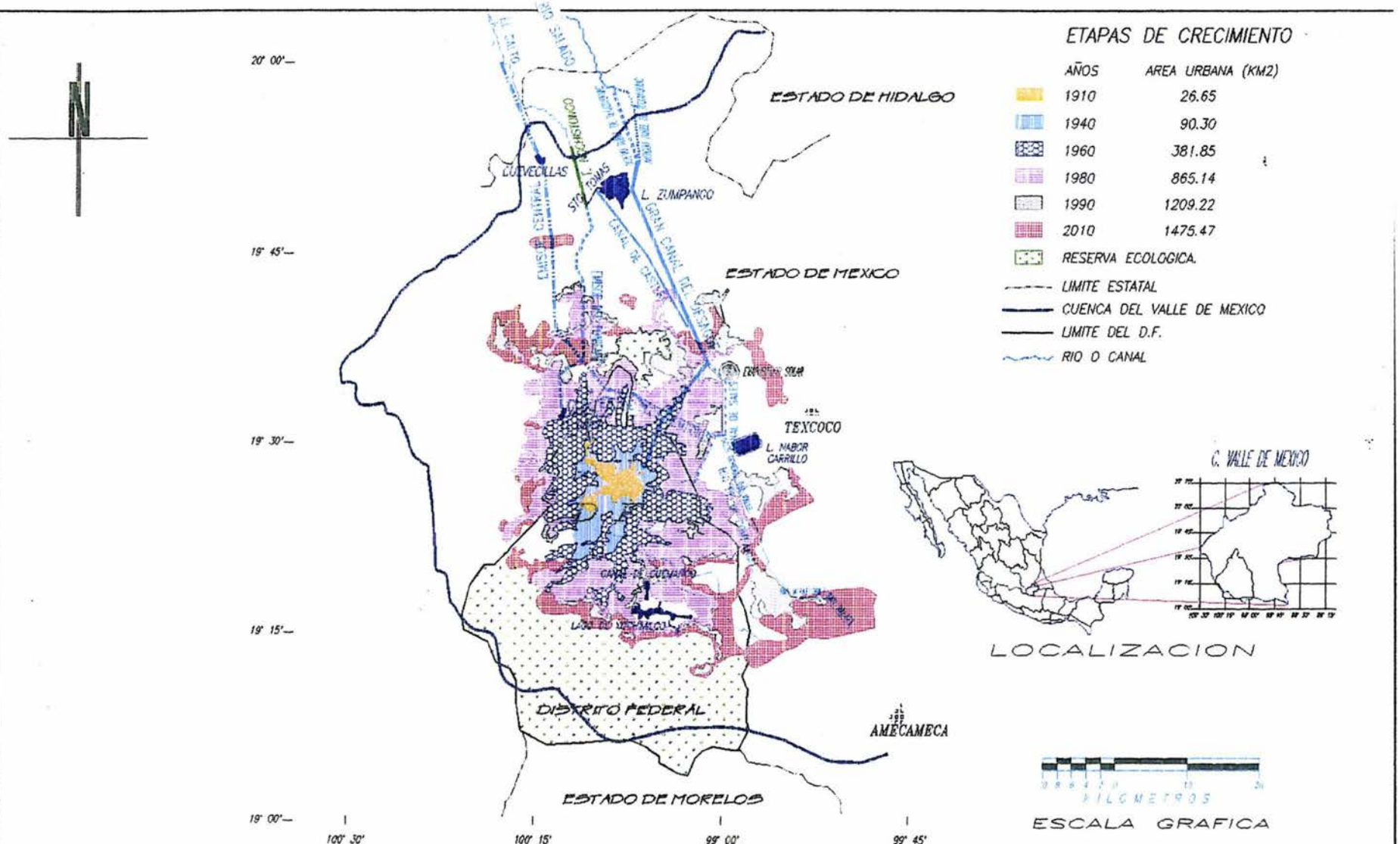
De mantenerse la dinámica de crecimiento del área urbana, las consecuencias serían graves, ya que con una tasa del 3.4 % anual en el lapso 1990-2010, la mancha urbana se incrementara en un 95.4 %, lo que equivale a 1150 $Km^2$.

### VII - 4.1. ANÁLISIS DE LAS POLÍTICAS APLICADAS EN LA SUSTITUCION DE CAUDALES

El agua superficial fue utilizada como complemento para la dotación de agua potable, siendo hasta 1994, que a raíz de las nuevas investigaciones relacionadas con el acuífero de la Ciudad se comenzó en tratar el tema de sustitución de caudales, en cantidad tal que se equilibre con el cambio de almacenamiento, estimándose en 4 $m^3/s$.

Aparentemente con esta cantidad de agua traída de los "excedentes" de la tercera etapa del sistema Cutzamala, se lograría un equilibrio en el acuífero, sin embargo no se analizó su demanda que existía en cada una de las zonas de conducción generando un impacto ambiental al incrementar la disponibilidad de agua en estas zonas, de tal manera que los $4m^3$ que llegarían a Xochimilco, Tláhuac e Iztapalapa se han quedado únicamente en Álvaro Obregón, Cuajimalpa y Tlalpan.

(1) Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)




EVOLUCIÓN DE LA MANCHA URBANA
PERIODO 1910 - 2010

IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO

FUENTE: DGCOH - UNAM

FIGURA VII 16

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

## VII 4. 2 OFERTA-DEMANDA EN EL DISTRITO FEDERAL PARA EL AÑO 1995-2010

A partir de los Censos y Conteo de población del INEGI, se observó que la población había crecido con tasas altas hasta 1980 con una población de 8 831 097 habitantes, población que descendió a 8 235 744 en 1990, teniendo un repunte en 1995 con 8 483 623 habitantes

En él antepenúltimo y último censo se obtiene una tasa de crecimiento de 5.84% anual que se considera aceptable de acuerdo a que el D. F. ha dejado de ser relativamente foco de atracción de población externa, además la evolución de regionalización permite la expulsión de la población a los contornos externos.

| AÑO | POBLACION M DE HAB. | DEMANDA $M^3$/SEG. | OFERTA $M^3$/SEG. | DEFICIT $M^3$/SEG. |
|---|---|---|---|---|
| 1995 | 8 483 623 | 29. 45 | 29.51 | 0.00[1] |
| 1996 | 8 583 000 | 29..80 | 29.51 | 0.29 |
| 1997 | 8 633 126 | 29.98 | 29.51 | 0.47 |
| 1998 | 8 683 543 | 30.15 | 29.51 | 0.64 |
| 1999 | 8 734 255 | 30.33 | 29.51 | 0.82 |
| 2000 | 8 785 263 | 30.50 | 29.51 | 0.99 |
| 2001 | 8 836 569 | 30.68 | 29.84 | 0.84[2] |
| 2002 | 8 888 174 | 30.86 | 30.17 | 0.69 |
| 2003 | 8 940 082 | 31.04 | 30.50 | 0.54 |
| 2004 | 8 992 296 | 31.22 | 30.83 | 0.39 |
| 2005 | 9 044 806 | 31.44 | 31.16 | 0.25 |
| 2006 | 9 097 628 | 31.59 | 31.49 | 1.10 |
| 2007 | 9 150 759 | 31.77 | 31.82 | 0.00 |
| 2008 | 9 204 199 | 31.96 | 32.15 | 0.00 |
| 2009 | 9 257 951 | 32.15 | 32.48 | 0.00 |
| 2010 | 9 366 400 | 32.52 | 32.82 | 0.00 |
| | | | | |

1 Un superávit del recurso en las redes de distribución origina un desperdicio en la población.
2 Se calcula que a partir del año 2001 empieza el funcionamiento del la cuarta etapa de Sistema Cutzamala con una aportación adicional de 5$m^3$/s.

## VIII . LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD

### VIII - 1. EL MARCO LEGAL DE LA GESTION AMBIENTAL

El interés de México por la solución de los problemas ambientales se encuentra plasmado desde 1971, cuando fue decretada la << LEY FEDERAL PARA PREVENIR Y CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL>> (Diario oficial, 23 de marzo de 1971). En esta ley se prescribían las prohibiciones para evitar la contaminación del aire, del agua y del suelo, así como multas a los infractores.

Entre 1972 y 1982 la Subsecretaría del Ambiente tuvo la atribución, de establecer la política general de saneamiento ambiental. Realizo el PROGRAMA NACIONAL DE DESARROLLO ECOLÓGICO DE LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS.

En enero de 1982 se promulgó la <<LEY FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE>> la cual incorpora principios de restauración ambiental, normatividad en los proyectos de desarrollo, y de aprovechamiento de los recursos a partir del ordenamiento ecológico del territorio, derivando en la prevención y control de contaminación ambiental a través de reglamentos y sus normas que sancionaban conductas por impactos ambientales indeseables.

En 1983 se crea la SUBSECRETARIA DE ECOLOGIA donde el tema ambiental adquiere rango federal al ser incluido en el PLAN NACIONAL DE DESARROLLO (PND) 1983-1988. Enfatizo el propósito de recobrar la capacidad de crecimiento sobre bases diferentes que permitieran <<APROVECHAR RACIONALMENTE EL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES >> donde se integra y vincula lo económico y lo ecológico. Esto es importante porque actualmente cuando se habla de un Producto Interno Bruto (PIB) cuantificado por el mecanismo de mercado, el que, por el lado de la demanda, puede analizarse a través del consumo y la inversión. Ésta puede desglosarse a su vez en inversión bruta y neta; en esta última se deprecia el stock de maquinaria y equipo. Sin embargo, la estimación tradicional no toma en cuenta la utilización o consumo de los recursos naturales y ambientales. Así un país puede degradar su medio ambiente y los acervos de recursos naturales, sin que la medición de PIB considere el agotamiento o desaparición de estos activos.

Después de enunciar que la problemática ambiental había sido << PRODUCTO DE UN MODELO DE DESARROLLO ECONOMICISTA QUE CONSIDERA EL DETERIORO AMBIENTAL COMO UN COSTO ACEPTABLE DEL CRECIMIENTO OLVIDANDOSE DE LOS ASPECTOS CUALITATIVOS ...>>, el Programa recomendaba << REORIENTAR EL RUMBO Y EL MODELO DE DESARROLLO, ASEGURANDOSE EL APROVECHAMIENTO RACIONAL Y SOSTENIDO DE LOS RECURSOS Y EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN>>.

El Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994. Señala las actividades prioritarias por hacer en materia de ordenamiento ecológico, impacto ambiental, riesgo ambiental, agua, aire, desechos y residuos sólidos.

En 1990, la misma Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología elaboró el Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994, cuyo objetivo general era "armonizar el crecimiento económico con el restablecimiento de la calidad del medio ambiente, promoviendo la conservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales".

En mayo de 1992 la SEDUE se transformó en Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), creándose dentro de ésta, el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría del Ambiente. A partir de la administración que se inicia en diciembre de 1994, estos dos organismos pasan a depender de la Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

La gestión ambiental en México también incluye algunas acciones de tipo internacional con otros paises y organismos especializados. Destacan la membresia de México en el tratado de libre comercio para América del Norte y en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Otro acuerdo imperante es el convenio México - Estados Unidos para la Protección del Ambiente en la zona fronteriza.

## VIII - 2. LEY GENERAL DE EQUILIBRIO ECOLOGICO Y PROTECCION AL AMBIENTE

La ley federal de protección al ambiente fue derogada en marzo de 1988, por la "LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE" La política ecológica adquiere un nuevo enfoque: no se enfoco exclusivamente a la prevención y control de la contaminación ambiental, **sino que también a considerar, de manera integral, las causas económicas y sociales del fenómeno**. Esta ley, vigente hasta ahora, establece la descentralización de funciones, impulsa la creación de leyes estatales de ecología.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (28 Enero 1988) en su Sección V trata sobre la evaluación del Impacto Ambiental considerándola como un instrumento de planeación que permite predecir, evitar o en su caso atenuar el deterioro de los ecosistemas que conlleva la realización de obras o actividades de carácter público o privado. La Ley establece en su artículo 28 que las obras o actividades que pudieran causar desequilibrios ecológicos, previas a su realización deberán establecerse dentro de los límites y condiciones señalados en los reglamentos y normas técnicas ecológicas emitidas por la federación para proteger el ambiente. Con esto se podrá otorgar la autorización del Gobierno Federal, Estatal. En el primer caso, el artículo 29 de la Ley establece el listado de materias cuya resolución quedará a cargo del Gobierno

Federal, otorgándose a las autoridades federativas y municipales la posibilidad de que en sus leyes locales determinen los casos de su intervención y los procedimientos respectivos.

La Ley cuenta con cuatro reglamentos: Impacto ambiental, Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera, Residuos peligrosos y Prevención y Control de la Contaminación Generada por los Vehículos Automotores que circulan en el D.F. y Zona Conurbada.

## VIII - 3. LEY Y REGLAMENTO DE AGUAS NACIONALES

Se deriva de los párrafos quinto y sexto del artículo 27 de la Constitución la cual establece la propiedad originaria de la Nación sobre las tierras y aguas, determinando que el dominio de ésta sobre las aguas nacionales es inalienable e imprescriptible. Esta ley enfatiza el principio constitucional por el cual la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, por los particulares o por sociedades constituidas conforme a las leyes mexicanas sólo puede realizarse mediante título de concesión otorgado por la Comisión Nacional del Agua.

Considera, explícitamente, el objetivo de regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su calidad para lograr el desarrollo integral sustentable de los recursos hídricos del país.

Establece los principios de la administración objetiva para regular los derechos y obligaciones de los usuarios del recurso, reglamentándola en sus usos más importantes: agrícola; los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y saneamiento; la generación de energía hidroeléctrica, y otros usos productivos.

Enfatiza los aspectos de control de la contaminación del agua, para lo cual establece las bases para la instrumentación de un sistema de permisos de descarga de aguas residuales con objeto de asegurar el cumplimiento de las Normas Oficiales.

Incorpora mecanismos de mercado conforme a la obligación de pagar los derechos por el uso del agua y por el alejamiento de las aguas residuales, para lograr el uso eficiente del agua y la conservación de su calidad.

## VIII - 4. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE USO Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRÁULICO

La creación de la << LEY FEDERAL SOBRE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN>> (1992), permitió descentralizar la expedición de Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaria de Comercio y de Fomento Industrial hacia todas las dependencias públicas. A través del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental, se vigoriza la legislación ambiental y se promueve la concurrencia de los sectores social y privado, así como de la comunidad científica. De esta manera el Instituto Nacional de Ecología tiene editadas a la fecha 44 normas referentes al control de la contaminación del agua.

Entre otras normas importantes es la norma oficial mexicana en materia de protección ambiental (28 Junio de 1993); la norma oficial mexicana NOM - 127 - SSA1 1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994 "Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización", como su nombre lo indica define los límites permisibles de calidad en el agua potable, proporciona una lista de los parámetros más comunes en el recurso que pueden poner en riesgo la vida humana, los cuales deben ser eliminados del agua potable en lo posible.

# IX EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO EN LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO HIDRÁULICO SUSTENTABLE

## IX - 1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

Un estudio de impacto ambiental es una actividad, que debe realizarse por un grupo multidisciplinario de especialistas. Es elaborado en cuatro etapas, las cuales implican; análisis de estudios previos, trabajos de investigación que coadyuven a identificar y predecir la modificación de los componentes biogeofísico y socioeconómico del ambiente, de esta forma es como el grupo puede interpreta y comunica los impactos, que se prevén y plantea la forma de atenuar o minimizarlos. Es importante mencionar que en el diseño de ésta última etapa se deben efectuar estudios que tomen en cuenta su viabilidad técnica, económica, social y financiera.

**Primera etapa** consiste en describir las características del proyecto, obras y actividades involucradas, en sus diferentes fases. A continuación se efectúa una caracterización de la situación ambiental existente en la zona de influencia, haciendo énfasis de los niveles de alteración.

**La segunda etapa** consiste en la **identificación, predicción y evaluación** de los efectos que genera el régimen de explotación sobre el ambiente acuífero. Es la que requiere más dedicación y esfuerzo, siendo su objetivo integrar, analizar, interpretar y conocer el comportamiento del entorno ambiental. Es necesario tener una estrecha comunicación entre los miembros del equipo multidisciplinario, para definir la importancia de los factores ambientales y la magnitud de los impactos.

Funciones analíticas de las tres fases de la segunda etapa:

| FASE | FUNCION ANALITICA |
|---|---|
| IDENTIFICACIÓN | Descripción del sistema ambiental existente<br>Determinación de los componentes del proyecto<br>Definición de las alteraciones del medio |
| PREDICCIÓN | Estimación de las alteraciones<br><br>del entorno ambiental |
| EVALUACIÓN | Determinación de la incidencia de costos y beneficios en la población afectada<br>Especificación y comparación de relaciones costo/beneficio entre varias alternativas |

Para la ejecución de ésta segunda etapa existen diferentes técnicas que presentan diferencias en su objetivo y enfoque cada una de ellas presenta ventajas y desventajas respecto de las otras. Por lo que aquellas que se apliquen deberán seleccionarse considerando el tipo de proyecto, la información disponible y las características del ambiente.

**Tercera etapa** diseñar medidas de prevención y mitigación de los efectos negativos que ocasionará del proyecto sobre el ambiente.

**Cuarta etapa** comunicación de los resultados en la gaceta de la manifestación de impacto

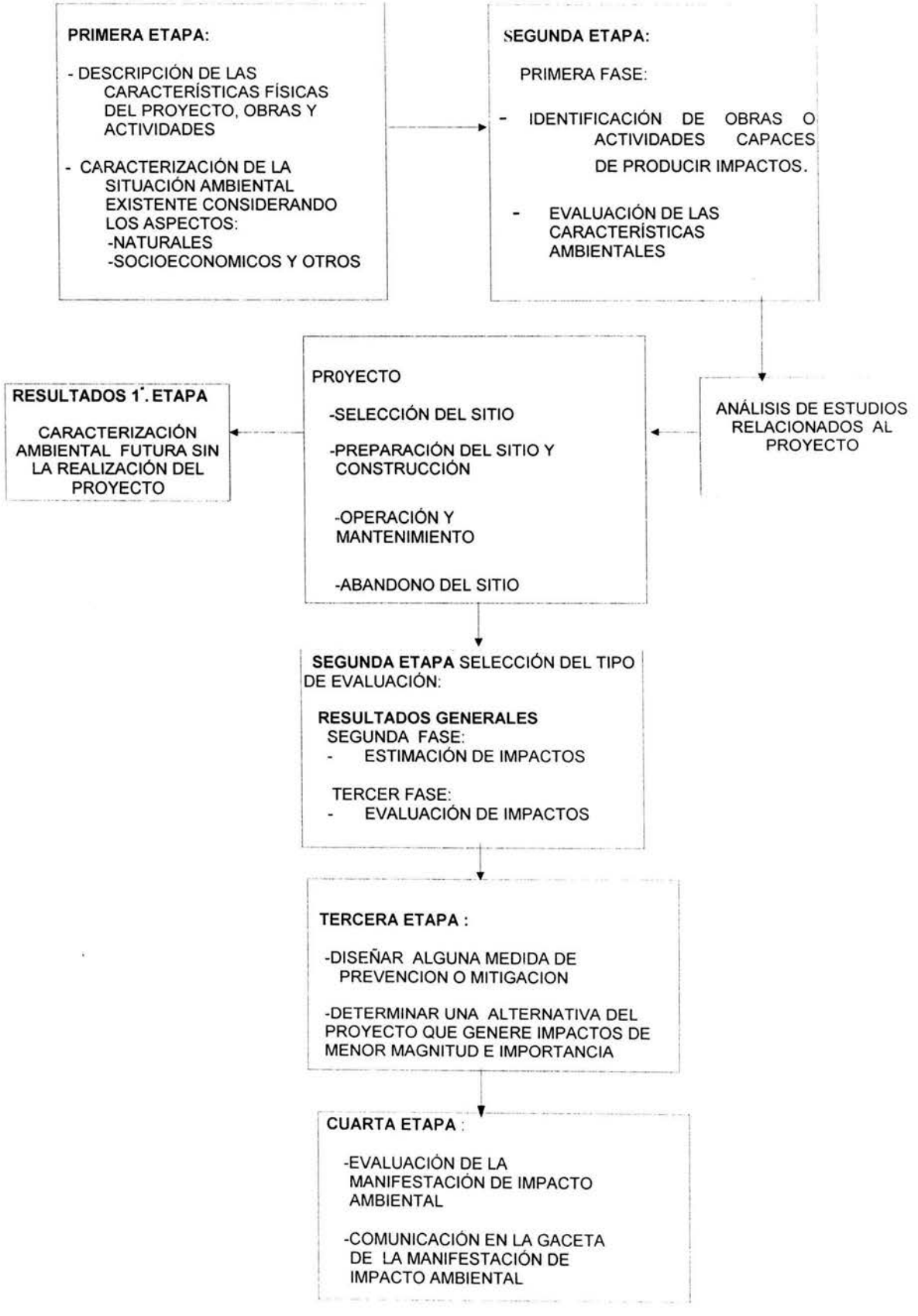
## IX - 2. TÉCNICAS DE PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN

Para una optimización en el estudio de evaluación, se debe de plantear el objetivo que se persigue, adecuando la técnica a los requerimientos y condiciones nacionales, tomando en consideración el tipo de proyecto, la información disponible y las características del ambiente en el sitio de que se trate

La clasificación más ampliamente aceptada divide a las técnicas para identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales en los siguientes grupos

| TÉCNICAS | CARACTERÍSTICAS |
|---|---|
| PROCEDIMIENTOS PRAGMÁTICOS | Comité interdisciplinario de especialistas cuyo objetivo es cumplir con la normatividad |
| LISTADOS | Lista éstandarizada de los impactos asociados con las políticas y actividades que rigen la explotación subterránea |
| MATRICES | Listas generalizadas de las acciones que implican la extracción de agua contra los factores ambientales afectados por las mismas acciones |
| REDES | Trazado consecutivo de los efectos derivados de impactos primarios |
| MODELOS | Conceptual.- Describe las relaciones entre las partes del sistema<br><br>Matemático.- Simulación de acuerdo a las leyes físico-matemáticas del sistema acuífero<br><br>Simulación en computadora.- Aplicación de la teoría existente a paquetes computaciones para la obtención, de datos en forma automatizada |
| SOBREPOSICIONES | Evaluación visual de la capacidad ecológica anterior y posterior al proyecto. |
| PROCEDIMIENTO ADAPTATIVO | Combinación de varias de las técnicas anteriores, de tal forma que se optimicen, las evaluaciones realizadas. |

A continuación se presenta un diagrama de flujo para la Evaluación del Impacto.



## IX - 3 TIPO DE ESTUDIO

En la cuenca de México, de tipo endorreico, el ciclo hidrológico que regía en el periodo precolombino era simple, lo que llovía se infiltraba o escurría hacia el centro de la misma. Así en su estado virgen, la cuenca mantuvo el siguiente ciclo:

Escurrimiento + Evapotranspiración = Lluvias

Este equilibrio hidrológico se ha modificado, el área de infiltración se ha reducido y únicamente los sitios inaccesibles o inhabitables funcionan como tal. Ha desaparecido la mayoría de la flora autóctona, y se introducen nuevas formas de vida que demandan mayores volúmenes de agua, y modifican el sistema ecológico.

Sin embargo es importante destacar la importancia que tiene este sistema, dentro de los procesos productivos, se hace evidente la necesidad insoslayable de establecer un modelo de desarrollo hidráulico sustentable. Esto es una serie de mecanismos y proyectos que hagan posible la preservación del sistema acuífero para las futuras generaciones esto permitirá lograr el equilibrio dinámico de la propia sociedad y la naturaleza. Asegurando con ello, que la planeación de los proyectos futuros rindan frutos de manera rentable, aun en el largo plazo.

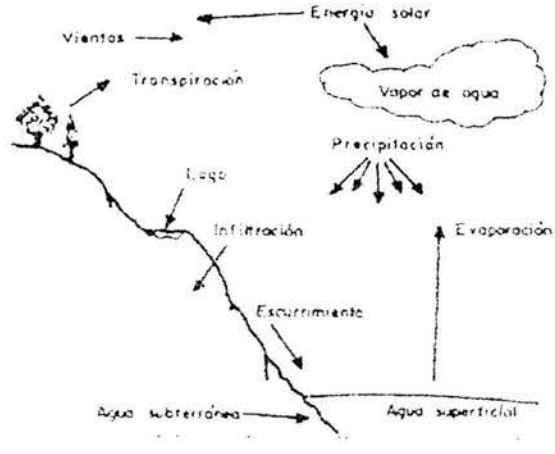



FIGURA VIII 1

CICLO HIDROLOGICO EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

Las evaluaciones de impacto ambiental, se llevan a cabo en todo tipo de proyectos, son importantes en la utilización de políticas, planes y programas implicados en el manejo y optimización de los recursos, permite integrar y vincular lo económico, social y lo ecológico para orientar el rumbo y modelar el desarrollo, asegurando el aprovechamiento racional de los recursos y el compromiso de mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones futuras

El estudio de impacto ambiental que se realiza, debe contener la mayor compilación de información posible. **En este trabajo se optó por hacer un estudio del área denominada subsistema acuífero Cd. de México delimitado por un parte aguas hidrodinámico existente entre los subsistemas acuíferos existentes en el Valle de México.**

## XI - 4 ESTUDIO DE IMPACTO EN EL SUBSISTEMA ACUIFERO CIUDAD DE MEXICO

Este estudio, se refiere al impacto existente, que tiene características muy particulares, ya que se trata de un ambiente influenciado por formas de explotación preestablecidas, una infraestructura consolidada, y consecuencias que se viven a diario, de lo anterior se estima la forma y utilización de los recursos explotados, los efectos producidos al sistema acuífero y a su medio ambiente.

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo, se desarrollo como técnica de predicción y evaluación la matriz con resultados cuantitativos, que ofrece una panorámica de la situación actual. La identificación de los rubros que generan la sobreexplotación, así como las posibilidades de recuperación del sistema acuífero están contenidos en la matriz con resultados cualitativos y matriz de evaluación de impactos ambientales.

### IX – 4.1. DESARROLLO DE LA PRIMERA ETAPA

Durante la **primera etapa** de un estudio de impacto ambiental se debe hacer la descripción y caracterización de las obras y del ambiente. Partiendo de un impacto ambiental existente, y una forma de explotación establecida. Ésta primera etapa ésta descrita en los capítulos I, V, VI y VII

En estos capítulos se efectúa una caracterización de la situación ambiental existente en la zona de influencia, haciendo énfasis en los niveles de alteración. La descripción del ambiente incluye los aspectos generales del medio natural del propio acuífero y los aspectos físicos de su entorno.

Es importante mencionar que al final de ésta etapa se deben visualizar las condiciones ambientales futuras que se tendrían en el sitio, si se optimizan las acciones de explotación.

### IX – 4.2. DESARROLLO DE LA SEGUNDA ETAPA

#### IX - 4.2.1. PRIMERA FASE

##### IX - 4.2.1.1. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES QUE PROVOCAN IMPACTOS

Consiste en la **identificación separada de las actividades o acciones**, que provocan impactos sobre el ambiente geohidrológico. La primer gran actividad, fue la desecación de los lagos, lo cual impacto al sistema ecológico, modificándolo notoriamente. Como segunda actividad se puede mencionar la explotación del agua subterránea para abastecimiento. En tercer lugar el crecimiento desmedido de la ciudad y todo tipo de actividades antropogénicas en consecuencia, los temas tratados son:

◊ Desarrollo histórico de la obras de abastecimiento y distribución desde la época prehispánica hasta el siglo XX

◊ Descripción de las obras civiles que implican la explotación de los mantos subterráneos

◊ Análisis global de pozos en operación y causas de su cancelación

◊ Crecimiento poblacional y la mancha urbana en la ZMCM

En este caso las afectaciones ya existen por lo que se hace una evaluación de ellas, tomando como modelo este tipo de estudios.

### IX – 4.2.1.2. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES EXISTENTES

Se dividen en cuatro categorías ambientales: los ecológicos, contaminantes, los aspectos estéticos, y los aspectos de interés humano.

1. ECOLOGICOS.

◊ Extinción de los manantiales

◊ Pérdida de flora y fauna autóctona

◊ Cambio en el clima regional

◊ Extinción de los lagos (exposición de las arcillas)

Los lagos cubrían la superficie, el acuífero y el acuítardo de la Ciudad de México se encontraban en estado virgen, las recargas por infiltración lateral que recibía el acuífero, lo mantenían saturado. Las arcillas lacustres confinaban al acuífero y se encontraban saturadas, y con un nivel piezométrico por arriba de la superficie, el nivel de las lagunas representaba el nivel freático o piezométrico regional.

El desecamiento de las arcillas comienza con el drenado de los lagos, entonces sucede en ellas el proceso de evaporación, lo que originó cambios en el clima. El drenado de las arcillas empieza en el momento en que la recarga piezométrica del acuífero se reduce por la explotación, coadyuvando a que la carga hidráulica disminuya debido al flujo de agua del acuítardo al acuífero.

La explotación del acuífero originó la disminución de sus niveles piezométricos, sucediendo la recarga vertical del acuífero por goteo del acuítardo. El desecamiento de éstas lagunas y la recarga que sucede del acuítardo al acuífero son modificaciones que originan agrietamiento y hundimiento de las arcillas.

La extracción de las aguas subterráneas provocó una reducción en la carga piezométrica dentro del acuífero, lo que indujo un movimiento vertical descendente del agua de las arcillas hacia el acuífero disminuyendo la presión intersticial de ellas, al disminuir la carga desaparecieron los manantiales que existieron a las orillas del lago.

2. CONTAMINANTES

◊ Cambios físicos en el acuífero por la explotación de pozos profundos

◊ Creación de basureros

◊ Instalación de plantas de tratamiento

◊ Crecimiento de zonas urbanas e industriales

La explotación del sistema acuífero origino importantes cambios físicos en el medio, que se agudizaron debido al desarrollo de actividades antropogénicas.

Conforme continúa la extracción del agua del acuífero, el nivel piezométrico desciende, llegando en algunas zonas, a ubicarse bajo la base de las arcillas ocasionando que el acuífero, se convierta de tipo libre.

Debido a que el volumen de extracción es mayor al volumen de recarga, se generan niveles decrecientes en el acuífero. De ésta manera, se puede observar la formación de conos piezométricos en el extremo sur del acuífero.

La concentración de los componentes disueltos en el agua depende, del tiempo de contacto con las rocas portadoras; cuanto más prolongado es el contacto, mayor es la salinidad total o la concentración de un elemento en específico, el tiempo de contacto depende de la velocidad de flujo y la distancia recorrida.

Cuanto más profunda se encuentra el agua, se favorece la disolución de algunos componentes de las rocas durante el proceso de bombeo, ya que mayor es la distancia recorrida por ella en el subsuelo. Su permanencia en el acuífero de cientos o miles de años en el subsuelo, derivan en condiciones químicas particulares (menor pH y contenido de oxígeno disuelto). El recurso explotado en estratos más profundos en la zona de lago presenta alta mineralización.

La calidad del agua subterránea se encuentra protegida por una barrera natural: la zona no saturada constituida, por suelo no consolidado. El grado de dispersión de los contaminantes es función de la permanencia de los mismos en la zona no saturada, que a su vez depende de las características hidráulicas de los estratos que la componen (porosidad, retención específica, permeabilidad, y contenido de humedad).

Cuando las arcillas que confinan al acuífero se encuentran saturadas sus características propias y el agua intersticial contenida forman una capa impermeable que impide el avance de contaminantes. Sin embargo con la desecación de éstas se genera una zona no saturada, lo cual induce a la formación de fracturas en el subsuelo, haciéndose patente la probabilidad de filtración de sustancias ajenas al acuífero. Sin embargo la modificación de las características hidráulicas, la consolidación y reducción de la porosidad inhiben los procesos de intercambio iónico que evitan o retardan la migración de los contaminantes.

La migración del agua y de los contaminantes en el subsuelo suele ser muy lenta por tanto, pueden transcurrir años o décadas antes de que la contaminación se manifieste en la fuente subterránea.

Las características del subsuelo son determinantes, en estudios realizados en la zona de Santa Fe, para el rastreo de contaminantes se comprobó la eficacia del subsuelo como planta de tratamiento.

Sin embargo, a pesar de la protección natural, en este sitio (formación tarango) aún los acuíferos menos vulnerables están expuestos a ser deteriorados en su calidad, a mediano y largo plazo. Debido a la modificación de sus características geohidrológicas y a la exposición continua a contaminantes móviles y persistentes.

3. ASPECTOS ESTÉTICOS

◊ Instalación de basureros

◊ Excedente en los límites estructurales y de servicio en obras cíviles

◊ Modificación arquitectónica

La ciudad, necesita sitios en donde alojar sus desechos estos en un inicio se ubican alejados de las áreas urbanas. Sin embargo, con el tiempo, son absorbidas por la ciudad, el tiradero de Santa Cruz Meyehualco y el de Santa Fe son solo un ejemplo, al que seguirán el de la caldera y bordo poniente en Texcoco. Las ciudades perdidas son eternos compañeros de estos tiraderos, pero el mayor problema es la producción de lixiviados que por su importancia merecen un trato especial. Las consecuencias de estos tiraderos empiezan a estudiarse y los resultados obtenidos solo los catalogan como productores de malos olores, y contaminadores del paisaje.

Por otro lado el drenado de las arcillas y el efecto colateral del fenómeno de hundimiento es el que coadyuva a rebasar los límites estructurales y de servicio, en la infraestructura civil, los límites estructurales ocurren al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura incluyendo su cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia ante nuevas aplicaciones de carga. El límite de servicio sucede a la ocurrencia de deformaciones, agrietamientos, y vibraciones que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, la adición de elementos de reestructuración modifica el aspecto estético del paisaje y se agudiza en el interior de las edificaciones al reducir los espacios de aprovechamiento.

4. ASPECTOS DE INTERES HUMANO (SOCIALES)

- ◊ Salud Pública
- ◊ Detrimento de la calidad de vida de los habitantes
- ◊ Fallas de las obras civiles

Las poblaciones asentadas en zonas catalogadas como de reserva ecológica se someten ínfimos consumos y elevados precios de agua, luego cuando son reconocidos como asentamientos legales y se les suministra agua potable, obviamente esto se traduce en aumentos en volúmenes de explotación, haciéndose necesario modificaciones en los patrones de consumo de la población en general.

El servicio de drenaje por consiguiente también es deficiente dado que gran parte de la zona de reserva es rocosa lo que imposibilita la construcción de la infraestructura apropiada por lo que en tiempo de lluvia los escurrimientos superficiales potencialmente a infiltrarse se contaminen irremediablemente.

A pesar de los esfuerzos en las plantas de cloración donde se llevan a cabo los procesos de desinfección, los resultados no siempre son satisfactorios de ésta forma, estudios independientes han concluido con la presencia de agentes patógenos del agua recibida en algunas tomas domiciliarias de las delegaciones del D. F.

Una amplia variedad de virus entéricos puede ser ingerida en el agua no potable, incluidos algunos subgrupos de polivirus, virus coxsackie, ecovirus y virus de la hepatitis infecciosa. La hepatitis A es probablemente endémica en México y en 1986 ocurrieron dos crisis agudas en el Éstado de México. De los 2 960 casos de cólera registrados en 1991, entre 2 y 3 por ciento acaecieron en la ZMCM

Los asentamientos humanos, ocurren también en zonas de riesgo geológico, en zonas minadas, en áreas de transición, lechos de ríos en donde los hundimientos, agrietamientos y avenidas máximas (lluvias) ponen en riesgo a las poblaciones.

## IX – 4.2.2. SEGUNDA FASE: ESTIMACIÓN DE IMPACTOS DE ACUERDO A METODOS MATRICIALES

### IX – 4.2.2.1 MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

Una vez identificadas las actividades y descritos los impactos provocados por éstas, se puede observar que los impactos al acuífero se agrupan en cuatro categorías ambientales, compuesta cada una por diversos componentes ambientales.

El objetivo de ésta división es establecer niveles de información progresiva:

Categorías $\longrightarrow$ Componentes $\longrightarrow$ Parámetros

El último nivel de información es el que corresponde a la medición de los parámetros ambientales. El objetivo de estos es:

1.- Que represente la calidad del ambiente

2.- Que sean fácilmente medibles

3.- Que respondan a las exigencias del proyecto a evaluar:

4.- Que sean evaluables a nivel proyecto

En la primera matriz se efectúa una evaluación de las principales formas en las que puede suceder el impacto al sistema acuífero. Siendo nuestro objetivo el estudio de parámetros ambientales derivados por el componente "cambios físicos en el acuífero", de ésta manera, se efectúa, una segunda evaluación donde a partir de las características de impacto se estima la perspectiva del sistema.

Las características de está matriz parte de constituir el impacto ambiental como el efecto de las actividades humanas y su trascendencia deriva de la vulnerabilidad del ambiente donde se desarrollan las acciones. Está vulnerabilidad o fragilidad del ambiente presenta múltiples facetas que deben ponerse de manifiesto su forma de evaluación es de forma cualitativa. A continuación se describe su desarrollo.

Descripción de columnas.

Columna No. 1
El carácter hace referencia a su consideración benéfica o adversa con respecto a el desarrollo de la acción; indica si en lo que se refiere a la faceta de vulnerabilidad que se esté teniendo en cuenta, la obra o actividad es benéfica o perjudicial.

Columna No. 2
Muestra la duración del impacto, refiriendose a sus características temporales: si el efecto es a corto plazo y luego cesa (temporal), o si es permanente.

Columnas Números 3 y 4
Proporcionan información sobre la dilución de la intensidad del impacto en la geografía espacial pudiendo no existir disolución o en su caso la forma en que sucede ésta ya sea de forma natural o inducida, ser localizado o extensivo, y próximo o alejado de la fuente. Ésta dilución no siempre tendrá relación lineal con la distancia a la fuente del impacto

Columna No. 5
Muestra la posibilidad de reversibilidad tomando en cuenta la dificultad o imposibilidad de retornar a la condición original.

Columna No. 6
Muestra la posibilidad de recuperación, indicando si la pérdida de calidad en el factor ambiental puede ser recuperable, reemplazable, o irrecuperable.

Columna No. 7
Señala la posibilidad de ser mitigable o no, de acuerdo a la acción de políticas, planes, programas y a la emisión de normas oficiales mexicanas.

Columna No. 8
El riesgo de impacto, muestra en que se ha manifestado o en su caso, mide la probabilidad de ocurrencia (alta, media o baja) y en especial aquellas circunstancias no periódicas pero de excepcional gravedad.

Columna No. 9
La concretización de todas las circunstancias y características antes descritas, definen la mayor o menor gravedad y el mayor o menor beneficio que se deriva de las actividades en la explotación del recurso, y se resumen en esta columna, con la utilización de alguna escala de niveles de impacto, de esta forma se facilita la utilización de la información adquirida en la formulación de medidas de mitigación

IMPACTO COMPATIBLE
Sucede cuando el impacto puede ser absorbido por el ambiente recuperándose inmediatamente después del cese de la actividad.

IMPACTO MODERADO
Sucede cuando la recuperación requiere de cierto tiempo.

IMPACTO SEVERO
La magnitud del impacto exige la implantación de medidas de mitigación. La recuperación, es a largo plazo.

IMPACTO CRÍTICO
Sucede cuando la magnitud del impacto es superior al limite aceptable. En este caso se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales.

IMPACTO DIRECTO Ó INDIRECTO
Muestra la relación causa-efecto, describe el modo de producirse el efecto de la actividad de explotación sobre los componentes ambientales: el impacto producido puede ser consecuencia directa o indirecta de la acción que se evalúe.

ACCIONES DE INFLUENCIA
Una vez analizadas las actividades que afectan al sistema, se identifican de forma específica aquellas que influyen en el componente de análisis.

Las Matrices de Evaluación de Impactos Ambientales se complementan con una descripción de los procesos de cambio que se manifestarán en los factores ambientales por las acciones del proyecto. Los resultados permiten deducir las medidas de prevención y mitigación, que deben ser implementadas para el desarrollo del proyecto.

**IMPACTO AMBIENTAL AL ACUÍFERO POR EL MÉTODO DE MATRIZ DE EVALUACIÓN**

ACCIONES Y POLÍTICAS QUE MÁS INFLUYEN EN LA EXPLOTACIÓN DEL RECURSO

1 - DESECACION DE LA CUENCA
2 - EXPLOTACION DEL RECURSO
3 - CRECIMIENTO POBLACIONAL
4.- NORMATIVIDAD
5.- DEFORESTACION

| | | CARACTERISTICAS DE LOS IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | | DETERMINACIÓN | | | | | | | | | | EVALUACIÓN | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | 2 | | | 3 | | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | | | | | | | MAGNITUD 9 | | | | | |
| | IMPACTADOS ASOCIADOS EN EL DETRIMENTO DEL ACUIFERO | BENEFICO | ADVERSO | TEMPOTAL | PERMANENTE | SIN DISOLUCION DE EFECTOS | DISOLUCION DEL EFECTO EN EL PROPIO SITIO | DISOLUCION DEL EFECTO ALEJADO DEL SITIO | LOCALIZADO | EXTENSO | REVERSIBLE | IRREVERSIBLE | RECUPERABLE | IRRECUPERABLE | MITIGABLE | NO MITIGABLE | OCURRENCIA EN EPOCAS ANTERIORES | OCURRENCIA EN EL PERIODO ACTUAL | PROBABILIDAD ALTA DE OCURRENCIA | PROBABILIDAD MEDIA DE OCURRENCIA | PROBABILIDAD BAJA DE OCURRENCIA | | COMPATIBLE | MODERADO | SEVERO | CRITICO | DIRECTO | INDIRECTO | ACCIONES DE INFLUENCIA |
| ECOLOGICOS | A.- EXISTENCION DE LOS LAGOS | | * | | * | * | | | | * | | * | | | | * | | * | | | | | | | * | * | | | 1 y 3 |
| | B.- EXTINCION DE MANANTIALES | | * | | * | * | | | | * | | * | | | | * | | * | | | | | | | * | * | * | | 1, 2 y 3 |
| | C.- CAMBIO EN AL CLIMA REGIONAL | | * | | * | * | | | | * | | * | | | | * | | * | | | | | | | * | | * | De A y B |
| | D.- PERDIDA DE FLORA Y FAUNA AUCTOCTONA | | * | | * | * | | | | * | | * | | | | * | | * | | | | | | | * | | * | De A, B y C |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CONTAMINANTES | E.- CAMBIOS FISICOS EN EL SISTEMA ACUIFERO | | * | | * | | * | | * | | | * | * | | * | | | * | | | | | | * | | * | | 2 y 3 |
| | F.- CRECIMIENTO DE ZONAS URBANAS E INDUSTRUALES | | * | | * | | * | | * | | | * | * | | * | | | | * | | | | | * | | * | | 2, 3, 4, y 5 |
| | G.- INSTALACION DE TIRADORES DE BASURA Y PLANTAS DE TRATAMIENTO | | * | * | | | * | | * | | | * | * | | * | | | | | * | | | | * | | | * | 3 y 4 |
| ESTETICOS | H.- INSTALACION DE BASUREROS EN LAS PERIFERIAS DE LA CUENCA | | * | * | | | * | | * | | | * | * | | * | | | | | * | | | | * | | | * | 3 y 4 |
| | I.- EXEDENTES EN LOS LIMITES ESTRUCTURALES Y DE SERVICIO EN LA INFRESTRUCTURA CIVIL | | * | | * | | * | | * | | | * | * | | * | | | | * | | | | | * | | * | | 2, 3 y 4 |
| | J.- MODIFICACION ARQUITECTONICA DE LA CIUDAD | | * | | * | * | | | * | | | * | | * | | * | | | | * | | | | | * | | | 2, 3 y 4 |
| ASPECTOS DE INTERES HUMANO | K.- DETRIMENTO EN LA CALIDAD DE VIDA EN LOS HABITANTES | | * | | * | | * | | * | | | * | * | | * | | | | | * | | | | | * | * | * | TODAS LAS ACCIONES E IMPACTOS |
| | L.- FALLAS EN OBRAS CIVILES PUBLICAS Y PRIVADAS | | * | | * | | * | | * | | | * | * | | * | | | | | * | | | | | * | | * | 2 Y E |
| | M.- SALUD PUBLICA | | * | * | | | * | | * | | | * | * | | * | | * | | | | | * | | | | * | | * | 2, 5, y E, F y G |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

**IMPACTO AMBIENTAL AL ACUÍFERO POR EL MÉTODO DE MATRIZ DE EVALUACIÓN**

ACCIONES Y POLÍTICAS QUE MÁS INFLUYEN EN LA EXPLOTACIÓN DEL RECURSO

1 - EXPLOTACIÓN DEL RECURSO
2 - CRECIMIENTO POBLACIONAL
3 - NORMATIVIDAD
4 - DEFORESTACIÓN

| | | CARACTERÍSTICAS DE LOS IMPACTOS | | | | | | | | | | | | | DETERMINACIÓN | | | | | | | | EVALUACIÓN | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | | 3 | | | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | | | | | MAGNITUD 9 | | | | | | |
| | IMPACTADOS ASOCIADOS EN EL DETRIMENTO DEL ACUIFERO | BENEFICO | ADVERSO | TEMPORAL | PERMANENTE | SIN DISOLUCIÓN DE EFECTOS | DISOLUCIÓN DEL EFECTO EN EL PROPIO SITIO | DISOLUCIÓN DEL EFECTO ALEJADO DEL SITIO | LOCALIZADO | EXTENSO | REVERSIBLE | IRREVERSIBLE | RECUPERABLE | IRRECUPERABLE | MITIGABLE | NO MITIGABLE | OCURRENCIA EN EPOCAS ANTERIORES | OCURRENCIA EN EL PERIODO ACTUAL | PROBABILIDAD ALTA DE OCURRENCIA | PROBABILIDAD MEDIA DE OCURRENCIA | PROBABILIDAD BAJA DE OCURRENCIA | | COMPATIBLE | MODERADO | SEVERO | CRITICO | DIRECTO | INDIRECTO | ACCIONES DE INFLUENCIA |
| CAMBIOS FÍSICOS EN EL SISTEMA ACUÍFERO | CONSOLIDACION DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | | * | | * | * | | | * | | | * | | * | | * | * | * | * | | | | | | | * | * | | 1 |
| | DESECACION DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | | * | | * | | * | | * | | | * | | * | | * | | * | * | | | | | | | * | * | | 1 y 4 |
| | ABATIMIENTO DE LOS NIVELES ESTATICOS | | * | * | * | | * | | | * | | * | * | | * | | | * | | | | | | | * | * | | 1, 2 y 4 |
| | TRANSFORMACION DEL ACUIFERO DE CONFINADO A LIBRE | * | * | | * | * | | | * | | | * | | * | | * | | * | | | | | | | * | * | | 1 y 2 |
| | DISMINUCION DE CAUDALES | | * | * | | | * | | | * | * | | * | | * | | | * | | | | | | | * | * | | 1 y 2 |
| | RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRANEA | | * | | * | | * | | | * | | * | * | | * | | | | | * | | | | * | | | * | 1, 2 y 3 |
| | EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS DE ALMACENAMIENTO | | * | * | | | * | | * | | | * | * | | * | | | * | | | | | | * | | | | * | 1 y 2 |
| | CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA | | * | | * | * | | | * | | | * | * | | * | | | * | | | | | | * | | * | | | 1, 2 y 3 |
| | AGRIETAMIENTO EN LAS ARCILLAS SUPERIORES | | * | | * | * | | | * | | | * | | * | | * | | | * | | | | | * | | | * | 1 y 2 |

## IX – 4.2.2.2. MATRIZ CAUSA - EFECTO CON RESULTADOS CUALITATIVOS

Los parámetros de influencia tienen relación directa en un tiempo determinado en la geografía espacial, y suceden cuando el hombre pasa de ser un consumidor a un modificador de la naturaleza.

La evaluación consiste en la elaboración de un listado de parámetros asociados a una lista de categorías ambientales susceptibles de impacto el método permite conocer la interrelación existente entre las actividades de un proyecto y su forma de alterar al ambiente, además deja ver la relación de una actividad y todos los factores que impacta o en su caso ver el factor y todas las actividades que pueden influenciarlo.

Los resultados de la matriz pueden ser estimaciones cuantitativas o cualitativas, las interacciones en cada celda muestran un resultado cualitativo donde ésta implícito la intensidad y peso de cada acción sobre el ambiente.

De la tabla de proyecciones oferta-demanda (VII 3) se corrobora que el crecimiento ininterrumpido de la población, parámetro social (que rige la explotación del acuífero) del cual se derivan una serie de parámetros subsecuentes que influyen de forma contundente en la degradación del entorno, este último se encuentra compuesto por una lista de categorías ambientales, las cuales han tenido una evolución negativa desde la época colonial.

Es importante conocer en el México actual el comportamiento sociedad-entorno infiriendo las causales (parámetros), la forma y peso de su influencia sobre el entorno ambiental, buscando acciones o políticas que puedan minimizar los efectos.

MATRIZ CAUSA-EFECTO

| PARÁMETROS DE INFLUENCIA | ECOLÓGICOS | | | CONTAMINANTES | | | | ESTETICOS | | DE INTERES HUMANO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | EXTINCIÓN DE MANANTIALES | PERDIDA DE FLORA Y FAUNA AUCTOCTONA | EXTINCIÓN DE LOS LAGOS | CAMBIOS FÍSICOS EN EL SISTEMA ACUÍFERO | INSTALACIÓN DE BASUREROS (LIXIVIADOS) | INSTALACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO (CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES) | INTALACIÓN DE ZONAS URBANAS E INDUSTRIALES | LIMITES ESTRUCTURALES Y DE SERVICIO EN LA INFRAESTRUCTURA CIVIL | MODIFICACIÓN ARQUTECTÓNICA DE LACIUDAD | DETRIMENTO DE LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES | SALUD PÚBLICA |
| DESECACIÓN DE LA CUENCA | D | D | D | C | B | B | C | C | C | D | D |
| ASPECTOS SOCIALES QUE REGULAN LA EXPLOTACIÓN DE POZOS | D | D | D | C | C | C | C | D | D | D | D |
| CRECIMIENTO POBLACIONAL | D | D | D | D | D | C | D | A | A | D | D |
| POLÍTICAS PARA DOTACIÓN DE VIVIENDA (UNIDADES HABITACIONALES) | C | A | A | D | D | B | B | C | C | D | C |
| APLICACIÓN Y DESARROLLO DE UNA NORMATIVIDAD QUE PRESERVE EL ACUÍFERO | A | A | A | C | C | B | B | A | A | B | B |
| DEFORESTACIÓN | C | D | C | B | B | A | C | A | A | B | B |

CRITERIO DE LA SELECCIÓN DE LA ESCALA: ESTA DADA A PARTIR DE LA LETRA "A" PARA EFECTOS NULOS Y HASTA "D" PARA EFECTOS DE GRAN SEVERIDAD, ENCONTRÁNDOSE DENTRO DE ELLA LAS DIFERENTES VARIACIONES

A = Impacto insignificante bajo no daña al ambiente

B = Impacto medible, pero con apropiada planeación y construcción no daña al ambiente

C = Alto impacto en el ambiente, pero puede ser restringido tomando correctas medidas de precaución

D = Impacto que será en detrimento del ambiente.

## IX – 4.2.2.3. MATRIZ DE IMPACTOS SUBSECUENTES

La influencia de la sociedad hacia el entorno ambiental no es unidireccional, los efectos suceden ahora con el mismo peso e intensidad pero en dirección contraria. La interacción es compleja ya que un primer desequilibrio en cualquier rubro genera cambios subsecuentes que, se traducen en efectos terminales.

Ante este panorama se busca modelar de forma puntual la influencia de los aspectos contaminantes con los de interés humano, para ello se ha ideado ésta matriz donde se desglosan las repercusiones de cambios físicos en el sistema acuífero colocados en los renglones y los efectos que suceden el detrimento de la calidad de vida de los habitantes expuestos en las columnas. Lo anterior nos ofrece una perspectiva de lo que se pudiera esperar o magnificar.

El sistema de evaluación es idéntico al método de la matriz anterior.

# MATRIZ DE IMPACTOS SUBSECUENTES

| PARÁMETROS INFLUENCIADOS / CAMBIOS FÍSICOS EN EL ACUÍFERO | DETRIMENTO EN LA CALIDAD DE VIDA EN LOS HABITANTES (ESCACES DE AGUA POTABLE) | SALUD PÚBLICA (PROBLEMAS DE SANEAMIENTO) | FALLAS EN OBRAS CIVILES (AGRIETAMIENTOS) | MODIFICACIÓN ARQUITECTONICA (HUNDIMIENTOS) | INSTALACION DE SITIOS PARA TIRADEROS DE BASURA | CRECIMIENTO DE ZONAS URBANAS E INDUSTRIALES (ZONAS DE RECARGA) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CAMBIO DE ALMACENAMIENTO | B | B | A | A | B | B |
| ABATIMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO | C | C | B | B | B | B |
| DISMINUCIÓN DE CAUDALES | D | D | A | A | B | B |
| CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA | D | D | A | A | B | B |
| DESECACIÓN DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | B | B | D | D | D | D |
| FENÓMENOS DE HUNDIMIENTO | B | B | D | D | A | A |
| CONSOLIDACIÓN DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | B | B | D | D | A | A |
| TRANSFORMACIÓN DEL ACUÍFERO CONFINADO A LIBRE | D | D | A | A | A | A |
| RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA | D | D | A | A | D | D |

CRITERIO DE LA SELECCION DE LA ESCALA: ESTA DADA A PARTIR DE LA LETRA "A" PARA EFECTOS NULOS Y HASTA "D" PARA EFECTOS DE GRAN SEVERIDAD, ENCONTRÁNDOSE DENTRO DE ELLA LAS DIFERENTES VARIACIONES.

ESCALA DE LA INTENSIDAD DEL FACTOR AMBIENTAL CAUSADA POR LA ACCIÓN 1-10

A = Impacto insignificante bajo no daña al ambiente

B = Impacto medible, pero con apropiada planeación y construcción no daña al ambiente

C = Alto impacto en el ambiente, pero puede ser restringido tomando correctas medidas de precaución

D = Impacto que será en detrimento del ambiente.

## IX – 4.2.2.4. MATRIZ DE COMPONENTES AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO Y SU ZONA GEOHIDROLÓGICA.

El sistema de agua potable de la Ciudad de México es abastecida principalmente por pozos profundos los cuales pueden estar constituidos en baterías para el abastecimiento de zonas definidas o aislados y están conectados directamente a la red, sea ésta primaria o secundaria, por lo que no deben ser analizados en forma individual, sino como conjunto; su importancia real radica en que las diferentes zonas de influencia puedan ser abastecidas por una fuente alterna o no; por otra parte, para conocer como afecta la operación de los pozos al acuífero y a su entorno, deben tomarse en consideración las características de cada una de las zonas gehidrológicas que componen al acuífero a saber, tipo de roca, si se está cerca de su zona de recarga etc. así como parámetros de medición o referencia como pueden ser los abatimientos en el nivel, los cambios en su calidad a través del tiempo etc.

La elaboración de ésta matriz es de especial atención, ya que el grupo multidisciplinario debe conocer la interacción que guardan las distintas zonas geohidrológicas con los parámetros de medición que ahora llamaremos factores ambientales susceptibles de impacto. La zonificación gehidrológica fue estudiada en el capítulo cuatro por lo que únicamente haremos los siguientes comentarios.

La zona gehidrológica más vulnerable a la contaminación es sin lugar a dudas la de los basaltos por su alta permeabilidad, además de ser los acuíferos de los que se extraen los mayores caudales, enseguida se colocan las rocas de transición, dado que por ambas circula el agua de recarga, ambos acuíferos también se clasifican como libres, es decir sus zonas de recarga se ubican directamente sobre ellos, debido a éstas características los abatimientos producto de bombeo son mucho más profundos, si se extrae el agua directamente, aunque también puede tener recuperaciones en el corto plazo, los cambios en la calidad del agua sobre todo por la falta de drenaje son prácticamente inmediatos y difíciles de remediar.

Las andesitas son más importantes como componentes de recarga que como acuíferos, de hecho se le podría clasificar como acuífugo, pero en la parte superior al intercalarse con rocas impermeables forman manantiales, los cuales son muy vulnerables a la contaminación, la permeabilidad de éstas rocas es por fracturamiento, de tal forma que es fácil de contaminar, por otra parte es difícil que se den cambios en su calidad pero cuando ello sucede es relativamente sencilla su recuperación. Sin embargo debe de cuidarse el cambio de almacenamiento ya que de este depende la recarga del acuífero central.

La formación Tarango constituye por su extensión zonas de recarga, si bien su permeabilidad es baja, influye en el cambio de almacenamiento, disminuyendo los caudales (aumentan los abatimientos durante el bombeo).

Las estimaciones cuantitativas ofrecen un esquema de peso representado por un "marcador de impacto total" el objetivo de este método es de evaluar cuantitativamente la magnitud y peso del impacto sobre los factores ambientales implicados.

Para obtener el "marcador de impacto total", el método se basa en el análisis de dos aspectos de cada impacto con influencia en el ambiente, su magnitud e importancia tal como se muestra en las matrices

El término **magnitud** se refiere al grado extensión o escala del impacto sobre determinado factor ambiental. Tomando el ejemplo de la zona de lago evaluando el primer parámetro que es la consolidación de las arcillas superiores, donde una vez modificado el contenido de agua intersticial el volumen restante tiende a distribuirse de manera uniforme sobre la totalidad de la zona, consecuentemente la consolidación y/o asentamientos diferenciales suceden con una extensión severa, sobre la zona lacustre.

La **importancia** es la ponderación de la acción particular sobre el factor ambiental específico a analizar, siguiendo el ejemplo anterior, la intensidad en que se manifiesta la consolidación es función directa de los espesores de las arcillas donde el impacto será en detrimento del ambiente en la zona de lago, sucediendo un alto impacto en la zona de transición. Siendo la importancia, función directa de la capacidad natural que tenga el medio para atenuar el factor susceptible de impacto.

Para la obtención de marcador de impacto de cada parámetro, consiste en escribir sobre el eje horizontal la zona geohidrológica donde inciden cada uno de los factores ambientales y sobre el eje vertical, se tienen los factores ambientales susceptibles de impacto actuando en las diferentes zonas, en cada celda se asigna un valor de magnitud e importancia de acuerdo a la experiencia, impresiones y/o opiniones del equipo multidisciplinario.

La calificación consiste en una escala arbitraria del 1 al 10 donde, 10 representa la magnitud mayor del impacto y el 1 la menor, para ésta evaluación se determinaron dos calificaciones más, 3 y 7 de ésta forma los rangos intermedios quedan comprendidos dentro de éstas calificaciones. Un grado adicional de complejidad sería colocar un signo ( + ) junto al número de magnitud, si el impacto es benéfico, y signo ( - ) si el impacto es adverso, sin embargo para nuestro estudio se omitirán estas ya que los impactos son de carácter adverso.

Los resultados de esta evaluación permiten inferir la mayor o menor gravedad de la interrelación del factor ambiental y la zona geohidrológica. Tomando como ejemplo el factor **"riesgo de contaminación de agua subterránea"**, si se dan las condiciones que hagan viable la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, la cual se define, como el conjunto de las características intrínsecas de los estratos que separan la zona saturada del acuífero de la superficie del suelo y que determinan la sensibilidad del acuífero a ser afectado adversamente por una carga contaminante aplicada.

Se puede caracterizar la vulnerabilidad con base a:

- Grado de confinamiento de las aguas subterráneas.
- Características generales de los estratos sobre la zona saturada, en términos de tipo litológico y grado de consolidación.
- Profundidad del nivel del agua subterránea o techo del acuífero.

El marcador de impacto evalúa la gravedad en la interacción del factor "riesgo de contaminación de agua subterránea" y la zona geohidrológica.

La matriz, se apoya además, en la superposición de los mapas de zonificación geohidrológica, evolución del nivel estático y hundimientos, con el análisis de superpociones, se asigna un "marcador de impacto total". Para una calibración del modelo es necesario uniformizar una escala numérica para magnitud e importancia, puesto que cada zona geohidrológica muestra indistintamente el mismo comportamiento ante las acciones, entonces los diferentes equipos multidisciplinarios que evalúen un determinado acuífero con determinadas características obtendrán un solo "marcador de impacto total".

Matemáticamente, si:

m = (+ ó -) magnitud del jésimo factor ambiental en la iésima zona gehodrológica:

$\omega$ = importancia del jésimo factor ambiental sobre la iésima zona gohidrológica, de esta manera se tiene:

Impacto total sobre la iésima zona gohidrológica para todos los factores susceptibles de impacto = $\Sigma i$ mij $\omega ij$

Impacto total del jésimo factor ambiental sobre todas las zonas geohidrólogicas = $\Sigma j$ mij $\omega ij$

Impacto total del proyecto = $\Sigma i$ $\Sigma j$ mij $\omega ij$

La medición precedente de los impactos totales del proyecto es en esencia un indicador de calidad de vida, ya que mij representa la magnitud del impacto del jésimo factor ambiental susceptible de impacto sobre la iésima zona geohidrológica y su incidencia final en calidad de vida y $\omega ij$ representa la ponderación de la importancia como es vista por la sociedad.

COMPONENTES AMBIENTALES DE EXPLOTACIÓN SEGÚN ZONIFICACIÓN GEOHIDROLÓGICA

| ZONA GEOHIDROLÓGICA | FACTORES AMBIENTALES SUCEPTIBLES DE IMPACTO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CONSOLIDACIÓN DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | DESECACIÓN DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | ABATIMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO | CAMBIOS DE ALMACENAMIENTO EN EL ACUÍFERO | CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA | TRANSFORMACIÓN DEL TIPO DE ACUÍFERO (CONFINADO - LIBRE) | DISMINUCIÓN DE CAUDALES | RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA | **MARCADOR DE IMPACTO TOTAL** |
| ZONA DE LAGO | 7 (10) | 7 (7) | 7 (10) | 7 (10) | 1 (1) | 7 (3) | 1 (1) | 10 (10) | **382** |
| TRANSICIÓN ABRUPTA (BASALTO-ARCILLA) | 7 (10) | 7 (7) | 7 (10) | 7 (10) | 7 (10) | 3 (3) | 3 (3) | 10 (10) | **447** |
| TRANSICIÓN (ALUVIÓN) | 1 (1) | 1 (1) | 7 (10) | 7 (10) | 7 (7) | 1 (1) | 7 (3) | 10 (10) | **313** |
| ROCAS BASALTICAS | 1 (1) | 1 (1) | 10 (10) | 10 (10) | 7 (10) | 3 (3) | 10 (10) | 10 (10) | **481** |
| FORMACION TARANGO | 1 (1) | 1 (1) | 10 (10) | 7 (10) | 7 (7) | 3 (3) | 7 (10) | 10 (10) | **400** |
| ROCAS ANDESITICAS | 1 (1) | 1 (1) | 10 (10) | 7 (10) | 7 (3) | 3 (3) | 7 (3) | 10 (10) | **351** |
| **CUANTIFICACIÓN DEL FACTOR** | **144** | **102** | **510** | **450** | **260** | **58** | **250** | **600** | **2374** |

FORMA DE ENTRADA EN LAS CELDAS : X(Y)

DONDE : X = MAGNITUD DEL IMPACTO
(Y) = IMPORTANCIA

ESCALA DE LA MAGNITUD :

1 = Magnitudes sin consideración (efectos imperceptibles)
3 = Magnitud mediana (efectos de extensión considerable )
7 = Magnitud total sobre el ambiente (afectación con extensión severa. )
10 = Magnitud de forma radical sobre el ambiente

CRITERIO DE CALIFICACION:

MAGNITUD X = Escala de impacto
IMPORTANCIA ( Y ) = Capacidad natural de la zona geohidrológica para atenuar el impacto

ESCALA DE LA IMPORTANCIA O PESO :

1=Impacto insignificante
3=Impacto medible
7= Alto impacto en el ambiente
10=Impacto que será en detrimento del ambiente.

## IX – 4.2.2.5. MATRIZ DE PROBLEMÁTICA DE EXPLOTACION

El contenido de los capítulos V, VI y VII muestra la problemática técnica de operación en la infraestructura hidráulica y su influencia en el acuífero. El conocimiento de ésta interacción ofrece un camino que dé prioridad a la recuperación del sistema, ya que sus resultados, identifican las causas y consecuencias o resultados. Con lo cual se puede tener un mejor manejo de las acciones de explotación, las formas de mitigación y el énfasis con las que se puede resolver.

El manejo de está matriz permite analizar el comportamiento del sistema acuífero con diferentes políticas de explotación, encontrando de esta manera las acciones mas significativas en el entorno, permitiendo un desarrollo sustentable sin descuidar la variable ambiental. La temática de evaluación es similar a la anterior descrita y el criterio de calificación cuantitativo en la celda refleja la interacción problemática-ambiente.

MATRIZ DE "PROBLEMÁTICA DE EXPLOTACIÓN"

| PROBLEMÁTICA | FACTORES AMBIENTALES SUCEPTIBLES DE IMPACTO | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CONSOLIDACION DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | DESECACIÓN DE LAS ARCILLAS SUPERIORES | ABATIMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO | CAMBIOS DE ALMACENAMIENTO EN EL ACUÍFERO | CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL AGUA | TRANSFORMACIÓN DEL TIPO DE ACUÍFERO (CONFINADO - LIBRE) | DISMINUCION DE CAUDALES | RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA | MARCADOR DE IMPACTO TOTAL |
| REFERENTES AL SISTEMA QUE COADYUVA A LA EXISTENCIA DE **FUGAS EN LAS REDES DE AGUA POTABLE** | 7(10) | 7(10) | 7 (7) | 7 (7) | 1 (1) | 7 (10) | 1 (1) | 1 (1) | **311** |
| FALTA DE APLICACIÓN A LAS POLÍTICAS POR SUSTITUCIÓN DE CAUDALES Y USO EFICIENTE DEL AGUA | 7 (7) | 7 (7) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (7) | 10 (7) | 10 (7) | **608** |
| FALTA DE DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA NORMATIVIDAD QUE PRESERVE EL ACUÍFERO | 7 (7) | 7 (7) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 7(10) | 10 (10) | **668** |
| ESCASA EXISTENCIA DE LA CONCIENTIZACIÓN EN LA EXPLOTACIÓN DEL RECURSO | 3 (7) | 3 (7) | 10 (10) | 10 (10) | 10 (10) | 7(10) | 10 (10) | 7(10) | **582** |
| SUBSIDIOS AJENOS A LA SITUACIÓN ACTUAL | 3 (7) | 3 (7) | 10 (7) | 10 (10) | 10 (7) | 7 (7) | 10 (10) | 7 (3) | **452** |
| **CUANTIFICACIÓN DE LOS FACTORES** | **210** | **210** | **419** | **449** | **371** | **359** | **341** | **262** | **2621** |

FORMA DE ENTRADA EN LAS CELDAS : X(Y)
X = MAGNITUD DEL IMPACTO = Escala de impacto
Y = IMPORTANCIA O PESO = Capacidad de influencia de la acción (problemática) en los factores ambientales suceptibles de impacto

ESCALA DE LA MAGNITUD :
1 = Magnitudes sin consideración (efectos imperceptibles)
3 = Magnitud mediana (efectos de extensión considerable )
7 = Magnitud total sobre el ambiente (afectación con extensión severa. )
10 = Magnitud de forma radical sobre el ambiente

ESCALA DE IMPORTANCIA O PESO :
1 = Impacto insignificante
3 = Impacto medible
7 = Alto impacto en el ambiente
10 = Impacto que será en detrimento del ambiente.

## IX - 4. 2. 3. TERCER FASE: EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES AL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO.

### IX - 4. 2. 3. 1. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Podemos observar en la matriz de impactos que la primera categoría ambiental afectada es la ecología, cada uno de sus componentes coadyuvaba a la regeneración del acuífero. Sin embargo el impacto a sus componentes, es el parte-aguas donde el hombre interviene forma determinante, para que la interrelación que guardaban estos componentes hacia la flora y fauna se rompieran no pudiendo el sistema con la regeneración de su entorno.

Los componentes biológicos del medio ambiente son de extraordinaria importancia. Más que las obras de ingeniería, en regulación de los cauces de agua, se debió fomentar la conservación del estado natural de la cuenca, ya que sin los recursos en los que se sustenta la vegetación, no hay vida animal posible, los terrenos erosionados o con escasa vegetación quedan expuestos al intemperismo. La afectación a la categoría ecológica fue adversa, irreversible, irrecuperable con una magnitud de impacto por demás crítica.

De forma general se observa en la matriz que todas las categorías ambientales de una u otra forma son dependientes unas de las otras por lo que el impacto de de contaminación traerá consecuencias a las demás, tal es el caso de los aspectos de interés humano, dentro de sus componentes destacan, por su importancia el componente detrimento de la calidad de vida de los habitantes y la salud pública.

Si el objetivo es preservar la calidad de vida en los habitantes, se debe dar prioridad a la preservación del sistema acuífero de lo contrario, los efectos en la calidad de vida de los habitantes en la cuenca de México será permanente, para disolver los efectos en el propio sitio será necesario una de las más grandes infraestructuras hidráulicas.

La pregunta es ¿Cuanto tiempo deberá pasar para que este impacto sea patente?, La respuesta ésta en debate, pero pueden hacerse aproximaciones.

De el macro estudio "El suministro de agua de la ciudad de México" se estima la existencia de reservas equivalentes de 212 a 344 veces el ritmo de explotación. Sin embargo, estos cálculos omiten diversas variables de largo plazo[1] .

La categoría "contaminantes", es la que ocasiona, el detrimento del sistema, de forma general sus efectos pueden ser mitigables con la disolución de efectos.

---

[1] Fuente: Resumen del macro estudio "El suministro de agua de la ciudad de México" editado por la revista cientifica Teorema, junio de 1996

El componente de crecimiento de zonas urbanas e industriales los cuales se pueden localizar en la zona sur del Valle, en la Ciudad de México en los municipios del norte y oriente de la ciudad. Sus efectos son adversos y permanentes, dentro de los parámetros que resaltan es el crecimiento hacia las zonas de recarga, lo que ha forzado a manejar las precipitaciones fluviales como peligros potenciales a la ciudad.

La instalación de plantas de tratamiento en las que no existe tratamientos para los lodos o compostas terminales, son enviados al drenaje donde al dislocarse por el hundimiento, los elementos concentrados y extraños para el sistema se infiltran lentamente hacia el subsuelo. Las características de impacto en la matriz son de carácter mitigable debido a las características del subsuelo, sin embargo la saturación de la pluma de contaminación aumenta la probabilidad, de ocurrencia en el mediano plazo con una magnitud severa.

Los parámetros de los cambios físicos debidos a la explotación, una vez iniciado el impacto el efecto es permanente, no mitigable con una magnitud crítica, se debe poner especial atención a este parámetro. De no fomentar el equilibrio inicial los efectos serán permanentes no mitigables, los efectos se harán sentir con una magnitud crítica en el mediano plazo.

La alteración que sucede dentro del propio acuífero, una vez avanzado el impacto, requiere de importantes inversiones de capital tanto financiero como técnico para llegar a su recuperación, como es el caso del parámetro "aumento a la vulnerabilidad de contaminación en el acuífero", de llegar a existir contaminación por lixiviados, para su saneamiento se requerirá de un capital equiparable a la deuda externa de México [1]. Y lo más probable es que no sea recuperable del todo.

Otro parámetro es el agrietamiento de las arcillas en la zona de transición abrupta, sus efectos son patentes en las edificaciones.

[1] Fuente: Simposium Internacional de Geología Ambiental, confinamiento de residuos y contaminación de suelo y subsuelo. Octubre de 1996, México, D.F.

## IX - 4. 2. 3. 2. MATRIZ CAUSA - EFECTO CON RESULTADOS CUALITATIVOS

Un parámetro que es fundamental en las repercusiones del sistema. Es el desarrollo de una normatividad que preserve el acuífero, la indiferencia en cuanto al desarrollo de este parámetro tiene un alto impacto en los componentes principalmente en los de contaminación. Un ejemplo real es la clausura de 27 empresas en el Estado de México, que se conforma dentro de la cuenca, para el mes de Septiembre de 1998, según informes de la Dirección General de Protección al Ambiente del Estado de México.

Como primer de impacto se tiene el crecimiento poblacional por consiguiente los aspectos sociales que rigen la explotación de pozos, quienes hicieron posible que en 380 años (1521 – 1902) la desaparición del sistema ecológico, es decir la desecación de los lagos, manantiales y flora y fauna auctoctona. Lo importante del caso es que existe la probabilidad que se modifique el equilibrio que se lleva a cabo en el sistema acuífero, como se documento anteriormente la profundidad para la extracción ha aumentado hasta 300 m, la infraestructura física de los pozos acelera su vida útil, por otra parte la importación de caudales, ha llegado a ser incierta. Lo anterior nos deriva a un alto impacto con perdida parcial del sistema, el cual es alarmante si no se llevan a cabo medidas de precaución

El parámetro de políticas para la dotación de viviendas, donde en este tiempo no es común incorporar la variable ambiental en los proyectos inmobiliarios, desde la zonificación geohidrologica, abatimiento del nivel freático durante el proceso constructivo y se olvida la satisfacción de los recursos en el mediano plazo durante la ocupación. Esta vertiginosa de infraestructura magnifica de forma sustancial la problemática existente, donde los impactos sucedidos son ya con perdida parcial del entorno, sin embargo se tiene la posibilidad, que con una apropiada planeación sus efectos pueden ser mitigables. Para esto es necesario el parámetro de "aplicación y desarrollo de una normatividad que preserve el acuífero" quien tiene la posibilidad de que las acciones no dañen o se pierda totalmente el entorno.

Ésta normatividad debe ser fundamental, anteponiendo los aspectos sociales, no ésta contra la producción de vivienda, más bien es aplicable en la ejecución de los proyectos de urbanización, quien deben cumplir con los requisitos ambientales.

## IX - 4. 2. 3. 3. MATRIZ DE IMPACTOS SUBSECUENTES

Podemos observar que los efectos del parámetro "fenómenos de hundimiento" suceden con un alto impacto en detrimento de la sociedad, principalmente de la infraestructura civil, en la totalidad de nuestra área de estudio, continúan estos hundimientos. En el área de Azcapotzalco, muy pocos se dan cuenta de ello. Sin embargo en el centro de la ciudad se llevan a cabo importantes reestructuraciones, de no ser así muchos de nuestros monumentos históricos no existirían. Es importante observar el área de Xochimilco en donde la magnitud del problema se hace cada vez más patente y seguirá presentándose en los próximos años, mientras exista el desequilibrio entre lo que se extrae y lo que se recarga.

A ello se debe la consolidación de las arcillas superiores y los agrietamientos que suceden, como otro ejemplo se da en la zona de San Vicente Chicoloapan, Edo. de México, las fracturas se presentan con extensiones de aproximadamente un kilómetro, con una profundidad de casi tres metros. Los efectos de estos fenómenos tienen un alto impacto tanto de tipo psicológico como en los intereses de la sociedad.

A la fecha la zona metropolitana cuenta con agua suficiente pero la mayoría de sus habitantes no saben que ésta proviene de los pozos. Tal vez a ello se deba que pocos se den cuenta de los problemas ocasionados por los cambios de almacenamiento, abatimientos del nivel estático y disminución de caudales, este último parámetro es el que más impacto tiene en la calidad de vida y la salud pública en la zona metropolitana [1]

Como hemos visto el agua se extrae de entre 40 y 150 metros de profundidad donde ha sido almacenada por millones de años, es lógico pensar que entre más tiempo de residencia tenga en el subsuelo, su potabilización es necesaria, esto presenta problemas económicos que sin su aplicación, en el momento del consumo generaría un impacto en el detrimento de la calidad de vida y sobre todo en la salud de los habitantes, al no ser apta para consumo humano.

[1] FUENTE: CNI canal 40 Realidades tel: 6 28 85 22 programa "Cuando el río no lleva la pipa no llega"

## IX - 4. 2. 3. 4. MATRIZ DE COMPONENTES AMBIENTALES ASOCIADOS A LA EXPLOTACION DEL ACUÍFERO Y SU ZONA GEOHIDROLÓGICA.

Del análisis general de la matriz podemos observar el marcador de impacto total para cada una de las zonas geohidrológicas, el cual depende principalmente de la cantidad de parámetros que tienen influencia en ella, de ésta manera se puede observar que las zonas de lago, transición y rocas basálticas, el marcador de impacto denota la misma importancia para éstas zonas.

En la zona de lago, todos los parámetros ambientales tienen influencia en ella, en un principio sus características geohidrológicas permitían la recuperación en el sistema, sin embargo pese a las políticas de recuperación, la continua demanda del recurso indujo la presencia día con día, de cambios con características irreversibles.

La zona de lago se ha visto muy afectada, la evolución en los cambios físicos seguirán presentándose. Por lo tanto se hace evidente la necesidad insoslayable de encaminar los esfuerzos de preservar las características físicas en el acuífero donde los impactos no se han hecho del todo presentes.

La zona más susceptible a sufrir cambios físicos, son los acuíferos pertenecientes a las rocas basálticas y su marcador de impacto total se debe a los parámetros relacionados a los caudales contenidos, la importancia de la zona radica esencialmente que de ella dependen en gran parte las zonas geohidrológicas que componen el acuífero central.

Otras zonas no menos importantes son las zonas de transición y la formación tarango con características muy particulares, en las rocas andesíticas radica, su importancia a que son zonas de recarga por lo cual deben cuidarse los abatimientos del nivel estático, al igual que las actividades antropogénicas, por la alta vulnerabilidad de hacer llegar contaminantes al manto acuífero, sobre todo en las áreas cercanas a los manantiales.

Dado que las diferentes zonas conforman un mismo acuífero, los parámetros que más influencia tienen en el mismo son; el abatimiento del nivel estático, disminución de caudales y cambios de almacenamiento, todos relacionados a la escasez del recurso, como consecuencia a estos, suceden los cambios en la calidad del agua, consolidación y desecación de las arcillas superiores.

Haciendo uso de una herramienta más, la superposición y comparación de los planos de zonificación geohidrológica, con el de evolución del nivel estático durante el periodo de 1985 a 1995 , tomando como referencia el aeropuerto de la ciudad se observa que en el año de 1985 se encontraban elevaciones piezométricas máximas de 2220 . y 2240 metros, aun para la zona de lago y de transición en Azcapotzalco, Para el año de 1991 se tuvo abatimientos de niveles hasta 2185 m., la disminución de este nivel estático se ha ido extendiendo principalmente hacia la parte sur del acuífero llegando hacia zonas de transición hasta entonces no impactadas con una elevación máxima de 2220. Sin embargo para el año de 1995 la elevación máxima en las zonas de materiales granulares

es de 2195 en el área de basaltos en la sierra de Santa Catarina y 2230 en la formación tarango en el poniente, y basaltos del Ajusco, se define que las zonas más suceptibles a este parámetro son las contenidas en el acuífero libre.

Efectuando una segunda sobreposición para un periodo mas corto en el plano de la configuración del nivel estático periodo de 1993 a 1995, se encuentran una curva que muestra una recuperación de 2 metros en la zona transición en Azcapotzalco, en las imediaciones de nuestra zona de estudio áreas de materiales granulares el abatimiento del nivel estático es de –1 m, en lo que se refiere a la zona de lago se presentan abatimientos que van de -2 a -3 metros, un aspecto interesante es que no se encontró la suficiente información técnica que estudie y registre los efectos secundarios que generan estos abatimientos a saber, la formación de grietas en Iztapalapa o Xochimilco, o la recuperación de pozos en la zona de Azcapotzalco y que tienen relación con la transformación del tipo de acuífero de confinado o semiconfinado y finalmente a libre. En lo que se refiere a la evolución del periodo 1985-1995 observamos la formación de conos piezométricos en el área de Tlalpan Xotepingo, confirmando lo antes mencionado.

En estado natural de confinamiento del acuífero con el acuítardo donde al contener presiones hidráulicas similares la transferencia entre los dos medios sucede sin problemas, existiendo un equilibrio, sin embargo cuando se libera el acuífero sucede un incremento en el goteo del acuítardo ya que al existir medios de permeabilidad diferentes y al no existir las anteriores presiones, entonces el flujo de agua subterránea pasa de un medio en estado sobre saturado a uno que continuamente disminuye su saturación. El Instituto de Geofísica de la UNAM, maneja la tesis cuando el acuífero se hace libre, el fenómeno de goteo disminuye o desaparece ya que las características físico-químicas de las arcillas contendrán el agua intersticial, devolviéndole de ésta manera la presión hidrostática al acuítardo. Este hecho no ha sido probado plenamente. Sin embargo las características de las arcillas como son porosidad, retención específica y contenido de humedad entre otros ya han sido modificadas, ya que el 35% de la explotación recaen en acuítardo y los estratos profundos. De lo anterior deberá profundizarse la viabilidad de estas alternativas para la disminución de los efectos y no traer consecuencias más graves.

La afectación a los primeros cambios físicos generan otros no menos importantes tal como sucede en "la calidad del recurso", al respecto el laboratorio central de la DGCOH, mantiene un monitoreo constante del sistema para verificar su electroneutralidad. El efecto más adverso se encuentra precisamente en la zona de lago perteneciente al cuarto grupo de la clasificación de aguas: alta mineralización, conductividad superior a la mil unidades, las reacciones de la adhesión de cloro con los contenidos minerales ofrecerán resultados ajenos al agua potable. Cabe aclarar que el impacto en general para evaluar cualquier zona, se debe a la extracción del recurso en estratos cada vez más profundos donde el contenido de minerales es debido precisamente a las características geohidrológicas del acuífero donde se encuentran contenidas.

En cuanto al parámetro de hundimientos estos fueron vistos de forma explícita en el capítulo VII, por lo que solo mencionaremos lo siguiente, el fenómeno sucedió en tres etapas, la primera tuvo un lapso de 1973 a 1998, en el cual sucedió un hundimiento lineal de 4 cm. por año, siendo la primera zona impactada la de lago, para los siguientes diez años de 1937 a 1947, sucede de forma lineal con 14 cm. por año, la tercera etapa de 1947 a 1968, se registra con una velocidad de 40 cm por año disminuyendo progresivamente hasta 10 cm por año al final del periodo, de ésta manera. Sobreponiendo el último plano de hundimientos del periodo de 1992 a 1994, con el plano de zonificación gehidrológica, se pueden observar los limites entre el Distrito Federal y Ciudad Nezahualcoyotl un hundimiento anual de 30 cm, del mapa evolución de la mancha urbana ésta zona tuvo una invasión indiscriminada, en la década de los 60s'. Para la zona sur de la ciudad correspondiente al área de Xochimilco y Tlahuac, contenida entre la Sierra de Santa Catarina y del Chichinahutzin, las curvas de hundimiento promedian 15 cm. anuales, La importancia de ésta zona de transición abrupta II-B es una de las productivas, y su influencia es determinante en el todo el sistema. Por lo anterior descrito concluimos que el peso de impacto al sistema acuífero ha sucedido en detrimento del ambiente, ahora el parámetro no muestra la recuperabilidad que se tenia en las primeras etapas, ya que desde el momento en el que se disminuye la presión piezométrica en el acuífero, se provoca una consolidación en las arcillas superiores. Por lo tanto en el estado actual del acuífero, aun con la suspensión total de la extracción no se detendrá el hundimiento.

El parámetro " riesgo de contaminación del agua subterránea ", quizá por el hecho que no se ha presentado no se le da la debida importancia, sin embargo la matriz muestra uno de los marcadores más altos, para el parámetro, ya que este puede iniciarse, con una magnitud total y radical y con un alto impacto en el detrimento del ambiente, en cualquier zona hidrológica. Superponiendo el plano de zonificación gehidrológica con el de la evolución del nivel estático, se observa que la saturación en las arcillas superiores en las zonas de lago y transición servían de capas impermeables a los contaminantes, ahora ésta evolución las hace, susceptibles de infiltración de lixiviados, aunado al hecho que la consolidación producto de los asentamientos modificaron ya las características de vulnerabilidad en el sistema. La superposición con el mapa de la evolución de la mancha urbana se observa una expansión hacia las zonas de rocas basálticas, formación tarango y rocas andesiticas todas aportadoras de recarga, donde un ecosistema decadente y la basura son sustituidos por las crecientes unidades habitacionales y sus respectivas actividades antropogénicas quienes aumentan en corto plazo de terminar con el 70% del suministro de agua en la ZMVM.

## IX - 4. 2. 3. 5. MATRIZ DE PROBLEMÁTICA DE EXPLOTACION

El marcador de más alto impacto se encuentra en el desarrollo de una normatividad para preservar al acuífero y en la falta de aplicación de políticas por sustitución de caudales y uso eficiente del agua, en cierta forma estos dos rubros están ligados ya que al no existir normatividad no puede haber sanciones por incumplir acuerdos entre dependencias o entre los usuarios mismos.

El impacto de hundimientos y asentamientos aunado a la problemática "referentes al sistema que coadyuva a la existencia de fugas" esto es, la vida de muchas de las redes de distribución ha sido rebasada, condiciones que hacen más difícil el reparto del recurso.

Por otra parte se observa en la problemática aceleración de la vida útil en los componentes de los pozos por uso indefinido tiene magnitudes medianas y con un impacto insignificante en el sistema sin embargo este uso ininterrumpido, genera desperdicio de agua en algunos sectores de la población, por ello es impostergable hacer participe a la ciudadanía responsabilizándola por el desperdicio o mal uso que se haga del agua.

Sin embargo en la cultura de consumo un factor que no se debe de descuidar es "la concientización en la forma de explotación del recurso", el conocimiento de que este no es renovable, marca la pauta para que los efectos se inviertan en el componente de explotación.

De igual forma sucede a los subsidios ajenos a la situación financiera del sistema de recaudación. En la Ciudad de México se paga, aproximadamente, una quinta parte del costo del agua. Tenemos un subsidio enorme, en el análisis de la matriz las repercusiones de esta problemática deriva en un marcador de impacto alto, por lo que cabe reconsiderar en un estudio que mitigue ésta problemática.

# X MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

## X. 1 INTRODUCCIÓN

A partir de las evaluaciones elaboradas en el capítulo anterior, donde los marcadores y las características de impacto muestran su espectro más amplio, valor que ofrece un mejor conocimiento del comportamiento del sistema acuífero y la interrelación sociedad entorno ambiental.

Este conocimiento conlleva a un cambio contundente en las políticas de explotación, partiendo de las cuestiones sociales y técnicas. Para tener éxito en este propósito se necesita actuar en todos los frentes del problema y por tanto este programa se estructura, no solo con las resoluciones unilaterales de gobierno sino que, las ideas cobran fuerza cuando se hacen públicas, de esta manera las resoluciones bilaterales, ciudadanía - gobierno son quizá las que marquen la pauta para la recuperación y mantenimiento del sistema acuífero, y por consiguiente la supervivencia de esta nuestra gran Ciudad.

BILATERALES CIUDADANIA - GOBIERNO:

1. Concertación y concientización social.

2. Involucrar a la población en el cuidado de los integrantes del sistema

3. Protección de las zonas de recarga de los mantos acuíferos.

4. Apoyo al programa uso eficiente del agua (racionalización del consumo).

GUBERNAMENTALES (ACCIONES DE GOBIERNO):

5. Tratamiento de aguas y recarga artificial de los mantos acuíferos.

6. Mantenimiento integral a los sistemas de distribución.

7. Aprovechamiento de nuevas fuentes de explotación, a partir de estudios ambientales.

8. Consolidación y aplicación del marco jurídico.

9. Estudios tarifarios y subsidio

10. Privatización del sistema de distribución de agua potable.

## X - 2 ACCIONES BILATERALES CIUDADANIA - GOBIERNO

Las demandas de agua potable y servicios en general, son los que determinan el ritmo de explotación en los acuíferos, tal como lo confirma la matriz de problemática y de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo, la conservación y el uso racional del agua es objeto que demanda la contribución de todos.

Si bien se han dividido estas acciones en diferentes rubros es para tener la idea de cada una de ellas, lo que se persigue es una voluntad y compromiso mutuo, ya que si los programas no han sido del todo óptimos es por que no se involucra a la población. Podemos hablar de los programas de paros de pozos o de la importancia de las zonas de recarga, pero no se les invita a participar en el apego a estos programas, de tal manera que estos sean estrictamente para el alivio del acuífero.

De esta manera debemos fomentar una continúa campaña de publicidad, donde se informe que el recurso, es limitado y el porcentaje de sobreexplotación acumulado año tras año origina una serie de problemáticas, cómo son los hundimientos-agrietamientos en las arcillas, cambios en la calidad del agua, abatimientos en los niveles de explotación entre otros, explicando lo que implica todos y cada una de estas alteraciones, y cómo estas nos llevan a otras categorías de impacto, como son, los económicos y aún más severos de carácter social, revirtiéndose el fenómeno hacia la población misma, en este sentido se debe orientar a los usuarios para que reduzcan desperdicios y utilicen mecanismos y formas que ahorren agua.

Por otra parte las últimas repercusiones que se dan en el sistema inciden precisamente en la salud pública y la calidad de vida de los habitantes, por ello es impostergable reducir los consumos de agua por habitante de 290 a 250 litros diarios, tratando de distribuir el recurso de forma más adecuada sin aumentar el volumen de explotación, promover el uso del agua de lluvia, para instalaciones sanitarias y rehusar el agua de primer uso y de acuerdo como el suministro de agua lo permita disminuir la extracción de agua en el área metropolitana, donde la extracción se ha venido incrementando en los últimos años, incentivando a todos aquellos ciudadanos que decidan hacer modificaciones en forma individual, de igual forma promover e incentivar a todos aquellos profesionistas que integren nuevos y novedosos proyectos en este sentido.

Así mismo, estar concientes que la modificación del ciclo hidrológico ha sido de tipo antropogénico la continua modificación del uso del suelo, tanto de reserva ecológica como cultivable, para la expansión de viviendas ha modificado el sur de la cuenca a tal grado que amenazan con terminar las únicas zonas verdes existentes. A partir de esta situación es también impostergable revisar y adecuar los lineamientos jurídicos donde se implementen sanciones a los proyectos que invadan estos predios, con la finalidad de proteger el interés común de todos los ciudadanos y sobre todo el de las nuevas generaciones.

En la Ciudad de México se presentan precipitaciones promedio del orden de 750 mm anuales, se deben hacer estudios para verificar si parte de este caudal puede ser aprovechado para la recarga artificial o adecuarlo para agua potable debiéndose estudiar la factibilidad de su recolección y construcción de obras de infiltración del agua pluvial, debiendo analizarse si debe de hacerse por medio de: pozos, presas y/o simplemente incrementando la reforestación de las zonas altas.

La reforestación de las zonas topográficamente altas, es una acción benéfica desde varios puntos de vista, entre ellos, evita la erosión, el arrastre de sedimentos e incrementa la infiltración del agua al subsuelo, por lo que debe fomentarse a todos los niveles. Por otra parte es importante realizar estudios de impacto cuando se prevén acciones que modifiquen el uso del suelo, como es el caso del plan nacional de desarrollo de la delegación Xochimilco donde se planea desarrollar algunas áreas de recarga como agropecuarias ya que es de suponerse una importante modificación de áreas boscosas a pastizales.

Como conclusión se puede afirmar lo importante de que la población tome conciencia de que sin su participación no será posible lograr cambios importantes, por lo anterior ellos mismos deben ser los guardianes o custodios de las áreas que dan sustentabilidad al desarrollo de la ciudad.

## X - 3 ACCIONES GUBERNAMENTALES

### X - 3.1. RECARGA ARTIFICIAL AL ACUÍFERO

GENERALIDADES

La recarga artificial al acuífero, se ha manejado como una de las medidas para mitigar los impactos, a los que se encuentra sometido, de entre los más importantes son los de mitigar los efectos producidos por la contaminación y en especial los que se refieren a los cambios físicos que suceden en el acuífero debidos a su explotación, una recarga directa en el mediado plazo influiría en el aumento de las presiones hidrostáticas, y aliviará la evolución negativa de los niveles estáticos, por consiguiente con ello también coadyuvaría a disminuir el drenado de las arcillas superiores hacia al acuífero, controlándose así la consolidación que sufren, además, el mantenerlas saturadas impediría el avance de posibles lixiviados. Esta opción permite en el largo plazo el almacenamiento del recurso y la reducción en la importación de agua de cuencas externas. Para efectuar la recarga es necesario que se cumpla con dos condiciones:

a) Que existan sitios y zonas permeables que permitan la infiltración de agua al acuífero mediante pozos, estanques y galerías filtrantes.

Para los estanques y galerías filtrantes se requiere de una gran superficie, de terreno. Como ya hemos visto las arcillas impermeables constituyen la mayor parte del valle impidiendo, su infiltración directa y natural por lo que este tipo de estructuras solo puede construirse en los flancos de las sierras. Si a esta impermeabilización relativa aunamos el grado de recubrimiento que existe (urbanización), obviamente la falta de espacios, para su instalación entre otros aspectos, esto conlleva a definir que el método óptimo de recarga en el valle sea a través de pozos. Dentro de las ventajas que ofrecen es que éstos atraviesan las capas de las arcillas. Sin embargo, aun hay que cuidar el aspecto mas importante el que la calidad del agua a infiltrar deberá ser lo más parecida posible al agua residente en el acuífero para evitar su contaminación o reacciones adversas a la misma.

b) Deberán existir volúmenes de agua suficiente para la recarga. Estos volúmenes que se disponen en la Ciudad de México, corresponden a las aguas residuales renovadas provenientes de plantas de tratamiento distribuidas prácticamente en toda la ciudad, la cuales se deben someter a tratamientos avanzados para que alcancen la calidad de agua deseada, en tabla X 1 se incluye un listado del análisis del agua en estas plantas y en la figura X 1 su localización.

Otra opción es el agua de lluvia, la que para lograr su captación tendrán que diseñarse dispositivos, que hagan posible dicha recolección, presas de gaviones, zanjas, modificación de laderas además de pozos de absorción.

## ZONAS APROPIADAS PARA LA REGARGA

En la zona estudiada se encuentran rocas que de acuerdo a sus características geohidrólogicas, permiten la infiltración circulación y almacenamiento de agua en el subsuelo, como ya lo hemos estudiado, las rocas que reúnen dichas características son:

1.- Basaltos y piroclásticos de la formación Chichinautzin; constituyen la sierra del mismo nombre ubicada al sur de la zona metropolitana, así como, la Sierra de Santa Catarina (figura X 2). Su alta permeabilidad permite la infiltración de agua, tanto, a través de pozos como en estanques. En los pozos se pueden recargar alrededor de 40 a 60 lps por pozo, pero cada sitio posee características particulares por lo que debe sujetarse a pruebas de infiltración que se hagan in situ . A través de estanques, como el existente en la Sierra de Santa Catarina, en poca superficie se pueden infiltrar caudales superiores a 1000 lps. sin ningún problema.

2.- La formación Tarango que aflora al pie de la Sierra de las Cruces, se encuentra constituida por una serie de materiales entre los que predominan los de tipo granular, los cuales presentan una permeabilidad media. Estos materiales son factibles de recargar, en caudales de alrededor de 20 lps por pozo, lo importante en esta zona es que los niveles del agua subterránea son profundos y existe zona no saturada superior a los 100 m., por lo que los pozos contarían además con buena carga hidráulica, y una amplia zona para introducir el líquido.

3.- En la Sierra Nevada que limita al oriente de la zona de trabajo, se encuentran intercalaciones de materiales granulares con volcánicos que, en su conjunto, permiten la infiltración o recarga artificial con caudales del orden de 20 lps por pozo, aunque aún se deben hacer estudios a detalle para definir las factibilidades.

4.- Los materiales granulares en los que descansa la Ciudad de México, presentan una permeabilidad media. A través de ellos se podría efectuar una recarga artificial del orden de 10 a 30 lps por pozo, pero esto es riesgoso si no se hacen los estudios adecuados, ya que la infiltración es prácticamente directa en estos materiales.

Del centro hacia las orillas del Valle de México los materiales granulares que se encuentran en el subsuelo, presentan una permeabilidad de media a baja, por lo que se podrán utilizar para la recarga pudiendo ser esta del orden de 5 a 10 lps por pozo, al igual que en el párrafo anterior, se deben hacer antes de cualquier proyecto, estudios a detalle de las zonas seleccionadas.

TABLA X 1

## PROYECTO DE RECARGA ARTIFICIAL CON AGUAS RESIDUALES PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE 1995

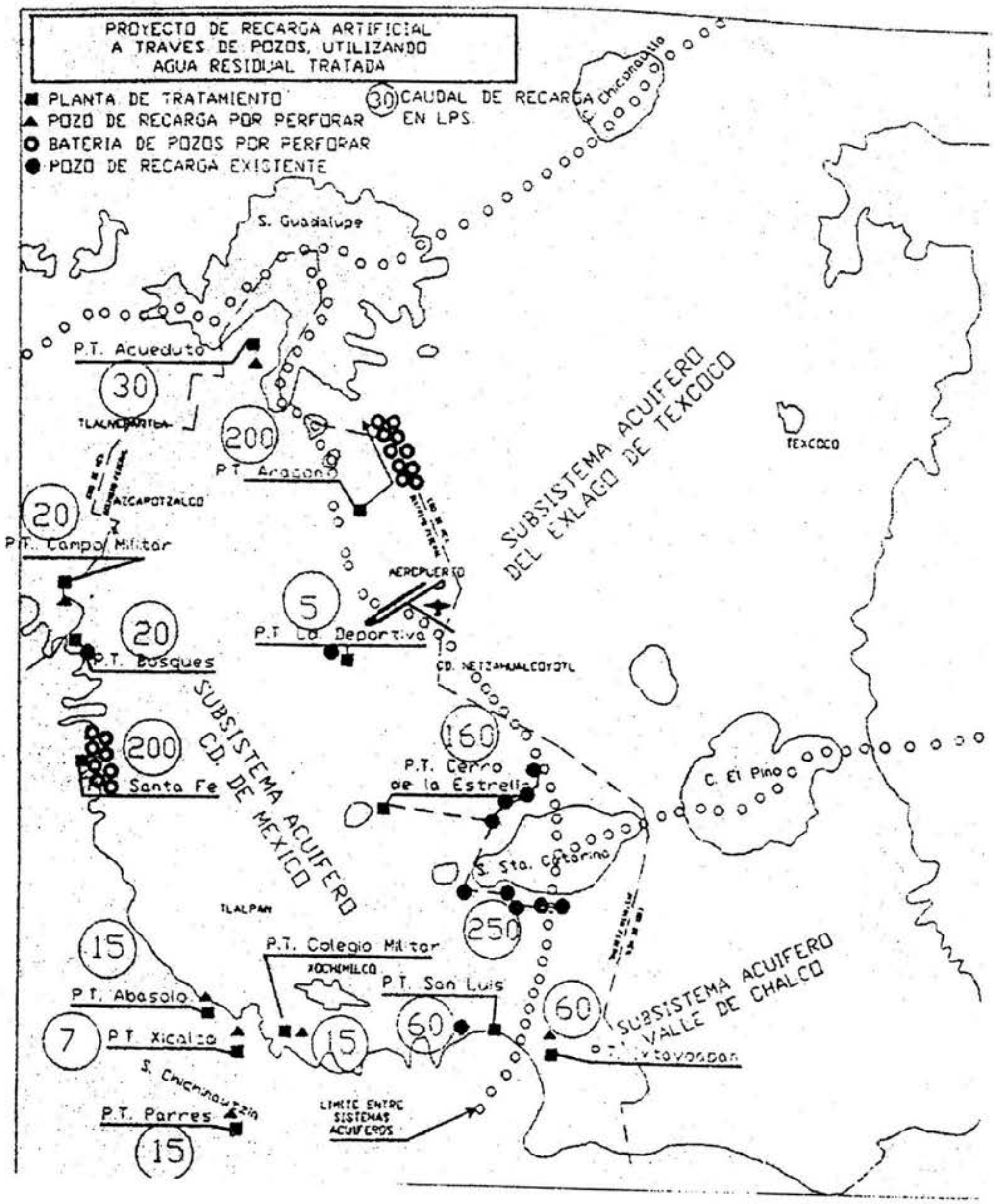
| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | CAPACIDAD DE OPERACIÓN | NIVEL DE TRATAMIENTO | FACTIBILIDAD DE CAUDAL lps | No. DE POZOS EN PROYECTO | CARACTERISTICAS DE INYECCION | VOLUMEN DE RECARGA lps |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ACUEDUCTO DE GUADALUPE | 57 | SECUNDARIO | 30 | 1 | Perforación de pozos dentro de la planta donde, no existe circulación del agua hacia la zona de explotación. | 30 |
| SAN JUAN DE ARAGON | 364 | SECUNDARIO | 200 | 10 | Se sugiere la ubicación de pozos a lo largo del límite del D. F. donde los materiales permiten la recarga y con flujo opuesto a la explotación | 200 |
| CD. DEPORTIVA | 80 | SECUNDARI0 | 5 | 1* | A través del pozo No. 28, que se encuentra fuera de operación, y no existen extracciones que pudieran verse afectadas. | 5 |
| CERRO DE LA ESTRELLA | 2300 | | 410 | 9* | Con la construcción de 4 pozos en el norte de la Sierra de Santa Catarina y 5 en la porción sur de la misma, para estos últimos se encuentra en operación el Santa Catarina 6, incluye un tren de tratamiento. | 410 + 600** |

TABLA X 1 (CONTINUACIÓN)

| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | CAPACIDAD DE OPERACIÓN | NIVEL DE TRATAMIENTO | FACTIBILIDAD DE CAUDAL lps | No. DE POZOS EN PROYECTO | CARACTERISTICAS DE INYECCION | VOLUMEN DE RECARGA lps |
|---|---|---|---|---|---|---|
| BOSQUES DE LAS LOMAS | 27 | SECUNDARIO | 20 | 1* | Se podría efectuar la recarga a través de un pozo cancelado. | 20 |
| CAMPO MILITAR | 30 | SECUNDARIO | 20 | 1 | Construcción de un pozo dentro de la planta donde se encuentran materiales de alta permeabilidad. | 20 |
| SAN JUAN IXTOYOAPAN | 106 | SECUNDARIO | 60 | 1 | Construcción de un pozo dentro de la planta. | 60 |
| ABASOLO | 15 | SECUNDARIO | 15 | 1 | Idem. | 15 |
| H. COLEGIO MILITAR | 15 | SECUNDARIO | 15 | 1 | Idem. | 15 |
| PARRES | 15 | SECUNDARIO | 15 | 1 | Idem. | 15 |
| SAN MIGUEL XICALCO | 75 | SECUNDARIO | 7 | 1* | Idem. | 7 |
| SN. LUIS TLAXIALTEMALCO | 110 | SECUNDARIO | 60 | 1* | Existe la construcción y adaptación del pozo San Luis 15 con tres pozos de monitoreo. | 60 |
| SANTA FE | 280 | SECUNDARIO | 200 | 8 | Construcción de 8 pozos en una batería cerca de la planta. | 200 |
| **TOTAL** | **387** | | | **37** | | **1657** |

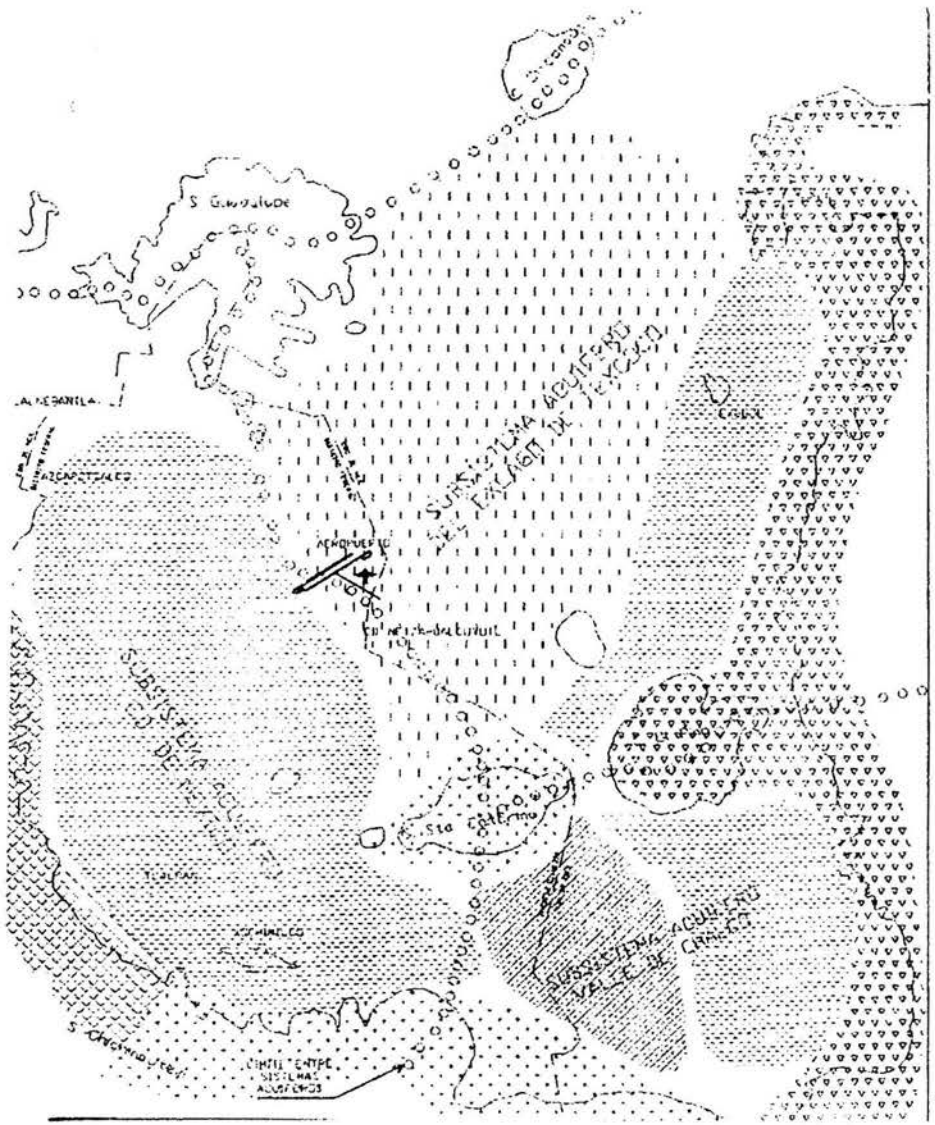
* POZO EXISTENTE.

** RECARGA ACTUAL A TRAVEZ DE ESTANQUES.



PROYECTO DE RECARGA ARTIFICIAL
A TRAVES DE POZOS, UTILIZANDO
AGUA RESIDUAL TRATADA
PLANTA DE TRATAMIENTO
POZO DE RECARGA POR PERFORAR
BATERIA DE POZOS POR PERFORAR
POZO DE RECARGA EXISTENTE
(30) CAUDAL DE RECARGA EN LPS.
S. Guadalupe
P.T. Acueducto
30
200
P.T. Aragon
20
AZCAPOTZALCO
P.T. Campo Militar
AEROPUERTO
5
P.T. Cd. Deportiva
20
P.T. Bosques
SUBSISTEMA ACUIFERO DEL EXLAGO DE TEXCOCO
TEXCOCO
160
200
Santa Fe
SUBSISTEMA ACUIFERO CD. DE MEXICO
P.T. Cerro de la Estrella
C. El Pino
S. Sta. Catarina
TLALPAN
250
15
P.T. Colegio Militar
XOCHIMILCO
P.T. Abasolo
P.T. San Luis
60
60
SUBSISTEMA ACUIFERO VALLE DE CHALCO
7
P.T. Xicalco
15
S. Chichinautzin
P.T. Parres
LIMITE ENTRE SISTEMAS ACUIFEROS
15


FIGURA X 1




ZONAS APROPIADAS PARA RECARGA ARTIFICIAL CON AGUAS RENOVALES

EXPLICACION

| UNIDAD | CAPACIDAD DE INFILTRACION | CAUDAL DE RECARGA POR POZO |
|---|---|---|
| FORMACION CHICHINAUTZIN | ALTA | 40-60 lps POR POZO CATANQUES HASTA 100 lps |
| FORMACION TARANGO | MEDIA | 5-20 lps POR POZO |
| SIERRA NEVADA | MEDIA | 5-20 lps POR POZO |
| ZONA DE ACTUAL EXTRACCION DE AGUA | | NO SE RECOMIENDA PARA RECARGA |
| VALLE DE TEXCOCO | BAJA | 5-10 lps POR POZO |
| VALLE DE TLAHUAC | ALTA EN ROCA | 40 lps POR POZO |

FIGURA X 2

## X - 3.2. APROVECHAMIENTO DE NUEVAS FUENTES DE EXPLOTACIÓN A PARTIR DE EVALUACIONES DE IMPACTO

Como fuentes alternas, para evitar intensificar la sobre explotación del acuífero de la Ciudad de México, se ha manejado la importación del agua en bloque es decir la introducción de los excedentes del recurso perteneciente a otras cuencas hidrológicas, donde las mas viables son las siguientes alternativas.

SISTEMA TEMASCALTEPEC

Para cubrir las demandas hasta el año 2007, se tiene planeada la construcción del Sistema Temascaltepec para $5m^3/s$ adicionales.

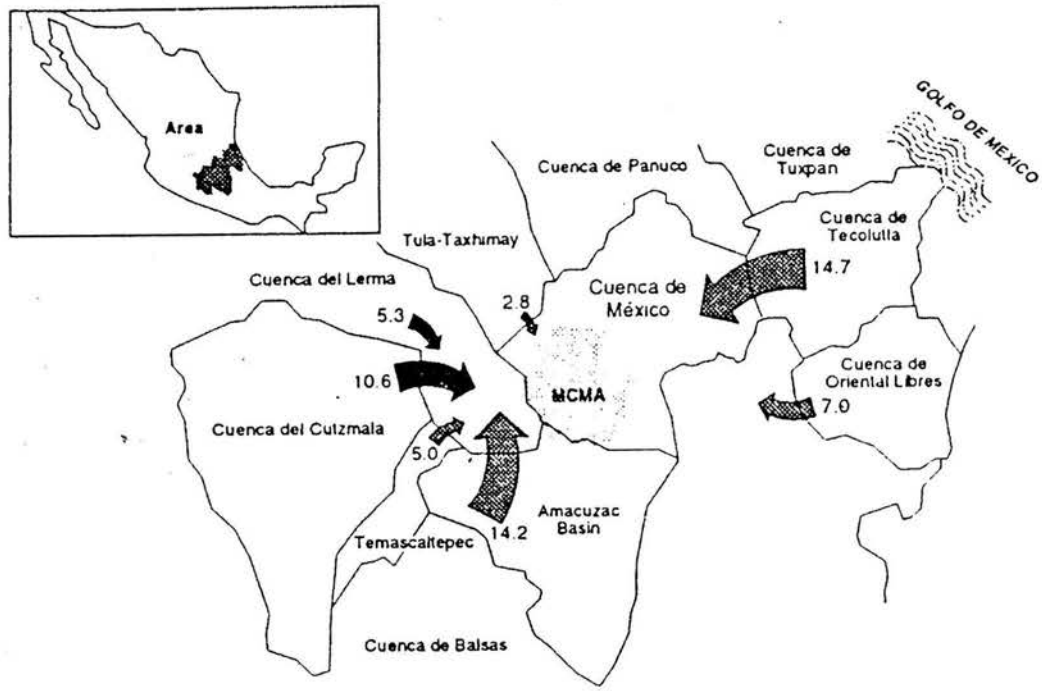
El proyecto captará las aguas del río Temascaltepec, mediante la construcción de la presa de almacenamiento "El Tule", incluyendo una planta de bombeo con su cámara de sumergencia y torre de oscilación, una línea de conducción de poco más de 5 kilómetros y el túnel "El Campanario" de 14.5 kms. para su conducción a la presa Valle de Bravo, donde se aprovechará la infraestructura ya existente de las tres primeras etapas, del sistema Cutzamala que tiene capacidad para bombear y transportar 24 $m^3/s$.

CUENCAS EXTERNAS

Para resolver las demandas de agua en años futuros. Las regiones más viables para importar el recurso corresponden a las Cuencas de Tecolutla, Oriental Libres al este, Amacuzac al sur, Tula Taxhimay al norte y Zimapan, estimándose que se pueden obtener caudales de 14.6, 7, 14.2, 2.8, y 20 $m^3/s$. Respectivamente.

Es de esta forma que se analiza su factibilidad hidrológica, técnica, política, social, económica y financiera sin descuidar las acciones que tiendan a mejorar el sistema ecológico.

Por otra parte como ya se ha visto en la primera parte de este trabajo, el ejemplo del Sistema Lerma que en sequías extremas obligó al gobierno a pagar las cosechas causando desequilibrios importantes en la producción de alimentos. También es importante que al tomar en cuenta esta opción se elaboren evaluaciones de impacto, en donde la adopción de estas medidas se apeguen al programa de sustitución de caudales ya que el líquido se distribuye prácticamente a lo largo de las líneas de distribución. Por lo tanto es importante reflexionar el alivio que estas medias proporcionan.




*Fuente: CNA*

| SISTEMA | LONGITUD DE TUNELES km | LONGITUD DE CONDUCCIÓN km | DESNIVEL A VENCER km | PLANTAS DE BOMBEO | GASTO $m^3$ / s |
|---|---|---|---|---|---|
| TEMASCALTEPEC | 22 | 9 | 1,227 | 1 (MÁS APROVECHAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL) | 5 |
| TECOLUTLA | – | 144 | 1,363 | 6 | 14.7 |
| ORIENTAL LIBRES | – | 130 | 1,180 | 4 | 7 |
| AMACUZAC | – | 107 | 1,587 | 6 | 14.2 |
| TAXIMAY | – | 50 | 162 | SIN INFORMACIÓN | 2.8 |
| ZIMAPAN | – | 137 | 838 | 4 | 20 (TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES) |

FIGURA X 3 APROVECHAMIENTO DE NUEVAS FUENTES DE EXPLOTACION

## X - 3. 3. IDENTIFICACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE NUEVOS ACUÍFEROS

A partir de los estudios realizados en 1986, se han definido nuevos conceptos de los eventos que influyeron en la formación de la cuenca, los cuales dio a conocer F. Mosser[1] en 1990, donde se ha diferenciado dos nuevas formaciones la denominada capa estratificada cuya sima se denominó base del acuífero superior y la capa lacustre del plioceno que separa dos acuíferos, esto vino a modificar el funcionamiento conceptuad que se tenía del acuífero, ya que se suponía que el acuífero estaba compuesto de rocas permeables y de profundidad aproximada a los 2000 metros.

De esta manera existen en el Valle tres acuíferos; el superior, el medio y el profundo. Del acuífero superior, principalmente granular, se abastece de agua a la Ciudad de México. En el acuífero medio, vulcanitas fracturadas, se han localizado manantiales hacia el sur, del Alto Amacuzac. Del acuífero profundo, formado por calizas fracturadas y cársticas, se tiene poca información sin embargo en la zona de contacto donde se forman, las cabalgaduras afloran manantiales también hacia el sur.

Para la viabilidad de explotación en estos mantos acuíferos vírgenes es necesario la realización de estudios de impacto que muestren la relación de la explotación con su medio, por otra parte se debe tomar en cuenta la alta mineralización de estas aguas, al igual que los altos costos de explotación ya que se desconocen las características geohidrológicas de estas formaciones mismas que contienen el recurso.

1 ANÁLISIS DE LOS EFECTOS Y POLÍTICAS DE OPERACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN EL DISTRITO FEDERAL D. D. D. F. – D. G. C. O. H. MÉXICO 1995

## X - 3.4. CONSOLIDACION Y APLICACIÓN DEL MARCO JURIDICO

Las políticas de densificación de áreas mediante la construcción de viviendas colectivas, en el D. F., donde las características cualitativas de este desarrollo son determinantes en la aceleración del detrimento en el sistema acuífero según la matriz de problemática. A partir de esta situación deben estudiarse modificaciones al Reglamento de las Construcciones del Departamento del Distrito Federal, motivando a la construcción de cisternas con capacidad de captación igual al de los techos de las edificaciones, así como pequeñas plantas de tratamiento, además de tuberías paralelas para el empleo en actividades donde no se requiera por fuerza la calidad de agua potable. También es importante que el reglamento de urbanizaciones motive la utilización de materiales constructivos e infraestructura adecuada que permita la saturación de las arcillas.

Obviamente se incrementara el costo inicial de estas unidades habitacionales, debido a la utilización de materiales, estudios de mecánica de suelos y de factibilidad de rehúso, que hagan posible estos proyectos, también es necesario apoyo económico y técnico para su continuidad. En un principio parecieran de gran magnitud, al igual que lo fue el plan de contingencia ambiental, sin embargo si se tiene una idea de los efectos que se hacen presentes, para qué esperar a los que aún se pude llegar con este ritmo (35 %) de explotación. Ninguna inversión ambiental es redituable financieramente, sin embargo en el mediano plazo los beneficios amortizarán por mucho estos esfuerzos.

Ejemplos como estos se llevan a cabo en la unidad habitacional el Rosario, Asociación de industriales de Vallejo que recolecta y trata parte de sus afluentes. o en delegación Magdalena Contreras donde de comienza a desarrollar un sistema de represas para colectar e infiltrar los escurrimientos a los mantos freáticos.

## X - 3.5. PRIVATIZACIÓN DEL RECURSO Y FIN DEL SUBSIDIO

La crisis presupuestaria de precios aunado a los ingresos menores recabados por la prestación del servicio, han limitado la capacidad de renovación y ampliación de la red de captación y distribución. De esta forma es importante la reflexión en materia económica:

La evolución en la recuperación de las tarifas ha evolucionado lentamente en 1980 no sé tenia actualizado y completo el padrón de usuarios. En la administración de 1988 a1994 solo el 35 % del servicio se facturaba y solo la mitad de estas tarifas era recuperada[1]. En últimas fechas de acuerdo con datos de la UNAM, por la distribución del líquido apenas se logra cobrar el 53 %, por ello, la evasión por este servicio ha sido muy alta.

En el Distrito Federal a diario, se necesitan de 35 a 37 mil litros de agua cada segundo. Su uso se distribuye de acuerdo con el nivel socioeconómico y puede alcanzar de 20 litros diarios por habitante en clase baja hasta 600 en personas de altos ingresos[2].

Por otra parte en el Valle de México el costo de operación del aprovechamiento subterráneo, tomando en cuenta la extracción, el transporte, la potabilización y la distribución solo se cobran $ 1.20 pesos por $m^3$, aun cuando el costo marginal del servicio es de más de $ 5.5 pesos por metro cúbico.

Reflexionando sobre los incisos anteriores, tomando en cuenta el costo real del recurso se tendría un incremento en los recibos de cinco a ocho veces el pago actual, sin embargo de las evaluaciones estudiadas (Matriz de problemática de explotación) hemos experimentado cambios radicales en el sistema teniendo la posibilidad de agudizar la problemática, si seguimos como hasta ahora, ya que el sistema no es capaz de auto regenerarse, de aquí la importancia de tomar en cuenta las posibilidades que permitan dar forma al futuro con grandes compromisos, como es el cambio del valor que se le da al recurso con el sentido de responsabilidad colectiva y transparencia en la información que recibe la sociedad.

Tomando como ejemplo los lineamientos ambientales que aplican otros países como es el caso de Alemania donde los pobladores se adjudican la obligación de reciclar o reducir en un mínimo los desechos de los recursos naturales utilizados, justificándose en él hecho de pagar por algo que se ha servido[3].

---

*1 CONGRESO "VUELTA A LA CIUDAD LACUSTRE PONENCIA: "HACIA UN NUEVO ARREGLO INSTITUCIONAL DEL SECTOR HIDRAÚLICO", CIUDAD DE MEXICO 1998.*

*2* www.diariodemexico.com.mx *(26 de julio de 2004)*

*3 FORME "SITUACIÓN ACTUAL DE ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MÉXICO C. N. A. GERENCIA DE COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA 1995*

Una opción que ha tomado el gobierno del DDF, ha sido la que convocó en 1992 a compañías privadas para la administración de la distribución y el cobro de pagos. El proceso de privatización comprende 3 procesos: actualización del registro de usuarios e instalación de medidores; cobro a consumidores bajo sistema de uso medido, y mantenimiento y reparación del sistema.

En la etapa de madurez del nuevo esquema se prevé que la ciudad venderá el agua en bloque a las compañías para que éstas lo vendan a los usuarios. Para el efecto, el DF será dividido en 4 zonas. El proyecto estima que los requerimientos de agua disminuirán entre 30 y 40 %, debido al costo del liquido, la instalación de medidores y la reparación de fugas[3].

La privatización en primer instancia atrae el incremento del capital de inversión ya con una adecuada estructura administrativa ofrece garantía de capital de ganancia, sin embargo el proyecto cobra importancia en la concientización y responsabilidad colectiva de la ciudadanía adjudicándose el derecho de custodiar y vigilar que se cumplan al máximo los objetivos de recuperación y preservación del sistema acuífero.

[3] *REVISTA CIENTIFICA "TEOREMA" 1995*

## EVALUACIÓN GENERAL DE IMPACTOS AMBIENTALES AL SUBSISTEMA ACUÍFERO CIUDAD DE MÉXICO (CONCLUSIÓN)

Ante los resultados originados por las matrices de impacto antes desarrolladas, se tiene la necesidad insoslayable de reorientar las políticas de explotación que hagan posible el sostenimiento del recurso en el largo plazo. Por lo que interesante las siguientes reflexiones.

La cuenca del Valle de México formada hace 70,000 años con el cierre de su parte sur por la Sierra del Chichinautzin, quien origino la formación de un lago que se extendía en un área aproximada de 1575 $km^2$, en el centro oriente se encontraba una imponente ciudad donde su cultura mantenía una estrecha relación con el agua y la naturaleza.

1. En el lago hace 470 años aproximadamente se encontraba un ecosistema, el cual compartían flora y fauna, actualmente el programa de conservación en el Lago de Texcoco guarda alguna parte de ello, dentro de lo que se encontraba se puede mencionar; alga espirulina juncos y gladiolos, peces ranas e insectos y una importante variedad de aves nativas y migratorias, en los predios de la ciudad se cultivaba una abundante hortaliza y flores que la perfumaban, las márgenes del lago eran concurridas por una importante variedad de mamíferos nativos, hombre y naturaleza en equilibrio dentro de un mismo espacio. Consientes de la importancia que era mantener limpio su habitad prácticamente no existía interferencia con el medio natural. La medición de los niveles de alteración a este primer ecosistema por la nueva cultura (establecida en 1516) los describe el "método de matriz de evaluación al acuífero". Lo importante del caso es que esta cultura continúa con esta vertiginosa transformación, de acuerdo a la matriz causa efecto con resultados cualitativos, el crecimiento poblacional y los aspectos sociales que regulan la explotación de pozos nos llevaran a situaciones insostenibles si no se concientaza ahora de lo vital del sistema, según los resultados de la matriz causa efecto. El desarrollo de estos resultados los analizamos en los siguientes puntos.

2. El estudio y evaluación de los impactos en el, "método de matriz de evaluación al acuífero", los divide en categorías ambientales siendo; ecológicos, relativos a la contaminación (alteración a las características naturales del sistema), los aspectos estéticos y los aspectos de interés humano, de sus resultado los efectos a los primeros han sido por demás adversos, cuyos efectos se extienden hacia prácticamente todo el valle, con una magnitud critica en dónde sus efectos los vivimos hoy en día, Sin embargo, las acciones de explotación y la acumulación de los impactos, se ven revertidos en la calidad de vida de los habitantes.

3. De acuerdo a la "matriz de impactos subsecuentes", el descubrimiento de la explotación del recurso por medio de pozos artesianos en la época colonial, se vio revertida en el siglo XX. La presión natural existente en ese entonces conducía el agua del subsuelo a la superficie para su acceso disponible en pozos, sin necesidad de bombeo. Este fenómeno, se revirtió en el siglo XX, coadyuvando a la desecación de manantiales y desaparición de los lagos

4. Se afirma que el 35% de explotación de los pozos, proviene del acuítardo superior si bien esto no ha sido comprobado, las arcillas continúan compactándose, y la extracción del recurso proviene de estratos cada vez más profundos, originando de esta manera cambios físicos en el acuífero y su entorno estos cambios, tienen la propiedad del efecto domino es decir conllevan a efectos más severos, tal como muestran los resultados en la "matriz de impacto al acuífero", los primeros efectos ocasionados en épocas pasadas son no mitigables además de irrecuperables, sin embargo para los segundos suceden el periodo actual o con una probabilidad media de ocurrencia y su posible conservación, está en función que las acciones que se tomen hoy, sin embargo la indiferencia a estos nos llevan a terceros efectos con características inciertas.

5. Ahora bien los parámetros de mayor influencia en el sistema (según la matriz causa efecto con resultados cualitativos) siguen siendo el crecimiento poblacional y los aspectos sociales que regulan la explotación de pozos, para este último parámetro de influencia afecta con un alto impacto el ambiente al componente de "contaminantes". No se pretende afectar la calidad de vida de la población, sino que el objetivo de esta evaluación es actuar conforme a las formas cualitativas que adopta el crecimiento urbano, conjuntamente con las políticas sociales y económicas que lo rigen, siendo viable la reducción en las formas y niveles de consumo, y dado que los aspectos sociales lejos de permitir los objetivos en las políticas de recuperación al sistema aceleran su detrimento, entonces se hace necesario la recarga artificial del acuífero, así como la consolidación y aplicación de un marco jurídico que lo preserve y lo proteja, siendo necesario un esfuerzo bilateral ciudadanía-gobierno.

6. El componente de contaminantes que se relaciona a los cambios físicos en el acuífero, (tal como se muestra en la matriz de impactos subsecuentes) confirma el efecto cíclico, esto es cambios como consolidación y desecación de las arcillas, fenómenos de hundimiento tiene un alto impacto en las obras civiles, modificación de espacios y arquitectura, lo interesante sucede que estas alteraciones serán secundarias cuando los cambios relacionados a la escasez del recurso (abatimiento del nivel estático, disminución de caudales, cambios en la calidad del agua, transformación del acuífero de confinado a libre) o el riesgo de contaminación del agua subterránea, sean de un impacto en detrimento del ambiente por consiguiente un detrimento en la calidad de vida de los habitantes y la salud pública principalmente.

7. Para consolidar lo anteriormente descrito se elaboraron nuevas matrices en la matriz "componentes ambientales de explotación según su zonificación geohidrológica", se tomaron las zonas geohidrológicas que componen el sistema; la zona de lago, transición, rocas basálticas, formación tarango y rocas andesiticas. Las tres primeras son esenciales para el equilibrio en el sistema, las dos últimas no son menos importantes como zona de recarga y como resguardo al avance de lixiviados.

8. De las cinco zonas de explotación quizá la zona de lago es la más afectada, y no puede mostrar alguna recuperación, ni a corto o largo plazo, su situación actual esta en función del tiempo en que ha sucedido el drenado del acuítardo, ahora el problema es que el sistema no es capaz de regenerarse.

9. El parámetro crecimiento poblacional sobrepuestos en la matriz "componentes ambientales de explotación según su zonificación geohidrológica" tiene resultados por demás desfavorables ya que en las zonas en las que se incide incrementar la densidad de población son las menos susceptibles para mitigar los impactos ya que por tratarse de zonas de recarga sus efectos suceden en el corto plazo, debe tomarse en cuenta que por tratarse de un sistema cerrado, es decir la recarga proviene principalmente de las prominencias que rodean la cuenca, y confluyen hacia la parte central de la misma si se eleva el índice de explotación, interceptando estos caudales para consumo, estos llegarán en menor cantidad en la zona central, aunado al hecho que zonas invadidas en un principio no cuentan con los servicios de saneamiento, entonces la probabilidad de riesgo de contaminación en el agua subterránea aumenta.

10. Del estudio de evaluación de impacto por métodos matriciales, confirmamos la tesis, de que pese a las políticas de explotación para la recuperación del sistema. Esta sobreexplotación del 35% sobre la recarga anual es insostenible. Los estudios encaminados al cálculo de este porcentaje, permiten simular el comportamiento futuro, del cual se prevé, que para el abatimiento medio anual y los porcentajes de sobreexplotación, seguirán generándose en los próximos años, en conocimiento de que el sistema puede presentar variaciones notables de acuerdo a las políticas de extracción y modificación en la recarga que se genere a futuro.

11. Partiendo de la comprobación de que los factores sociales rigen la forma de explotación es importante informar a la población y que tenga conocimiento de los problemas existentes en el sistema acuífero. Mal acostumbrados como estamos a que el gobierno tiene la obligación de dar prioridad a la supervivencia humana y de resolver el problema de escasez de forma eventual, los principales afectados por esta toma de decisiones somos finalmente nosotros mismos, por ello se debe de buscar que todos seamos

protectores de nuestros recursos. Lo anterior es posible por medio de campañas publicitarias de forma permanente donde se informe acerca de las formas de optimizar el recurso, fomentando una nueva cultura del recurso donde las nuevas generaciones modifiquen los patrones de consumo, debiendo aprender de la naturaleza y actuando en beneficio de sus leyes físicas, con ello evitaremos la dependencia total de los recursos naturales externos o la alteración a los acuíferos profundos hasta este momento inexplorados, todos vivimos en alguna zona de explotación, la alteración de cualquiera de ellas tiene relación directa hacia las otras, tal como se ha comprobado en las matrices no se puede afectar al sistema impunemente.

12. Se han expuesto la problemática y las causas, por medio de esta evaluación hemos corroborado la no sustentabilidad del recurso, cualquier medida que vaya en la recuperación del sistema pudieran parecer incosteable, en un principio, al igual que lo fue el plan de contingencia ambiental para la ZMVM. Sin embargo si se tienen las probabilidades de los resultados por que esperar a la manifestación de estos. Ahora que cada cual juzgue por si mismo, lo que se tenga que hacer, la pregunta que no puede contestar la presente investigación es ¿Cual será nuestro legado para las generaciones por venir?.

## BIBLIOGRAFIA


COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, **INFORME 1995, C. N. A.** – GERENCIA DE COMUNICACIÓN Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA, MÉXICO, 1993.

D. D. F., **MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO DEL D. F. TOMOS I AL V**, TALLERES GRÁFICOS DE LA NACIÓN, MÉXICO 1994.

D. D. F., - D. G. C. O. H., **SISTEMA HIDRÁULICO DEL DISTRITO FEDERAL (CRONOLOGIA)**, D. G. C. O. H. DIRECCIÓN TÉCNICA, 1994.

INSTITUTO AUTONOMO DE INVESTIGACIONES ECOLOGICAS A. C., **AGUA E HIDROLOGIA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO**, INAINE A. C., MÉXICO, 1989.

ISLAS MORENO HECTOR. **EL FUTURO DEL AGUA EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y SU ZONA CONURBADA**, TESIS PROFESIONAL, CIUDAD UNIVERSITARIA, 1990.

INEGÍ, **ESTADISTICAS DEL MEDIO AMBIENTE**, INEGÍ, MÉXICO, 1994.

LESSER Y ASOCIADOS, **BALANCES GEOHÍDROLOGICOS Y RECARGA ARTIFICIAL**, D. D. F. SECRETARIA GENERAL DE OBRAS – D. G. C. O. H. DIRECCIÓN TÉCNICA, MÉXICO, 1995.

LESSER Y ASOCIADOS, **MEDICIONES Y CONFIGURACIONES PIEZOMETRICAS DE LA RED DE POZOS PILOTO DE LA D. G. C. O. H. LOCALIZADOS EN EL DISTRITO FEDERAL CHALCO Y TEXCOCO**, D, D. F. SECRETARIA GENERAL DE OBRAS – D. G. C. O. H. DIRECCIÓN TÉCNICA., MÉXICO 1995.

TECNOLOGIA APLICADA TASA S. A. DE C. V. **ÁNÁLISIS DE LOS EFECTOS Y POLÍTICAS DE OPERACIÓN DE POZOS PROFUNDOS EN EL DISTRITO FEDERAL**, D. D. F. SECRETARIA GENERAL DE OBRAS – D. G. C. O. H. DIRECCIÓN TÉCNICA., MÉXICO 1995.

VALDES, ENRIQUE Y VÁZQUES GONZALES, ALBA. **IMPACTO AMBIENTAL**, UNAM FACULTAD DE INGENIERIA – IMTA, MÉXICO 1994.

Correo electrónico: www.diariodemexico.com.mx