



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLÁN

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

FALLA DE ORIGEN

“USO Y CONSERVACION DE MANTOS  
ACUIFEROS EN EL VALLE DE MEXICO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :

LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO

ASESOR DE TESIS

ING. SALVADOR ACEVEDO MARQUEZ



ACATLÁN, EDO DE MÉXICO.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
JEFATURA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.  
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 12 DE SEPTIEMBRE DE 1991, ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE TESIS:  
"USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS EN EL VALLE DE MEXICO".

- I.- MANTOS ACUIFEROS
  - II.- ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS DEL VALLE DE MEXICO.
  - III.- EXPLOTACION DE LOS MANTOS ACUIFEROS EN EL VALLE DE MEXICO.
  - IV.- RECARGA DE LOS MANTOS ACUIFEROS.
- CONCLUSIONES.  
BIBLIOGRAFIA.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL  
ING. SALVADOR ACEVEDO MARQUEZ.

PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERA PRESTAR SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BASICO PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL, ASI COMO DE LA DISPOSICION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL ESTADO DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA TESIS, EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO. ESTA COMUNICACION DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO, RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

ENEF-ACATLAN  
JEFATURA DEL

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 28 DE ABRIL DE 1995

ING. CARLOS ROSALES AGUIJAR  
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

FALLA DE ORIGEN

*Creo que no hace falta señalar que, gracias a el cariño y empeño puesto por mis señores padres Ing. José Luis Miramontes Rojas e Irma Carrillo Zavada para hacer de mí un hombre con ideales firmes, no hubiera llegado nunca a estas alturas, por lo que considero este trabajo un regalo para ellos, esperando estar siempre a la altura de sus expectativas.*

*A mis hermanos y hermanas ( Emilio, Rogelio, Irma María, Ana Luisa, Gerardo y Claudia ) los cuales me dieron sus ideas y ante todo su amistad 'Gracias'.*

*Ing. Salvador Acevedo M. gracias por confiar en mí y apoyarme en este trabajo, el cual culmina una trayectoria dentro de esta universidad.*

*A todos mis maestros que despertaron en mí el interés de desarrollar mis ideas, dejando un grato recuerdo en mí.*

*Por último a todos mis amigos, por los buenos momentos pasados en esta escuela, echémosle ganas para mejorar en todos los aspectos de nuestra vida.*

*P.D. No creas pequeña que porque no dejaste que te nombre aquí, no te quiero agradecer tu amor y paciencia.*

FALLA DE ORIGEN

*USO Y CONSERVACIÓN DE MANTOS*

*ACUÍFEROS EN EL VALLE DE*

*MÉXICO*

*Luis Alberto Miramontes Carrillo*

*Asesor : Salvador Acevedo Marquez*

FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE :

	pág.
Introducción	03
Capitulo 1 Mantos Acuíferos	04
1.1.- Que es un manto Acuifero	04
1.2.- Permeabilidad en suelos	05
1.2.1.- Suelos impermeables	05
1.2.2.- Suelos poco permeables	05
1.2.3.- Suelos muy permeables	06
1.3.- Distribución del agua en el subsuelo	06
1.4.- Clasificación general de acuíferos	07
1.4.1.- Acuíferos libres	07
1.4.2.- Acuíferos semiconfinados	07
1.4.3.- Acuíferos confinados	08
1.4.4.- Propiedades de los acuíferos	08
1.5.- Importancia de los mantos acuíferos	10
Capitulo 2 Estudios Geohidrológicos del Valle de México	12
2.1.- Características del Subsuelo	12
2.1.1.- Zona de Lago de la ciudad de México	13
2.1.2.- Zona de Transición de la ciudad de México	14
2.1.3.- Zona de Lomas de la ciudad de México	15
2.2.- Determinación de parámetros hidrológicos	16
2.3.- Clasificación de los acuíferos de la ciudad de México y área metropolitana	17
2.3.1.- Acuífero Andesítico	17
2.3.2.- Acuífero Aluvial	17
2.3.3.- Acuífero Basáltico	18
2.3.4.- Acuífero Tarango	19

Capitulo 3	Explotación de los Mantos Acuiferos en el Valle de México	20
3.1.-	Técnicas de explotación usadas	20
3.1.1.-	Desagüe de la cuenca	20
3.1.2.-	Sistema hidrologico actual	21
3.1.3.-	Explotación de los mantos	22
3.1.4.-	Factores que influyen en la construcción de pozos de la DGCOH	23
3.2.-	La sobre - explotación de los mantos	24
3.2.1	Abatimiento de los niveles piezométricos	26
3.3.-	Consecuencias de la sobre - explotación de los mantos acuiferos	29
3.3.1.-	Agotamiento de manantiales	29
3.3.2.-	Evolución del nivel estático	29
3.3.3.-	Hundimiento del subsuelo de la ciudad de México	31
3.3.4.-	Inestabilidad en la red de drenaje de la ciudad de México	32
3.3.5.-	Calidad química del agua subterránea	33
Capitulo 4	Recarga de los mantos acuiferos	36
4.1.-	Recarga Natural	36
4.2.-	Recarga artificial	39
4.2.1.-	Pozos de absorción	40
4.2.2.-	Pozos de inyección	41
4.2.3.-	Recarga con agua tratada	42
4.2.4	Posibles sitios de recarga	43
4.2.5	Calidad química del agua	45
Conclusiones		47
Referencias		49
Bibliografía		50

## **Introducción :**

La Ciudad de México y su área metropolitana, enfrenta en la actualidad infinidad de retos para satisfacer las necesidades básicas de sus 19 millones de habitantes, entre estos se encuentra la dotación de agua potable tanto para consumo domestico como para uso industrial.

Esta necesidad se ha cubierto explotando tanto los mantos acuíferos propios del valle, como importando agua de otras cuencas, esto ocasiona una reflexión seria sobre la conveniencia de permitir el crecimiento desmesurado de una ciudad, ya que México, país primordialmente árido en su extensión territorial, concentra en una ciudad ha alrededor del 20 % de su población.

La explotación de mantos acuíferos ha sido el soporte fundamental para dotar a los habitantes del preciado liquido, sin embargo se abusa de estos, ocasionando en la actualidad una sobre-explotación de tales dimensiones, que esta en riesgo el futuro de la ciudad de México.

En el presente trabajo mostraremos con base a estudios realizados por el DDF a través de la DGCOH y la CNA algunas características propias de la Cuenca tales como : el tipo de suelo existente, los acuíferos con los que contamos, posteriormente señalaremos las políticas de explotación actuales, las cuales han ocasionado numerosos efectos secundarios tales como : hundimientos del suelo, el agotamiento de manantiales, etc.

Se analizará la recarga natural de los acuíferos, explicando el comportamiento experimentado por estos ante las extracciones, revisaremos algunos métodos de recarga artificial existentes, así como los sitios donde podrían realizar esta, con lo cual tendremos elementos para revertir en parte los efectos causados por el hombre.

Aunque la cuenca del Valle de México abarca 9600 Km<sup>2</sup>, el presente trabajo se limito a la ciudad de México y su área metropolitana debido a que los estudios realizados se realizan primordialmente en estos lugares porque es aquí donde están emplazados la mayoría de sus pozos de abastecimiento.

## CAPITULO 1 MANTOS ACUÍFEROS

### 1.1 ).- Que es un manto acuifero

El término agua subterránea define al agua almacenada en los huecos de las rocas; sean estas consolidadas o no, y que son lo suficientemente permeables como para permitir que el agua depositada en ellas se desplace libremente.

En casi cualquier lugar existe siempre alguna cantidad de agua subterránea, lo cual conduce a buscar expertos para clasificar las formaciones geológicas que potencialmente la contengan; la palabra ROCA define tanto a las formaciones duras y consolidadas, tales como arenisca, caliza, granito o la lava, así como también a aquellos sedimentos no consolidados como grava, arena y la arcilla.

Se usa la palabra ACUÍFERO para definir una roca que contenga una cierta cantidad utilizable de agua. La grava, arena, arenisca y caliza son acuiferos; pero este tipo de roca constituye solo una pequeña fracción del total existente en la corteza exterior de la tierra. Las rocas sobre la corteza terrestre como la arcilla, la lutita, etc. retienen la mayor parte del agua que reciben, y este hecho las convierte en acuiferos no aprovechables, salvo en aquellas regiones donde no se encuentra otra fuente de agua. (1)

Un acuifero depende esencialmente de la infiltración del agua que escurre o se acumula en la superficie de la Tierra. A pesar de que esta constituye la principal fuente de captación de los mantos acuiferos solamente una fracción llega a infiltrarse, porque la capa vegetal que cubre al suelo, retiene una parte importante del agua, lo cual aunado a que parte del agua de retención específica también se pierde, al sufrir la acción del calentamiento superficial. El fenómeno ocurre a una cierta profundidad del suelo, delimitada por la llamada zona de cambios cuyo nombre se debe a que en esta zona, el agua contenida arriba de ella se evapora y la que se encuentra bajo ella se infiltra (2).

El agua que atraviesa la zona de cambios escurre por gravedad a través de los poros o intersticios del suelo, hasta encontrar una capa impermeable sobre la cual se acumula formando un manto acuifero.

La distribución de las lluvias es muy importante para la alimentación de los mantos ya que las lluvias intensas y de poca duración penetran menos en el suelo que las lluvias poco intensas pero prolongadas. Algunos acuiferos se alimentan con aguas superficiales que escurren en forma regular sobre grietas o en terrenos altamente fisurados; el agua

puede volver a la superficie después de recorrer subterráneamente cierta distancia.

Existen cierto tipo de mantos situados a gran profundidad formados por capas acuíferas fósiles, se encuentran principalmente en zonas desérticas donde prácticamente no llueve, se supone que este tipo de acuíferos tienen por origen aguas acumuladas y conservadas desde hace mucho tiempo en los sedimentos.

### 1.2).- Permeabilidad en suelos

La permeabilidad es una de las características mas importantes que debe tener un suelo para poder alojar a un manto acuífero.

Geohidrológicamente la permeabilidad se define como la facilidad con que el agua fluye a través de los suelos, por lo que los suelos se clasifican de la siguiente forma

#### 1.2.1).- Suelos impermeables. -

Este tipo de suelo está constituido por rocas compactas y coherentes sin fisuras, aceptándolas solo si son estrechas y poco profundas, como ejemplo de ellas se tienen a las rocas eruptivas, metamórficas y sedimentarias no fracturadas como el granito, los esquistos, gneis y la arenisca; así como rocas calcáreas muy compactas.

Algunas rocas porosas con una gran finura de granos pero que tienen la propiedad de absorber y retener moléculas de agua por largo tiempo se les llama Higroscópicas, como ejemplo de ellas tenemos a las arcillas y a los limos.

#### 1.2.2).- Suelos poco permeables.-

Están constituidos por arenas, gravas, areniscas porosas, tobas volcánicas y ciertos calcáreos ( cretas ) cuyos poros son lo bastante grandes para que el agua pueda fluir.

ROCA	TAMANO ( mm )	POROSIDAD N ( % )	RENDIMIENTO ESPECIFICO Sy ( % )
Lim o	Menor a 0.074	40 - 50	0.5 - 10
Arcilla	Menor a 0.074	45 - 55	01 - 10
Arena	de 4.76 a 0.074	35 - 40	35 - 40
Arenisca	de 4.76 a 0.074	10 - 20	05 - 15
Grava	de 7.62 a 4.76	30 - 40	15 - 30
Caliza	Variable	01 - 10	0.5 - 5

Tabla 1

Tamaño de algunas rocas con rangos de porosidad y rendimiento específico

### **1.2.3 ).- Suelos muy permeables .-**

Se encuentran constituidos por rocas compactas pero muy fisuradas como granitos, basaltos y sobre todo calcáreos. Las fisuras se desarrollan principalmente por la acción mecánica del agua que circula entre las rocas bajo un régimen forzado.

En el caso de los terrenos calcáreos, se presenta el fenómeno de Karstificación debido a la acción química del agua pluvial que tiene integrada a su estructura ácido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) el cual al circular a través de las rocas cálcicas ataca al carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) contenido en ellas y lo transforma en bicarbonato soluble, lo cual permite la circulación del agua en grandes cantidades debido a la disolución progresiva de las rocas.

### **1.3 ).- Distribución del agua en el subsuelo.-**

El agua que se encuentra en el subsuelo se distribuye en dos zonas :

#### **1.3.1 ).- Zona de aireación.-**

Se extiende desde la superficie del terreno hasta el nivel en el cual todos los poros o intersticios se encuentran completamente saturados de agua. Una mezcla de aire y agua se encuentra en esta zona y de ahí toma su nombre ( fig. 1.1 ). La zona de aireación se subdivide en tres franjas que son :

##### **1.3.1.1 ).- Franja de humedad del suelo.-**

Esta franja yace inmediatamente después de la superficie del terreno, y es de donde las plantas extraen la humedad necesaria para su desarrollo. El espesor de la franja difiere según el tipo de suelo y vegetación.

##### **1.3.1.2 ).- La franja intermedia.-**

Se encuentra limitada en su parte superior por la franja de humedad y en su parte inferior por la llamada franja capilar. La mayor parte del agua que contiene llega por gravedad. Al agua contenida aquí se le conoce como agua vadosa o intermedia .

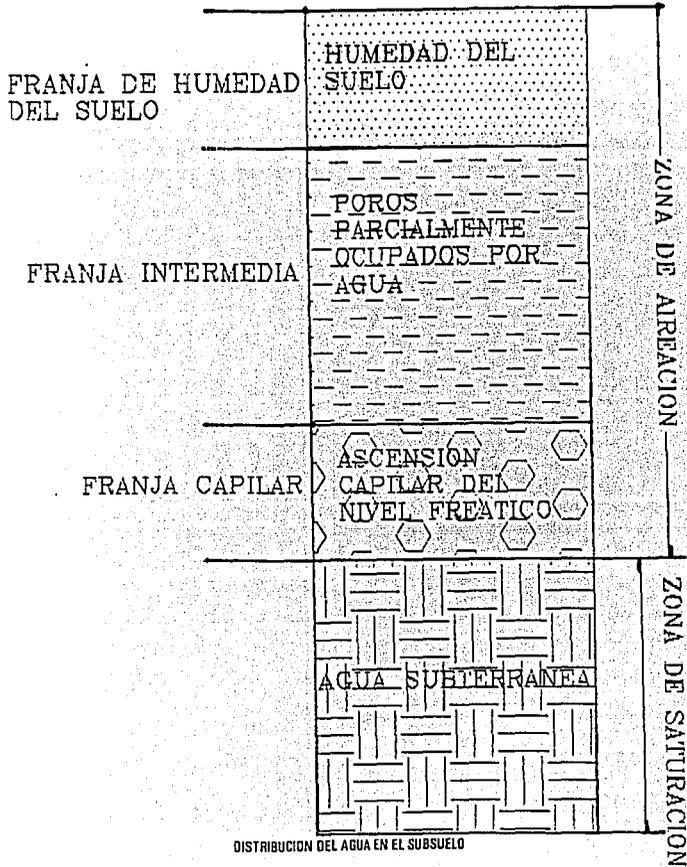
##### **1.3.1.3 ).- La franja de capilar.-**

Es la franja que ocupa el fondo de la zona de aireación y yace inmediatamente sobre la zona de saturación, toma su nombre del hecho de que el agua, se encuentra suspendida por fuerzas capilares. Mientras mas estrechos sean los poros, mas se elevará el agua, por lo que el espesor de la capa depende de la textura del suelo .

#### **1.3.2 ).- Zona de saturación.-**

Se encuentra bajo la zona de aireación y como su nombre indica los poros están

SUPERFICIE DEL SUELO



DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 1.1

FALLA DE ORIGEN

completamente saturados de agua. A esta agua se le da el nombre de agua subterránea y es la única que puede fluir con facilidad hacia un pozo (fig. 1.1).

#### **1.4 ).- Clasificación general de acuíferos.-**

De acuerdo al estado en que se encuentran en la naturaleza los mantos acuíferos se clasifican de la siguiente manera :

##### **1.4.1 ).- Acuíferos libres.-**

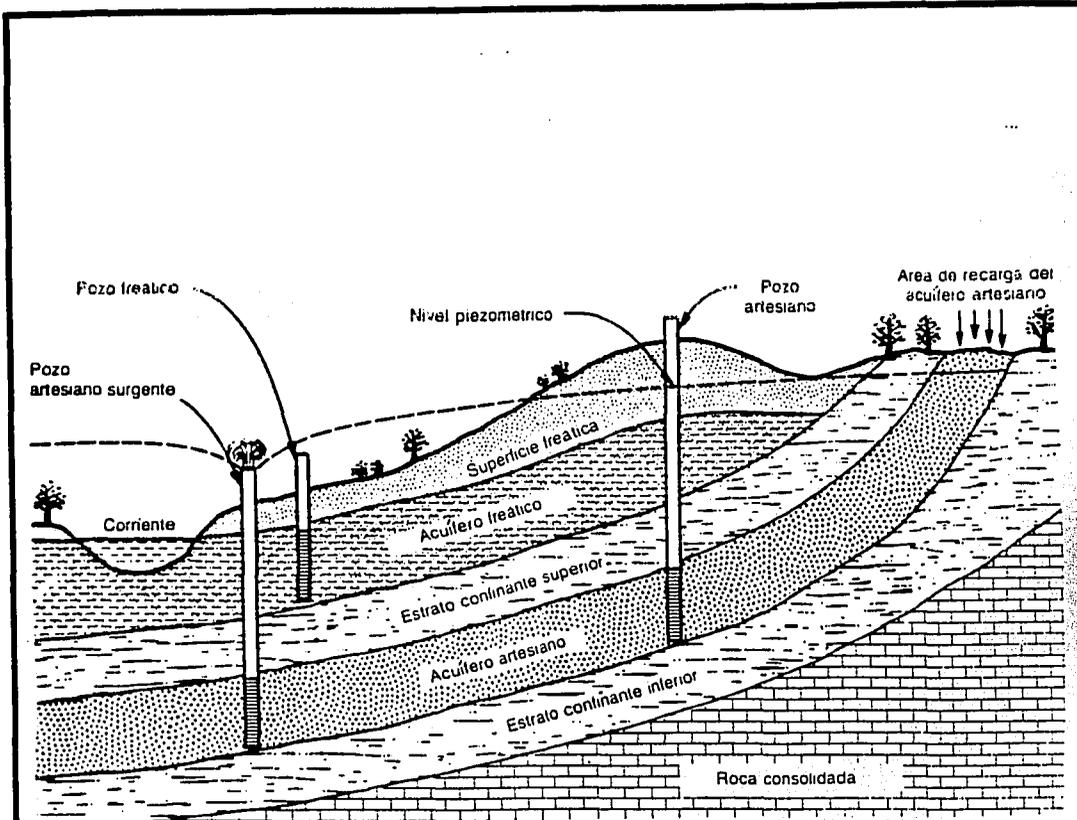
En este tipo de acuífero el agua subterránea se encuentra bajo condiciones libres, es decir que el límite superior del acuífero se encuentra limitado por el nivel libre del agua o nivel de aguas freáticas. En la superficie, el agua contenida en los poros del subsuelo, se encuentra sometida a la presión atmosférica. Por lo que para conocer la presión existente a una profundidad determinada del acuífero basta determinar la distancia que media de la superficie libre del agua y el punto seleccionado, esta distancia se multiplica por el peso específico del agua obteniéndose la presión correspondiente, por lo que al perforarse un pozo en este tipo de acuífero, el nivel del agua dentro del mismo es igual al nivel que tiene la superficie libre del agua (fig. 1.2 y 1.3).

Puede suceder que exista una zona de saturación cuyo nivel se encuentre por arriba de la superficie libre del agua, esto ocurre debido a que en la zona de aireación se encuentra intercalada una capa de material impermeable, dando lugar a que cierta cantidad de agua se acumule sobre esta capa. En estos casos a la superficie superior del agua, se le conoce como nivel de agua colgada ( fig. 1.4).

El nivel libre del agua es la superficie de un cuerpo o masa que constantemente se anda ajustando, ya que si en una cuenca no hubiera cambios en el volumen de almacenamiento debido a las entradas y salidas del agua, teóricamente el nivel libre del agua se volvería horizontal, lo cual no existe en la realidad (3).

##### **1.4.2 ).- Acuíferos semiconfinados.-**

Los acuíferos semiconfinados son casos particulares de los acuíferos confinados en los cuales el estrato inferior o el superior que los limita, no son totalmente impermeables, es decir están formados por un material que permite una filtración vertical del agua, esta filtración se realiza de una forma lenta a partir de un acuífero o masa de agua. Ahora bien esta paso vertical del agua es solo posible cuando existe una diferencia de carga entre ambos acuíferos ( fig. 1.5).

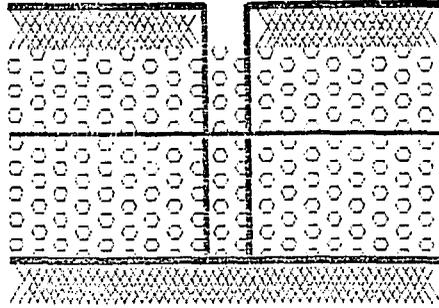


DIFERENTES TIPOS DE ACUIFEROS

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 1.2

SUPERFICIE DEL TERRENO

NIVEL  
FREATICO

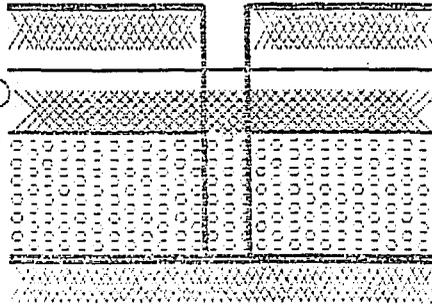


ACUIFERO  
LIBRE

IMPERMEABLE

SUPERFICIE DEL TERRENO

NIVEL  
PIEZOMETRICO



ACUIFERO  
CONFINADO

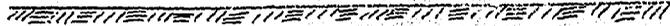
IMPERMEABLE

ESQUEMA DE ACUIFEROS LIBRE Y CONFINADOS

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 1.3

FALLA DE ORIGEN

SUPERFICIE DEL TERRENO



NAP ACUIFERO COLGADO

CAPA IMPERMEABLE  
INTERCALADA



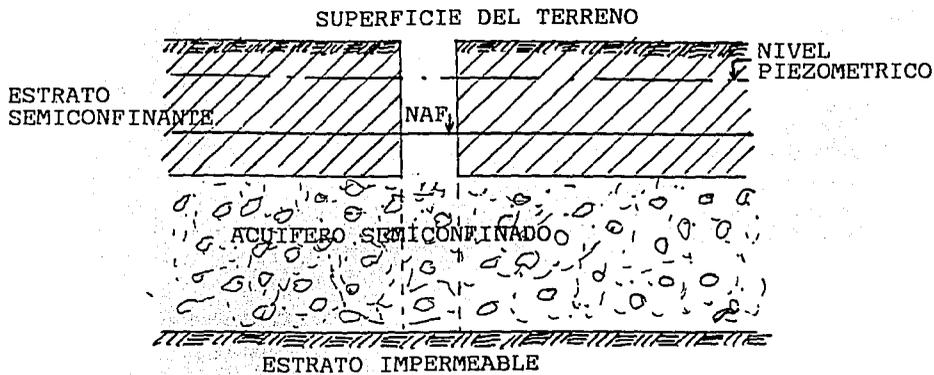
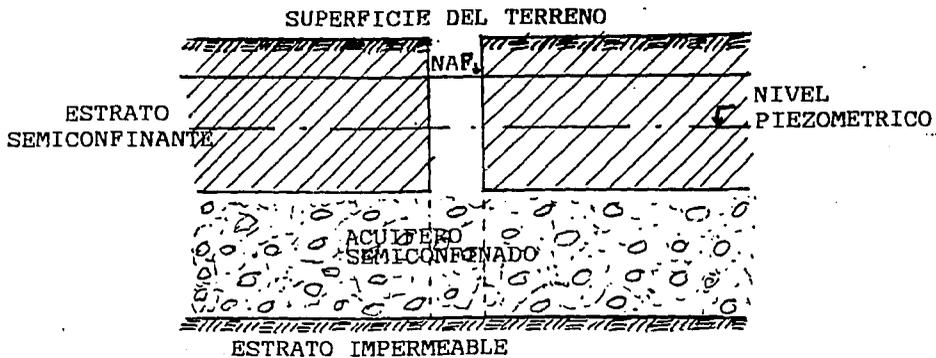
NIVEL AGUA FREATICA



ESTRATO IMPERMEABLE

ACUIFERO COLGADO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 1.4



ESQUEMA DE ACUIFERO SEMICONFINADO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N° 1.5

#### **1.4.3 ).- Acuíferos confinados.-**

Cuando un acuífero se encuentra ubicado entre dos estratos impermeables se tiene un acuífero confinado, lo que ocasiona que el agua se encuentre a una presión mayor que la atmosférica y cuando presenta esta característica se encuentra en condiciones artesianas (fig. 1.2 y 1.3).

Si perforamos un pozo que atraviese el primer estrato impermeable y penetre en el acuífero, el agua contenida se elevará hasta un nivel superior al del estrato confinante, para conocer la presión a la cual se encuentra el agua en el acuífero es necesario que conozcamos la profundidad a la cual se atravesó el estrato confinante, la distancia que media entre esta profundidad y el nivel superior que alcanza el agua, con esta altura podremos calcular la presión en columnas de agua, ya que 10 metros de columna de agua equivalen a 734.9 mm de mercurio y esto a su vez es igual a  $0.9991 \text{ Kg} / \text{Cm}^2$ .

En algunos acuíferos la presión es tan grande que, al momento de perforarse un pozo; el agua contenida en el acuífero se eleva por encima de la superficie del terreno, teniendo en estos casos un pozo artesiano surgente.

Cuando a estos acuíferos se les extrae agua se forma una depresión en la superficie piezométrica, lo que trae como consecuencia una expansión del agua contenida en el mismo y en algunos casos una compactación del acuífero. La elevación o descenso del nivel de agua en un pozo artesiano se debe más a cambios de presión dentro del acuífero que a cambios en el nivel de almacenamiento del mismo.

#### **1.4.4 ).- Propiedades de los acuíferos.-**

Los acuíferos presentan ciertas propiedades que expondremos a continuación:

**Porosidad.-** Es la propiedad de una roca o de un suelo de contener huecos, y la definimos como la relación que existe entre el volumen de vacíos y el volumen total del acuífero, expresándose en porcentaje.

$$N = V_v / V_t$$

**Grado de saturación.-** Lo definimos como la relación existente entre el volumen ocupado por el agua y el volumen de vacíos de la muestra.

$$G_s = V_w / V_v$$

**Rendimiento específico.**- Definido como la relación existente entre el volumen de agua que, una vez saturada la muestra, escurre por gravedad y el volumen total de la muestra.

$$S_y = V_d / V_t$$

**Retención específica.**- Es la relación que existe entre el volumen de agua que en una roca saturada queda retenida contra la acción de la gravedad y el volumen total.

$$S_r = V_r / V_t$$

**Coefficiente de almacenamiento.**- Lo definimos como el volumen de agua que un acuífero toma o cede en almacenamiento por unidad de área (en planta) cuando la carga piezométrica aumenta o disminuye en una unidad.

**Coefficiente de almacenamiento específico.**- Es el volumen de agua que un acuífero toma o cede por unidad de volumen (en planta), cuando la carga piezométrica aumenta o disminuye en una unidad.

$$S = S_s \times b$$

b = espesor del acuífero

**Permeabilidad .-** Es la capacidad que tiene el agua para moverse a través de los intersticios del suelo, y se expresa en Cm / Seg

$$K = Q / T i S$$

de donde

Q = Volumen de Agua ( m<sup>3</sup> )

T = Tiempo ( seg )

i = Gradiente hidráulico

S = Superficie sección transversal atravesada ( m<sup>2</sup> )

**Transmisibilidad.**- Es la capacidad que tiene un acuífero de transmitir el agua a través de todo su espesor saturado.

$$T = K b$$

de donde

K = Permeabilidad

b = Espesor saturado del acuífero

TIPO DE ROCA	POROSIDAD		RANGO DE PERMEABILIDAD ( cm / seg )	RENDIMIENTO	UNIDAD GEOHIDROLÓGICA
	PRIMARIA (%)	SECUNDARIA			
Sedimentos no consolidados					
Grava	30 - 40		de 10e2 a 10e -2	Alto	Acuífero
Arena gruesa	30 - 40		de 10e1 a 10e -4	de Alto a Medio	Acuífero
Arena media a fina	30 - 35		de 10e-1 a 10e-4	Medio	Acuífero
Limo	40 - 50		de 10e-4 a 10e-8	de Medio a Bajo	Acuífero
Arcilla	45 - 55		de 10e-6 a 10e-8	Bajo	Acuífero
Sedimentos Consolidados					
Caliza	. 01 - 50	Juntas por Solución	de 10e2 a 10e-8	de Alto a Bajo	Acuífero o Acuífero
Arenisca media a gruesa	menor a 20	Juntas , Fracturas	de 10e1 a 10e-5	de Alto a Medio	Acuífero o Acuífero
Arenisca fina	menor a 10	Juntas, Fracturas	de 10e-3 a 10e-6	de Medio a Bajo	Acuífero o Acuífero
Rocas Volcánicas					
Basalto	xxxxxxxxxxxx	Juntas, Fracturas	de 10e2 a 10e-8	de Alto a Bajo	Acuífero o Acuífero

Tabla 2

Propiedades Hidrológicas de las Rocas  
( Tinajero Gonzalez )

**1.5).- Importancia de los mantos acuíferos**

El agua subterránea ha desempeñado un papel importante en el abastecimiento para consumo humano, esta relación es particularmente notable en la ciudad de México donde a partir de 1847 se empezaron a aprovechar los recursos acuíferos a través de pozos, ya que el agua extraída de los manantiales y corrientes superficiales de la ciudad eran insuficientes para satisfacer la demanda. Ahora bien debido a que se encuentra oculta y a la falta de conocimientos que se tenía con respecto a su existencia, localización y captación, es que se dificultó el aprovechamiento integral de la misma.

Para comprender su importancia basta decir que el 97 por ciento del agua dulce del planeta ( excluyendo al hielo polar y a los glaciares ) se encuentra bajo la tierra. El agua se encuentra prácticamente almacenada, ya que su movimiento a través de los intersticios es en forma general lento, siendo esta característica la mayor diferencia que existe entre el agua subterránea y el agua superficial la cual prácticamente se renueva varias veces al año. Esta también se encuentra mas expuesta a la evapo-transpiración y a la contaminación. por lo que el abastecimiento con agua subterránea es mas confiable.

En los últimos años el avance de la tecnología a hecho posible que muchos países den una mayor importancia al agua subterránea dando lugar a que en la actualidad estos países dependan en un gran porcentaje del agua subterránea para satisfacer sus necesidades.

Hecho muy palpable en México donde la Comisión Nacional del Agua ha llegado a valuar en un 45 por ciento la cantidad de agua que del total requerido para consumo humano se obtiene del subsuelo. Este porcentaje aumenta a un 70 % para la Capital de la

República y su área metropolitana, permitiendo el desarrollo de la ciudad mas grande del mundo y el asentamiento de la principal zona industrial del país.

Por lo anterior es que el agua subterránea debe ser administrada bajo criterios de racionalidad y equidad, con el fin de evitar su desperdicio y / o contaminación.

## CAPITULO 2

### ESTUDIOS GEOHIDROLOGICOS DEL VALLE DE MÉXICO

#### 2.1).- Características del Subsuelo.-

La cuenca del Valle de México esta situada en el limite sur de la meseta central de la República Mexicana, entre las latitudes nortes 19°03'53" y 20°11'09" y las longitudes 98°11'53" y 99°30'24" al oeste de Greenwich, teniendo una superficie aproximada de 9600 Km<sup>2</sup> (fig. 2.1) (4).

La cuenca limita al norte con las cuencas de los Ríos Amajac y Tula-San Juan, tributarias de la cuenca del Río Pánuco; al noroeste, con la cuenca del Río Tecolutla; al sur y al sureste, con las cuencas del Alto Amacuzac y Alto Balsas, tributarias de la cuenca del Río Balsas, y al oeste con la cuenca del Río Lerma (fig. 2.2) (5).

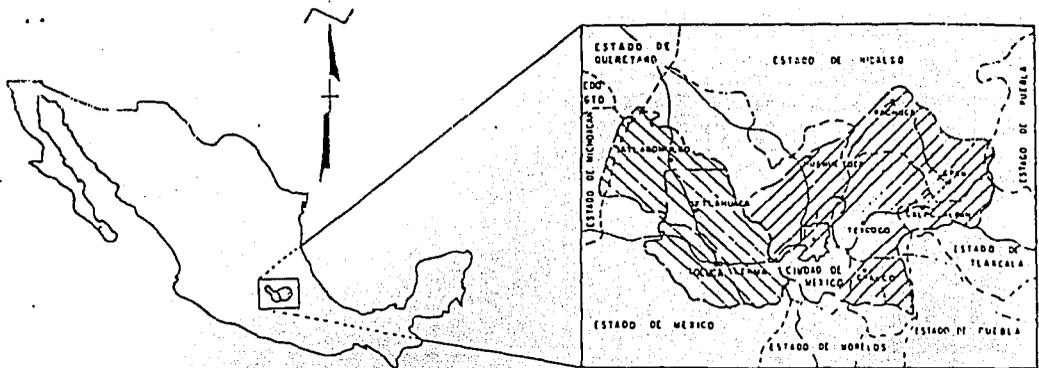
Es importante señalar que el 53.5 % de la superficie de la cuenca esta formada por terrenos planos, con pendientes menores al 15 % y el área restante del 46.5 % por terrenos cerriles y montañosos con pendientes mayores al 15 % .

En la cuenca la temperatura media anual varia entre los 12 °C y 15 °C; La precipitación media anual varia entre 600 mm. en las porciones norte y noroeste del valle, y 850 mm. en las porciones suroeste y sur- sureste del mismo. La media anual general es de 700 mm., lo que equivale a un volumen precipitado de 6,720 millones de m<sup>3</sup> anuales. La temporada de lluvias abarca generalmente los meses de mayo a octubre y comprende del 80 al 90 % de la precipitación total anual.

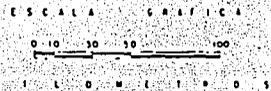
Esto permite considerar que el clima de la cuenca varia según la morfología de la zona. En las partes sur y poniente se tiene un clima templado con verano fresco y lluvioso, mientras que en las partes norte y noreste el clima es semiseco con verano cálido y lluvioso.

Procederemos a analizar como esta conformado el subsuelo de la ciudad de México y área metropolitana, la información aquí presentada esta consignada en todas las publicaciones disponibles sobre el tema y en la información derivada de los estudios geotécnicos que se han realizado para la construcción de las líneas del Metro (fig. 2.3).

Debido a características particulares de la ciudad de México y área metropolitana se ha clasificado al subsuelo de esta en tres grandes zonas (fig. 2.4), siendo :



-  CUENCA DEL VALLE DE MEXICO
-  CUENCA DEL ALTO LERMA
-  AREAS DONDE SE ENCUENTRAN EMPLAZADOS LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE MEXICO, D.F. CONTROLADOS POR LA D.G.C.O.H.



JURISDICCION POLITICA

CUENCA DEL VALLE DE MEXICO ESTADOS DE MEXICO, HIDALGO, D.F., TLAXCALA Y PUEBLA

CUENCA DEL ALTO LERMA ESTADOS DE MEXICO, MICHOACAN, QUERETARO Y D.F.

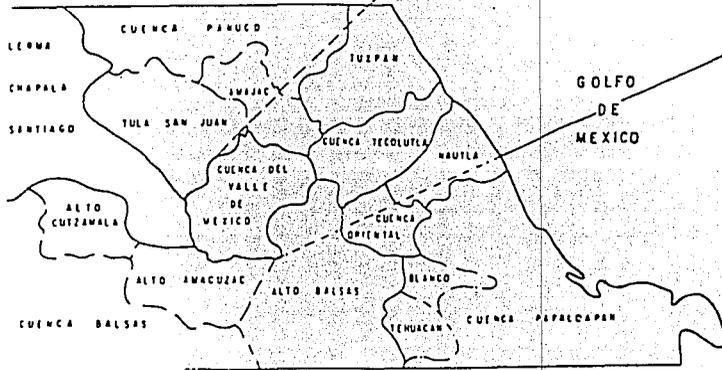
AREAS DONDE SE ENCUENTRAN LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA A LA CIUDAD DE MEXICO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N°
		2.1

FALLA DE ORIGEN

**JURISDICCION POLITICA**

TIENEN JURISDICCION POLITICA EN LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO LAS SIGUIENTES ENTIDADES FEDERATIVAS: MEXICO, HIDALGO, D.F., TLAXCALA Y PUEBLA CON LOS SIGUIENTES PORCENTAJES DEL AREA TOTAL DE LA CUENCA 50 %, 26,46 %, 13,75 %, 8,75 % Y 1,04 %, RESPECTIVAMENTE.

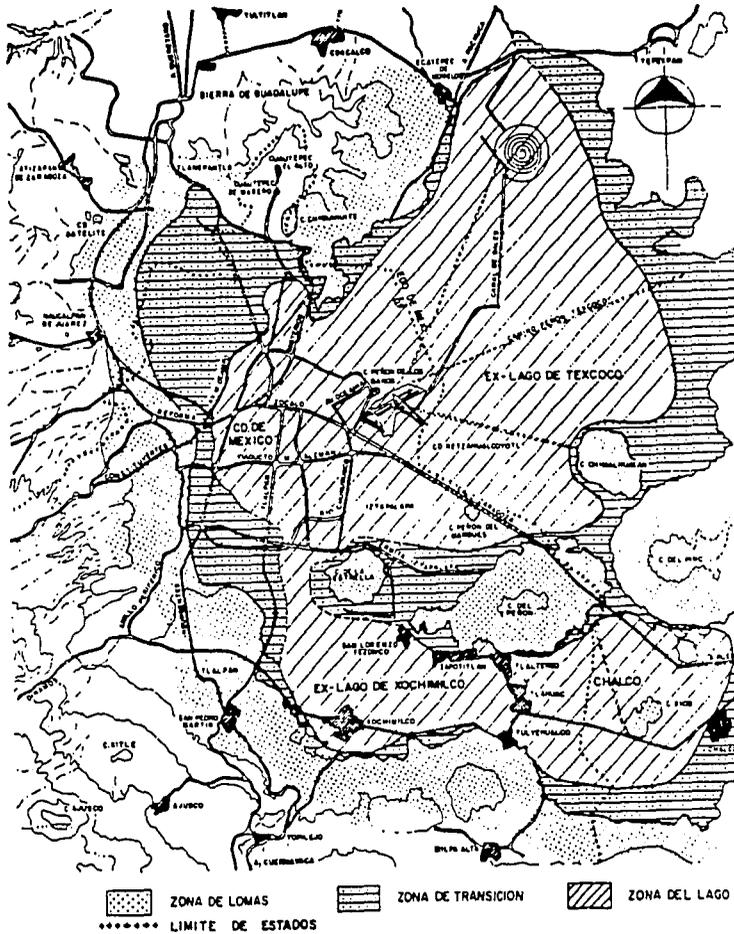


DELIMITACION DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO Y SU RELACION CON OTRAS CUENCAS

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.2

FALLA DE ORIGEN





ZONIFICACIÓN ESTRATIGRAFICA DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
Y AREA METROPOLITANA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.4

FALLA DE ORIGEN

### **2.1.1 ).- Zona de Lago.-**

En esta zona predominan suelos arcillosos blandos consecuencia de un largo proceso de depósito y de alteración físico - química de materiales aluviales y de cenizas volcánicas en el ambiente lacustre, este proceso sufrió largas interrupciones durante periodos de intensa sequía. Otras interrupciones fueron provocadas por intensas etapas de actividad volcánica que cubrieron toda la zona con capas de arenas basálticas.

#### **2.1.1.1 ).- Características estratigráficas de esta zona .-**

**A).-Costra superficial.-** Este estrato esta integrado por tres sub-estratos, los cuales constituyen una secuencia de materiales naturales cubiertos con un relleno artificial heterogéneo, a decir :

**a).- Relleno artificial.-** Se trata de restos de construcción y relleno arqueológico cuya profundidad varia de 1 a 7 metros.

**b).- Suelo blando.-** Se puede describir como una serie de depósitos aluviales blandos con lentes de material eólico intercalados.

**c).- Costra seca.-** Esta se formo como consecuencia de una disminución en el nivel de agua del lago, quedando expuestas algunas zonas del fondo a los rayos solares.

**B).-Serie arcillosa lacustre superior.-** El perfil estratigráfico de los suelos del lago, entre la superficie y la capa dura es muy uniforme; se pueden identificar en la parte central de la ciudad, cuatro estratos principales, acordes con su origen geológico y con los efectos de la consolidación inducida por sobrecargas superficiales y bombeo profundo; estos estratos con espesores que varían de 25 a 50 mts., tienen intercalados lentes duros que se pueden considerar como estratos secundarios.

**a).- Arcilla preconsolidada superficial.-** En este estrato superficial, las sobrecargas y rellenos provocaron un proceso de consolidación que transformo a los suelos localizados por debajo de la costra superficial, en arcillas preconsolidadas.

**b).- Arcilla normalmente consolidada.-** Se localiza por debajo de la profundidad hasta la que afectan las sobrecargas superficiales y por arriba de los suelos preconsolidados por el bombeo profundo.

**c).- Arcilla preconsolidada profunda.-** El abastecer de agua potable a la ciudad de México por medio de pozos profundos a ocasionado un proceso de consolidación, el cual a

sido mas significativo en las arcillas profundas que en las superficiales.

**d).- Lentes duros.-** Los estratos de arcilla están interrumpidos por lentes duros que pueden ser costras de secado solar, arena o vidrio volcánico, estos lentes se utilizan como marcadores de la estratigrafía.

**C).- Capa dura.-** Esta capa es un deposito limo - arenoso con pequeños contenidos de arcilla y gravas ocasionalmente, con una cementación muy heterogénea; su espesor es variable, desde casi imperceptible en la zona central del lago hasta casi 5 metros en las orillas del mismo.

### **2.1.2 ).- Zona de transición.-**

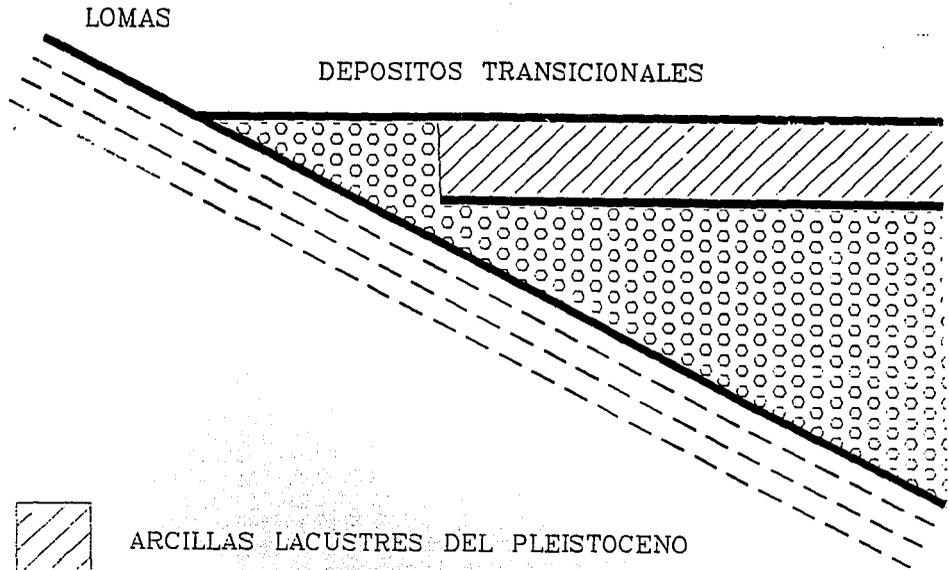
Aquí los depósitos de transición forman una franja que divide a los suelos aluviales que se encuentran en las sierras que rodean al valle, de los volcanes que sobresalen en la zona del lago. Estos materiales de origen aluvial los clasificamos de acuerdo al número de clásticos que fueron arrastrados por las corrientes existentes hacia el lago y a la frecuencia con que fueron depositados; Este fenómeno dio lugar a dos tipos de transiciones: interestratificada y abrupta :

#### **2.1.2.1 ).-Zona de transición interestratificada.-**

Se encuentra principalmente al poniente de la cuenca, presentándose en los suelos que se originaron al " pie " de las barrancas, ya que en esta zona se acumularon los acarreo fluviales que descendieron de las lomas a las planicies, estos depósitos se extendieron hasta el antiguo lago de Texcoco, formándose intercalaciones de arcillas lacustres con arenas y gravas del río. En el proceso de formación del suelo, el ancho de la franja de estos depósitos, vario según el clima prevaleciente en cada etapa geológica.

En consecuencia podemos hablar de una zona de transición interestratificada, cambiante y ancha al " pie " de las Lomas; que contiene en sus partes mas profundas depósitos caóticos glaciares caracterizados por enormes bloques depositados en la "boca" de las barrancas de San Ángel, Mixcoac, del Muerto, Tacubaya, Tarango y Río Hondo (fig. 2.5 y 2.6).

Por otra parte, los depósitos aluviales son mas recientes y por lo tanto se encuentran ubicados por encima de los depósitos lacustres, como ejemplo de ello, tenemos la cubierta de suelos negros, orgánicos, arenosos y limo-arcillosos que se extienden desde el " pie " de las Lomas sobre 2 o 3 Km al oriente, formando las riberas del lago histórico de los Mexicas.



ARCILLAS LACÚSTRES DEL PLEISTOCENO



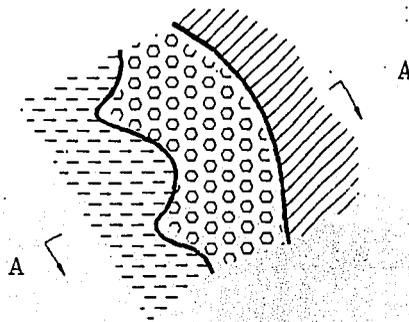
SUELOS NEGROS LIMO-ARCILLOSOS DEL PLEISTOCENO



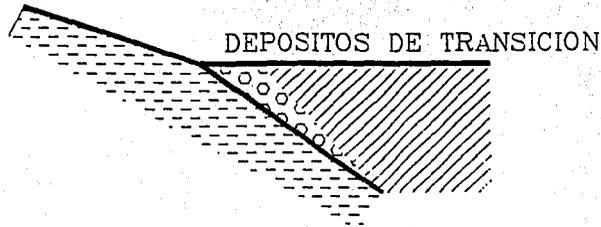
FORMACION TARANGO

ESQUEMA GEOLOGICO GENERAL DE LA TRANSICIÓN LOMAS - PLANICIE DE UN DELTA ALUVIAL

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.5



PLANTA



CORTE A - A



ARCILLA LACUSTRE



DEPOSITOS ALUVIALES



TOBAS

TRANSICIÓN INTERESTRATIFICADA ANCHA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.6

Otra zona de transición interestratificada se extiende del Valle de Cuauhtepac hacia el sur (fig. 2.7).

#### **2.1.2.2 ).-Zona de transición abrupta.-**

Esta zona puede identificarse en el contacto de los rellenos de la cuenca y los cerros, que sobresalen a manera de islotes de dichos rellenos, en estos casos los depósitos fluviales al " pie " de los cerros son prácticamente nulos; lo cual origina que las arcillas lacustres estén prácticamente en contacto con la roca. Este tipo de transición se presenta en el Peñón de los Baños, El Peñón del Marqués, el Cerro de la Estrella y el Cerro del Tepeyac (fig. 2.8).

#### **2.1.3 ).-Zona de Lomas.-**

Esta formada por las serranías que limitan a la cuenca al poniente y al norte predominando tobas compactas con cementación variable, además esta limitada al sur-suroeste por los derrames del Xitle donde los basaltos suprayacen a las tobas más antiguas.

En la zona poniente tenemos la Sierra de las Cruces-Tarango cuyos suelos están constituidos por brechas, lavas y cenizas volcánicas de granulometría variable, piróclastos arrastrados por corrientes provocadas por lluvias torrenciales, además de tobas, limos, arenas y gravas. En esta sierra los depósitos más antiguos presentan fracturamiento con dirección predominante de noroeste a suroeste (fig. 2.9).

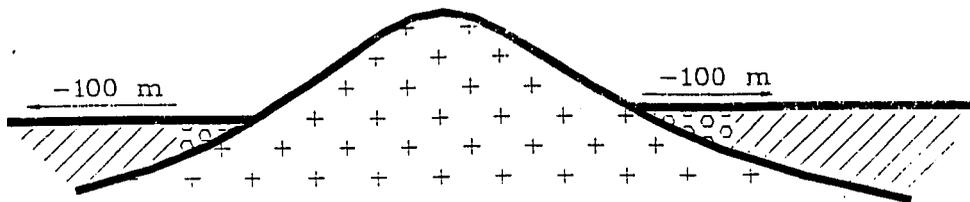
Al norte se encuentra la Sierra de Guadalupe la cual se encuentra formada principalmente por rocas volcánicas andesíticas ( tobas ). En su parte central y en dirección nor-noroeste esta sierra aloja al Valle de Cuauhtepac.

En el sur tenemos ubicado al Pedregal de Xitle donde hace aproximadamente 2000 años el volcán del mismo nombre hizo erupción, y sus numerosos flujos cubrieron la zona de Lomas al " pie " del volcán Ajusco y avanzaron hacia la planicie lacustre ubicada entre Tlalpan y San Ángel. La zona cubierta por lavas es lo que hoy se conoce con el nombre de Pedregal de San Ángel, San Francisco, Carrasco, Santa Ursula y Padierna.

Conocidas las características del subsuelo que forma la cuenca, podemos señalar que los estudios geológicos más recientes, así como la perforación de pozos profundos exploratorios; han demostrado que el origen de estas rocas está relacionado con eventos geológicos ocurridos a finales de la era Mesozoica o principios de la era Terciaria .

DEPOSITOS DE TRANSICION

CERRO DE IZTAPALAPA



ARCILLA LACUSTRE



SUELOS ALUVIALES



BASALTOS Y LAPILLIS

TRANSICION INTERESTRATIFICADA ANGOSTA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N° 2.7



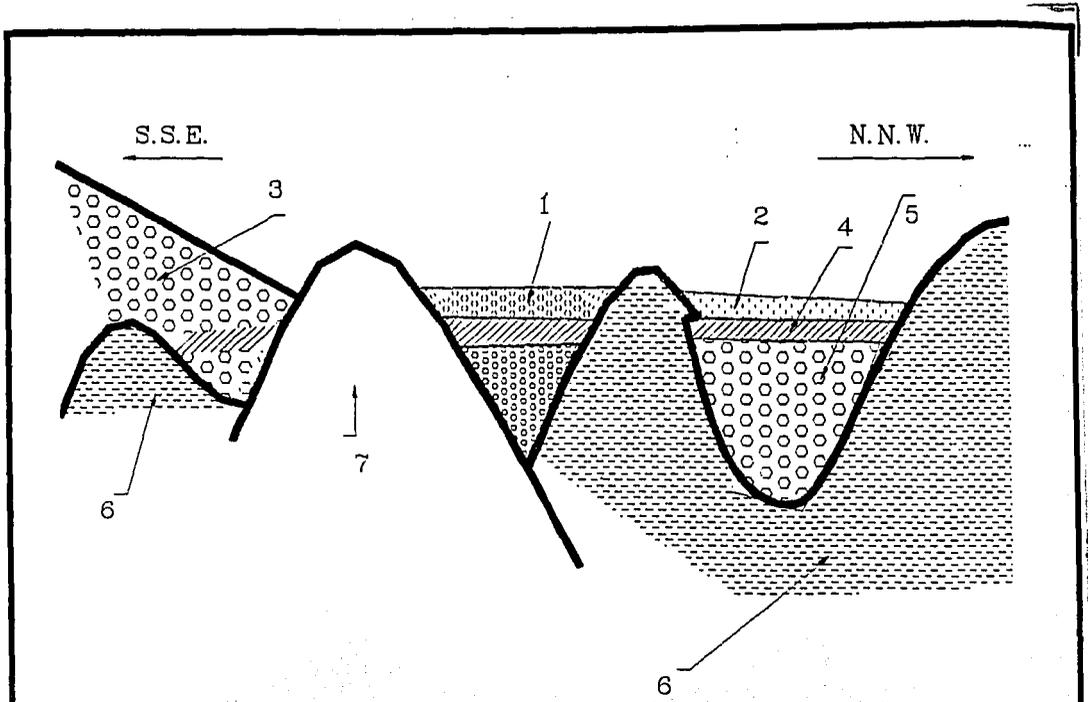
ARCILLA LACUSTRE



BASALTOS

TRANSICIÓN ABRUPTA DE ISLOTE A DEPOSITOS LACUSTRES

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.8



- 1.- ALUVION
- 2.- BASALTOS PEDREGAL DEL XITLE
- 3.- BASALTOS CHICHINAUTZIN
- 4.- TOBAS, ARENAS Y DEPOSITOS FLUVIALES
- 5.- ACARREOS FLUVIOGLACIALES
- 6.- FORMACION TARANGO
- 7.- SIERRA XOCHITEPEC

SECCION CHICHINAUTZIN - LOMAS CORTANDO EL PEDREGAL DEL XITLE

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES C.
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N° 2.9

## **2.2 ).-Determinación de Parámetros Hidrológicos.**

La abundante información recolectada sobre la geología subterránea de la Cuenca, nos permite conocer las características geohidrológicas de las rocas siendo estas

Las rocas mas antiguas ubicadas en la parte sur de la cuenca funcionan como un basamento que limita inferior y lateralmente al acuífero, esto es debido a su estructura masiva y escaso fracturamiento Sobreyaciendo a estas encontramos derrames basálticos que debido a su alta porosidad y permeabilidad constituyen excelentes acuíferos; en contraste al norte de la cuenca estas mismas rocas tienen una permeabilidad secundaria debido a que están densamente fracturada.

En la formación Tarango, en los volcanes ubicados al oriente de la ciudad (Popocatepetl e Iztlacihuatl) así como en la sierra de Guadalupe tenemos rocas Andesíticas las cuales presentan porosidad baja y permeabilidad de media a alta debido a su fracturamiento constituyendo importantes zonas de recarga ya que están ampliamente expuestas a las precipitaciones o se encuentran permanentemente cubiertas de nieve.

En la Sierra de las Cruces las rocas presentan granulometría, fracturamiento y grado de compactación variable, caracterizándose por su elevada porosidad y permeabilidad media, por lo que se encuentran entre las mas importantes fuentes receptoras de agua.

Por ultimo tenemos a las arcillas lacustres, que están ampliamente distribuidas en la cuenca y se caracterizan por su elevada porosidad y baja permeabilidad por lo que semiconfinan a los mantos acuíferos que suprayacen.

## **2.2 ).-Determinación de Parámetros Hidrológicos.**

La abundante información recolectada sobre la geología subterránea de la Cuenca, nos permite conocer las características geohidrológicas de las rocas siendo estas

Las rocas mas antiguas ubicadas en la parte sur de la cuenca funcionan como un basamento que limita inferior y lateralmente al acuífero, esto es debido a su estructura masiva y escaso fracturamiento Sobreyaciendo a estas encontramos derrames basálticos que debido a su alta porosidad y permeabilidad constituyen excelentes acuíferos; en contraste al norte de la cuenca estas mismas rocas tienen una permeabilidad secundaria debido a que están densamente fracturada.

En la formación Tarango, en los volcanes ubicados al oriente de la ciudad (Popocatepetl e Iztlacihuatl) así como en la sierra de Guadalupe tenemos rocas Andesíticas las cuales presentan porosidad baja y permeabilidad de media a alta debido a su fracturamiento constituyendo importantes zonas de recarga ya que están ampliamente expuestas a las precipitaciones o se encuentran permanentemente cubiertas de nieve.

En la Sierra de las Cruces las rocas presentan granulometría, fracturamiento y grado de compactación variable, caracterizándose por su elevada porosidad y permeabilidad media, por lo que se encuentran entre las mas importantes fuentes receptoras de agua.

Por ultimo tenemos a las arcillas lacustres, que están ampliamente distribuidas en la cuenca y se caracterizan por su elevada porosidad y baja permeabilidad por lo que semiconfinan a los mantos acuíferos que suprayacen.

Tipo de Roca	Ubicación	Porosidad	Permeabilidad Media ( cm / se )	Transmisibilidad Media X 10e-3 (mts <sup>2</sup> / se )
Basaltos	Sierra de Santa Catarina Sierra Chichinautzin Teolihuacan	Primaria baja Secundaria alta por Fracturas	Alta 1 X 10e-3	Desde T =48 Hasta T =194
Rocas Andesíticas	Formación Tarango Zona Oriente Sierra Guadalupe	Primaria baja Secundaria media por Fracturas	Media 1 X 10e-4	Desde T = 11 Hasta T = 43
Materiales Aluviales	Sierra de las Cruces Formación Atotonilco	Elevada	Media a Baja de 1 X 10e-4 a 1 X 10e-5	Desde T = 5,0 Hasta T = 46
Arcillas Lacustres	Zona Central Lago de Texcoco Tlahuac, Chalco	Elevada	Baja 1 X 10e-6	Desde T = 2,4 Hasta T = 23

Tabla 3

Características geohidrológicas de las Rocas en la  
Cuenca del Valle de México

Realizado el análisis geológico y conociendo las características específicas de cada zona podemos decir que en las zonas periféricas de la ciudad tendremos acuíferos libres mientras que en el centro de la misma los acuíferos que predominan son los semiconfinados.

### 2.3 ).- Clasificación de las acuíferos en la ciudad de México y área metropolitana.-

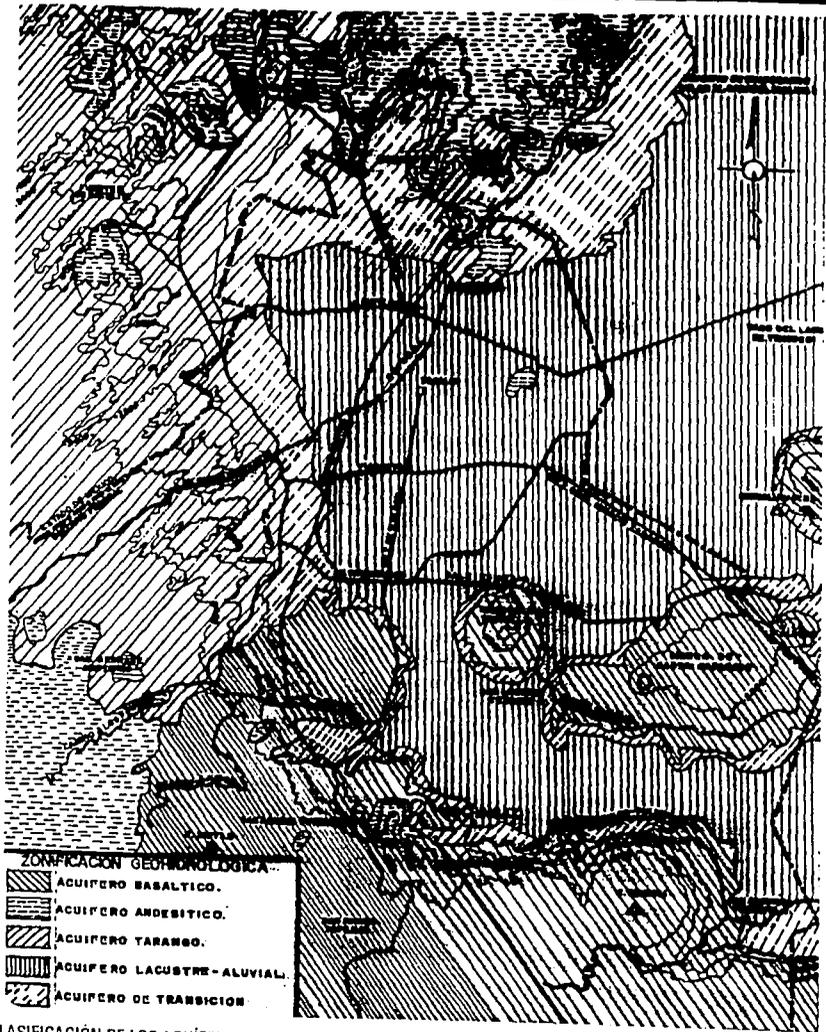
Podemos clasificar a los acuíferos de la ciudad en cuatro tipos básicos ( fig. 2.10 ) los cuales describimos a continuación :

#### 2.3.1 ).-Acuífero Andesítico.-

Ubicado al Norte, Oriente y Sur - Poniente de la Ciudad por su denso fracturamiento constituye un buen medio para que se infiltre el agua de lluvia o del deshielo. No obstante lo anterior, este tipo de acuíferos suelen ser muy locales; por lo que en la mayoría de las ocasiones suele ser improductivo.

#### 2.3.2 ).- Acuífero Aluvial.-

En este acuífero, el depósito y la granulometría de las rocas que lo constituyen, son los principales factores que controlan el comportamiento hidrológico de los mismos, están confinados en su parte superior por un estrato de arcilla lacustre, y son constituidos por estratos de gravas, arenas, y en menor grado por capas de limos, que fueron depositadas



CLASIFICACION DE LOS ACUIFEROS EN LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA METROPOLITANA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N° 2.10

FALLA DE ORIGEN

en los lagos.

Este acuífero ha sido el más estudiado por el Gobierno Federal, y se recarga por medio de la infiltración del agua de lluvia que se precipita por los flancos de las sierras del poniente, sur y oriente de la cuenca, fluyendo hacia el centro del mismo.

De acuerdo a la constitución del subsuelo y a su comportamiento geohidrológico, se a dividido al acuífero aluvial en tres sub - sistemas, los cuales describimos a continuación (fig. 2.11)

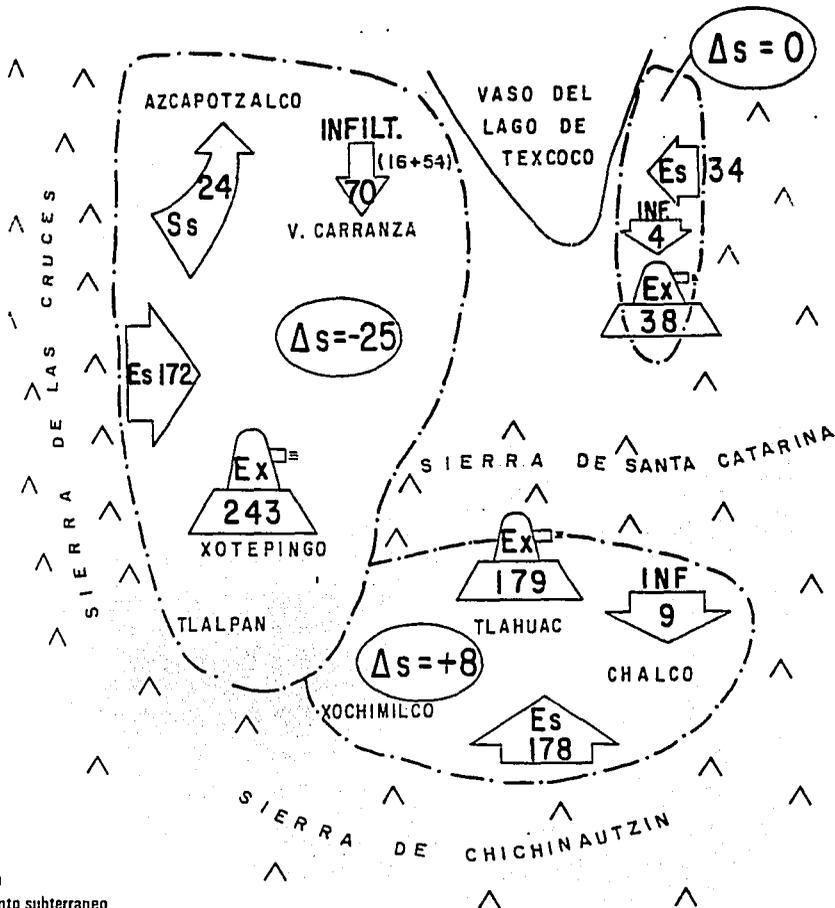
El primer sub-sistema acuífero lo encontramos en el centro de la ciudad, y esta constituido por materiales granulares de permeabilidad media a baja, y es recargado principalmente por la sierra del poniente. En el oriente, a la altura del aeropuerto, encontramos un flujo subterráneo que se desplaza en dirección oriente - poniente, hacia el centro donde existe un cono piezométrico producto de la salida del agua hacia la zona de Azcapotzalco.

El segundo sub-sistema acuífero se encuentra en la zona sur del valle, entre Xochimilco, Tlahuac y Chalco. Este acuífero es recargado por la infiltración del agua que cae en las Sierras de Chichinautzin y Santa Catarina, mismas que lo limitan al norte y al sur. Esta recarga tiende a desplazarse hacia el centro del valle de Xochimilco y Chalco.

El tercer sub-sistema acuífero se encuentra en la zona del lago de Texcoco, en esta área la recarga procede de las sierras del oriente. Los materiales que constituyen esta zona son de baja permeabilidad, casi no se le extrae agua y su gradiente hidráulico es prácticamente nulo. En la porción occidental del vaso se detecta un flujo subterráneo con dirección oriente - poniente incrementando su gradiente y pasando al primero de los sub-sistemas mencionados.

### **2.3.3 )- Acuífero Basáltico .-**

Este acuífero esta formado por corrientes de lava y piróclastos, y se ubica principalmente en la parte meridional de la cuenca, el agua se encuentra principalmente en fracturas y grietas. Como este acuífero se encuentra en rocas muy fracturadas su rendimiento específico y su producción suelen ser muy altos. Para tener una idea de esto basta saber que los pozos perforados en este acuífero producen normalmente de 55 a 140 lts / seg / metro de abatimiento es decir se consiguen altas producciones con abatimientos reducidos. El valor de la transmisibilidad en este acuífero se estima que varia de 10,000 a 40,000 m<sup>2</sup> / día



Simbología :  
 EX extracción  
 Es Escorrimento subterráneo  
 INF Infiltración vertical  
 AS Diferencia entre recarga - descarga

SUBSISTEMAS ACUÍFEROS EN LA ZONA DE LAGO DE LA CIUDAD DE MEXICO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 2.11

### 2.3.4).- Acuífero Tarango.-

Constituido por arenas fluviales, conglomerados, y piroclastos. La granulometría de sus depósitos, sus fracturamientos así como los grados de compactación de los mismos son los que nos determinan sus características hidráulicas. La transmisibilidad de este acuífero es del orden de  $2 \text{ a } 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg}$ . Esto nos indica que tenemos una transmisibilidad baja que se volvería alta en caso de existir una grieta en el sistema de acuíferos.

Zona	Rendimiento Especifico ( lps / m )	Profundidad de los pozos ( mts )
Azcapotzalco		200 a 300
Lomas Contreras	de ,5 a 1	
Centro		100 - 200
Agrícola Oriental	10	200
Cerro de la Estrella	de 25 a 600	48 a 160
Santa Catarina		
Santa Catarina	de 30 a 110	80 a 140
Periférico	de 1 a 20	180 a 300
Xotepingo		
La Noria	de 40 a 3000	40 a 150
Tulyehualco		
Tecomill	de 25 a 700	60 a 200
Chalco	de 03 a 09	35 a 300
Chicoloapan	de 02 a 10	20 a 120
Lago de Texcoco	de 02 a 10	No disponible

Tabla 4

Rendimiento específico y profundidad de algunos pozos en el Valle de México

( Lesser 1993 )

## CAPITULO 3

### EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS ACUÍFEROS EN EL VALLE DE MÉXICO

#### **3.1 ).-Técnicas de explotación usadas**

En el Valle de México se tiene la mayor contradicción en lo referente al aprovechamiento integral del agua, ya que en un principio este era el mas abundante de los recursos naturales, siendo en la actualidad uno de los mas escasos, ya que al ser edificada la ciudad de México sobre una serie de lagos el riesgo de inundación era enorme por lo cual fue necesario drenar al valle. Por lo que es necesario conocer las principales obras que se han construido para lograr lo anterior y simultáneamente han hecho necesario que exploremos sus mantos acuíferos.

#### **3.1.1 ).- Desagüe de la cuenca.-**

El desagüe del valle empezó en 1607 cuando la Ciudad de México en aquel entonces Nueva España sufre la primera gran inundación de la época colonial, obligando a que especialistas elaboren los anteproyectos necesarios para darle una salida al agua de la cuenca.

El proyecto de Enrico Martínez consistió en la construcción al norte de la ciudad de un canal de 10.50 mts. de sección y 6.60 Km de longitud el cual drenaba a la ciudad por la laguna de San Cristóbal Ecatepec, pasando a un costado del pueblo de Huehuetoca en el sitio llamado Nochistongo. El canal debía cumplir varias funciones, siendo la primera y mas importante drenar a las Lagunas de México y de Zumpango asegurando a la ciudad de futuras inundaciones. Posteriormente se desvió el cauce del río Cuautitlan hacia el canal, ya que a este se le consideraba como el causante del aumento en el nivel del lago y por ende de las inundaciones.

En 1795 y con el fin de disminuir el riesgo de nuevas inundaciones se construyeron dos canales con una longitud aproximada de 8.90 y 13.00 Kms para drenar a las lagunas de Zumpango y de San Cristóbal respectivamente. Como el canal de Nochistongo no garantizaba totalmente la seguridad de la ciudad, se propuso la construcción de un túnel que vendría a complementar el desagüe del valle, este túnel ubicado en un sitio llamado Tequixquiac se empezó a construir en 1884 concluyéndose diez años después con una longitud aproximada de 10.02 Kms; descargando en la cuenca del río Moctezuma.

El túnel vino a resolver gran parte de los problemas de inundación, siendo complementado con el gran canal el cual recolecta el agua de la ciudad y la descarga a este. En el siglo actual se han continuado las obras de desagüe que aseguren a la ciudad

de nuevas inundaciones, siendo las mas relevantes :

La construcción del segundo túnel de Tequixquiac en 1937 concluyéndose en 1946, sin embargo estando ya funcionando el segundo túnel y por las amenazas de derrumbe que empezó a mostrar fue necesario volver a poner en funcionamiento al primero.

Mas recientemente se empezó la construcción de la obra magna de drenaje de la cuenca, conocida como Sistema de Drenaje Profundo. Este sistema estaba formado por un Emisor Central de 6.50 metros de diámetro y 50 Km de longitud, además de dos interceptores de 5.00 metros de diámetro los cuales son el interceptor oriente y el interceptor central. En la actualidad se a venido ampliando la red contemplándose tres interceptores mas los cuales son: el interceptor Centro-Centro, el Centro-Poniente y el Oriente-Sur con diámetros que van de los 4 hasta los 6.50 metros y serán construidos a profundidades que varían desde los 17 hasta los 132 metros, con el fin de que no se vean afectados por los fenómenos de consolidación que se presentan en la cuenca, estos interceptores funcionaran solamente en época de lluvias, cumpliendo con su función de recolectarlas y descargarlas al río de Tula a través del Emisor Central el cual tiene una capacidad para transportar hasta 220 m<sup>3</sup> / seg (6).

### 3.1.2).- Sistema Hidrológico actual.-

Todas las obras construidas con el fin de "secar" la cuenca alteraron el sistema hidrológico del Valle creando uno artificial. Este se encuentra formado de la siguiente manera :

La zona poniente delimitada por el río Tepetzotlan al norte y los ríos Magdalena y Eslava al sur, la zona oriente cuyos limites son el llamado río de la Compañía al sur de la cuenca y el río San Juan Teotihuacan al oriente, la zona sur que va desde el río San Buenaventura hasta el río Ameca y, finalmente la zona nor-noroeste cuya corriente principal es el río de las Avenidas de Pachuca.

Debido al asentamiento que ha sufrido la ciudad estos ríos se han confinado por medio de colectores o de secciones rectangulares con el fin de evitar cualquier desbordamiento que pusiera en riesgo a esta, ejemplo de lo anterior son el río de Churubusco, el río de la Piedad, el río Consulado, etc. Como las zonas bajas de las cuencas de estos ríos se hallan completamente urbanizadas, es necesario drenarlas mediante equipos de bombeo y colectores pluviales descargando al gran canal, o al lago de Texcoco.

### **3.1.3 ).- Explotación de los mantos.-**

Con las acciones anteriores se controló el peligro de inundación, pero comenzó el de la insuficiencia de los recursos hidráulicos. Hecho que describimos a continuación.

Debido al crecimiento de la ciudad es que en 1847 las autoridades se dan cuenta de que el agua que recolectaban de los escurrimientos superficiales de algunas corrientes y la que se obtenía de las fuentes naturales existentes en la cuenca como los manantiales era insuficiente. Esto obligó a que se buscaran fuentes alternativas que permitieran garantizar la dotación del líquido. La alternativa más viable fue explotar el agua subterránea contenida en los acuíferos del mismo Valle. Esta extracción se realizó mediante pozos.

Los primeros pozos fueron brotantes con lo que deducimos que los mantos acuíferos explotados eran confinados ya que la presión contenida en ellos era suficiente para elevar el agua hasta la superficie.

De 1847 a 1886 se construyeron más de 1000 pozos someros en el área urbana, con este aumento en la extracción los niveles piezométricos disminuyeron y se redujo el gasto aportado por los manantiales de Chapultepec.

Posteriormente se construyó un acueducto que aportaba 2.60 m<sup>3</sup>/seg de agua proveniente de los manantiales de Xochimilco, por lo que el número de pozos no aumentó, hasta que en el año de 1936 la demanda superó a la oferta siendo necesario aumentar el número de pozos para satisfacerla.

Investigaciones realizadas por el Dr. Nabor Carrillo en 1947 demostraron que el hundimiento registrado en la ciudad desde principios de siglo era motivado por la extracción de agua del subsuelo ( 7 ), esto ocasionó que el gobierno prohibiera perforar más pozos, y se comenzaron las obras para importar agua de los manantiales del Valle del río Lerma.

Sin embargo, el agotamiento de los manantiales de Xochimilco forzó la construcción de 50 pozos más diseminados por toda la ciudad durante el lapso comprendido de 1960 a 1967. Después se abrieron nuevas baterías ( conjunto de pozos ) al sur de la ciudad, con el fin de que el centro de la misma no aumentara el ritmo de su hundimiento ya calculado en aquel entonces de 25 a 28 cms anuales.

De 1973 a 1986 se siguieron construyendo pozos, esta vez en las inmediaciones de la sierra Chichinautzin y en el área de los Reyes-Teoloyucan los cuales proporcionan un gasto de 14 m<sup>3</sup> / seg.

En la actualidad la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (D.G.C.O.H) tiene registrados 1366 pozos en servicio tanto públicos como privados, reconociéndose que el número existente es mayor ya que algunas industrias tienen pozos no registrados ante esta Dirección.

### **3.1.4 ).- Factores que influyen en la construcción de los pozos de la DGCOH.-**

Los acuíferos han sido explotados por medio de pozos, por lo que es necesario establecer los factores que determinan la construcción de estos, ya que su vida útil, así como su productividad están ligados a estos factores.

#### **3.1.4.1 ).- Características del subsuelo y del acuífero.-**

Es necesario recolectar toda la información disponible del área en la cual se pretende construir un pozo, además es necesario realizar sondeos en campo, la información así obtenida nos permitirá determinar los tipos de estratos existentes, así como el espesor de cada uno de ellos; esto conducirá a determinar el tipo y profundidad del acuífero.

Si existen pozos cercanos debemos conocer las características de estos, tales como : Profundidad, Gasto aportado, Niveles estáticos y dinámicos del agua, calidad físico - química de esta; lo cual nos permitirá elaborar un balance del agua subterránea, con lo que podremos conocer el Gasto que puede ser extraído sin afectar al acuífero.

#### **3.1.4.2 ).- Método de Construcción .-**

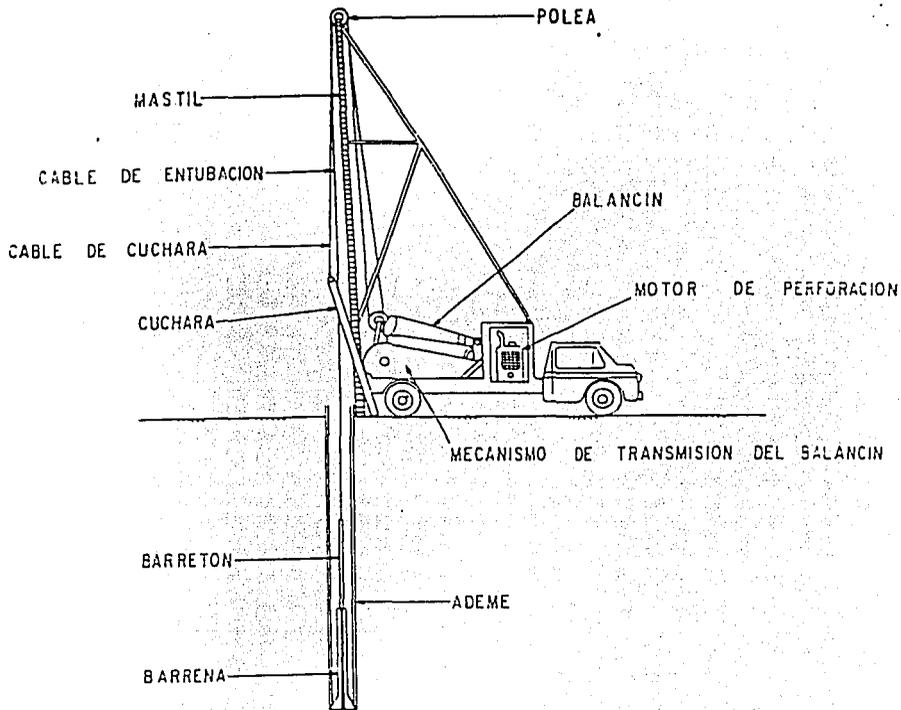
Este depende del tipo de estratos por atravesar, así como por el diámetro y profundidad del pozo, una vez conocido estos, nos permitirá seleccionar el método mas adecuado.

#### **Método de Percusión .-**

Este se lleva a cabo con la ayuda de una perforadora y herramienta de pausada (fig.3.1), presentando las siguientes ventajas y desventajas durante su uso ( 7 ).

#### **Ventajas .-**

- 1.- Tiene un alto rendimiento en material duro.
- 2.- Permite realizar un muestro muy confiable de los estratos atravesados.
- 3.- Los equipos son altamente maniobrables.
- 4.- Nos permite conocer los niveles de agua de las formaciones atravesadas.
- 5.- Es el mas económico y necesita personal especializado.



EQUIPO DE PERCUSIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.1

### **Desventajas .-**

1.- La principal desventaja que presenta este método es que el rendimiento del pozo decrece conforme aumenta la profundidad.

### **Método de Rotación.-**

En este se utiliza una máquina con mesa rotatoria, en la cual el equipo a utilizar depende del fluido que se utilice ( agua, lodos de perforación, espuma, etc.) (fig. 3.2). Este método es el mas utilizado en la actualidad ya que disminuye el tiempo de ejecución de las perforaciones.

### **Ventajas .-**

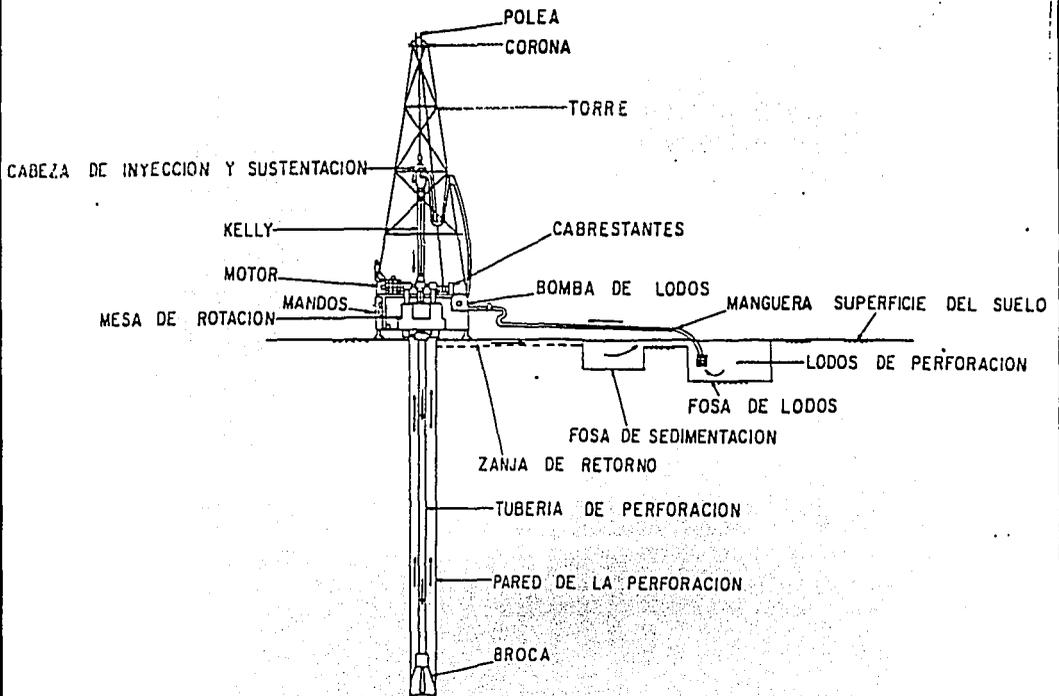
- 1.- La principal ventaja que podemos mencionar es la rápida velocidad de avance.
- 2.- No se necesita utilizar adorado durante la perforación.
- 3.- Presenta una gran flexibilidad para cambiar el diámetro del pozo .

### **Desventajas .-**

- 1.- El muestreo de los materiales no es muy representativo
- 2.- Presenta una maniobrabilidad muy limitada.
- 3.- Es no apto para rocas fracturadas ya que la perdida total de lodos impide continuar la perforación.
- 4.- Este método es caro y necesita ser realizado por personal especializado.

### **3.2 ).- La sobre - explotación de los mantos.**

El crecimiento de la ciudad aunado ha la escasez de agua a originado que las autoridades realicen una explotación excesiva de los mantos acuíferos ubicados tanto en el valle de México, como en otras cuencas, ademas de realizar grandes obras de infraestructura hidráulica con el objeto de conducir esta agua a la ciudad, con los altos costos que ello implica.



EQUIPO ROTATORIO PARA LA CONSTRUCCION DE UN POZO

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N°
		3.2

Fuente	Aportación	
	D.F. ( m <sup>3</sup> / seg )	D.F. y área metropolitana ( m <sup>3</sup> / seg )
<b>1.- Fuentes externas</b>		
Lerma ( subterráneo )	5	5
Cutzamala ( subterráneo )	11.5	11.5
<b>2.- Agua Superficial</b>		
Distrito Federal	1	1
Estado de México	0.5	0.5
<b>3.- Agua Subterránea Distrito Federal</b>		
Subsistema acuífero Ciudad de México	12.8	12.8
<b>4.- Agua subterránea Estado de México</b>		
Subsistema acuífero Chalco		6.45
Subsistema acuífero Texcoco		12.07
Acuífero Tizayuca - Cuautitlan	9.59	9.59
<b>5.- Agua subterránea Estado de Hidalgo</b>		2
<b>DOTACION TOTAL APORTADA</b>	<b>40.39</b>	<b>60.91</b>
<b>6.- Agua Tratada</b>	<b>3</b>	

Tabla 5  
Fuentes de Suministro de Agua para el Area Metropolitana  
( Lesser 1993 )

Esto no ha traído aparejado una política efectiva de distribución y dotación del agua ya que se presenta una disparidad en la cantidad disponible por habitante ya que mientras al poniente un segmento de la población tiene disponibilidades superiores a los 600 lts/hab/ida, al oriente de la ciudad, la disponibilidad del líquido es muy reducida, llegándose a encontrar colonias con dotaciones menores a 200 lts/familia/día.

El surtir de agua potable a la ciudad de México se ha convertido en un problema para las autoridades ya que estudios realizados para la D.G.C.O.H. revelan que los acuíferos del valle aportan 40.40 m<sup>3</sup> / seg es decir 1,274 millones de metros cúbicos al año (mm<sup>3</sup>/año), mientras que la recarga ha sido estimada en 26 m<sup>3</sup>/seg es decir 820 mm<sup>3</sup>/año, esto conduce a establecer en 14.40 m<sup>3</sup> / seg o 454 mm<sup>3</sup>/año la sobre -explotación de los acuíferos, esto ocasiona un asentamiento del orden de 0.90 m / año.

En términos generales podemos definir el problema del agua en los siguientes puntos :

1.- La ciudad de México y área metropolitana que en el pasado fue modelo de eficiencia hidráulica ha perdido su equilibrio, en la actualidad alberga a 19 millones de personal y al 40 % de toda la industria generando el 36 % del producto interno bruto

nacional.

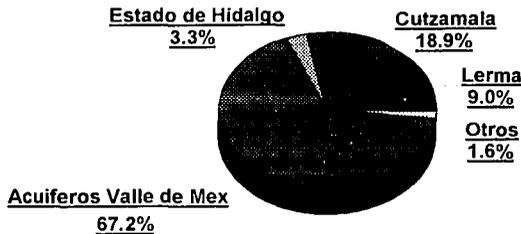
2.- La población y la industria aquí concentrada consume de 50 a 63 M3 / seg ocasionando un déficit que se ha cubierto con agua proveniente de otras cuencas.

3.- El suministro de agua para la ciudad de México y área metropolitana se obtiene de la siguiente manera 67.16% de los acuíferos del mismo valle, 9 y 19 % de las cuencas del río Lerma y del río Cutzamala; esto ultimo a ocasionado gastos de operación muy altos, ya que hay que bombear el agua hasta una altura de 2,200 m.s.n.m.

4.- El explotar el agua de otras cuencas a ocasionado que en estas el equilibrio hidrológico haya desaparecido poniendo en peligro la existencia de la agricultura en aquellas regiones con el consiguiente malestar estatal.

## Ciudad de México y área metropolitana

### Fuentes de Suministro de Agua



Grafica 1 ( Lesser 1993 )

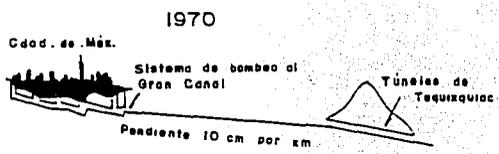
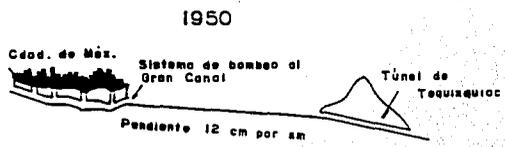
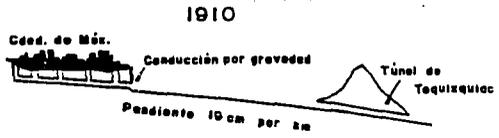
### **3.2.1).- Abatimiento de los niveles piezométricos.-**

Los niveles de agua subterránea en la algunas zonas de la cuenca del Valle de México han sido observados permanentemente por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica desde la década de los 60's por medio de pozos a lo largo y ancho del valle.

Como consecuencia inmediata al romper el equilibrio hidrológico ( infiltración - extracción ) en los acuíferos se presenta un abatimiento en el nivel del agua. Este que a principios del siglo fluctuaba entre 0.50 y 1.50 m, tiempo después y para el periodo comprendido de 1960 a 1981 presentan un abatimiento medio de 18.26 m (fig. 3.3).

Como podemos ver en la ( figura 3.4 ), este abatimiento en el nivel estático del agua,





ESQUEMA QUE MUESTRA LOS EFECTOS CAUSADOS POR LA DISMINUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.4

FALLA DE ORIGEN

trajo como consecuencia un asentamiento de la ciudad, de dimensiones tales que en 1910 el agua drenaba por gravedad hacia el gran canal el cual tenia una pendiente de 19 cm / Km, mientras que en 1980 el hundimiento de la ciudad había sido de proporciones tales que para drenar el agua de la ciudad ha sido necesario la construcción del drenaje profundo, ya que el gran canal presenta una pendiente casi nula siendo necesario el uso de equipo de bombeo.

Estudios realizados en 491 pozos durante el **periodo comprendido entre Julio de 1984 y Julio de 1985** permitieron trazar una configuración de la profundidad a la cual se encontraban los niveles estáticos del agua (fig. 3.5 , 3.6, 3.7 y 3.8).

Esto permitió establecer que al poniente de la ciudad, al pie de la sierra de las Cruces la profundidad a la cual se encontró el nivel estático del agua varía desde los 70 hasta los 160 metros en las inmediaciones de las Lomas.

Al sur entre Xochimilco, Tlahuac y Chalco los niveles estáticos del agua se encontraron a profundidades que varían desde los 10 metros encontrados al suroeste de Chalco hasta los 70 metros encontrados en las inmediaciones de la Sierra Chichinautzin, predominando los valores de 40 metros en las partes bajas del valle.

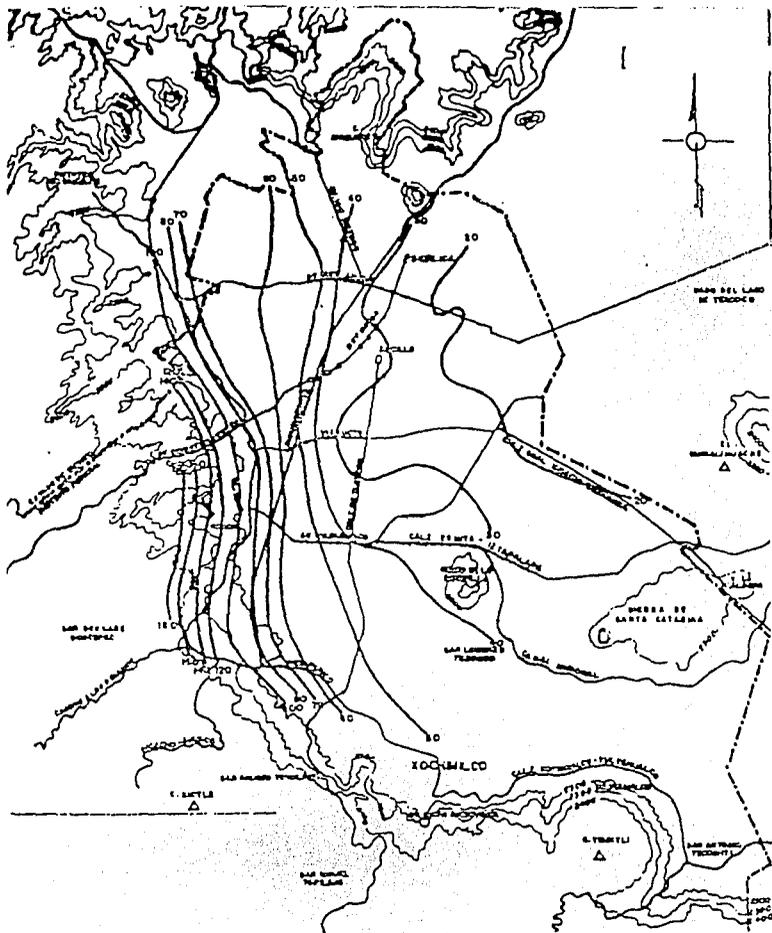
En la porción sur-occidental, entre Coyoacán y el Cerro de la Estrella, la profundidad a la cual se encontró el nivel estático del agua subterránea vario entre los 40 y los 50 m.

En la zona central se encontró un gradiente hidráulico muy suave, ya que el nivel estático del agua se encontró a profundidades que varían desde los 20 m cerca del aeropuerto Benito Juárez, hasta los 50 m detectados en la zona centro - poniente de la ciudad.

Y en los alrededores del Vaso de Texcoco, el nivel estático del agua subterránea se encuentra próximo a la superficie, registrándose en su parte central una profundidad de 5 m, aumentando ligeramente en los alrededores.

Ahora con la nivelación realizada en 1991 se obtuvieron los siguientes valores :

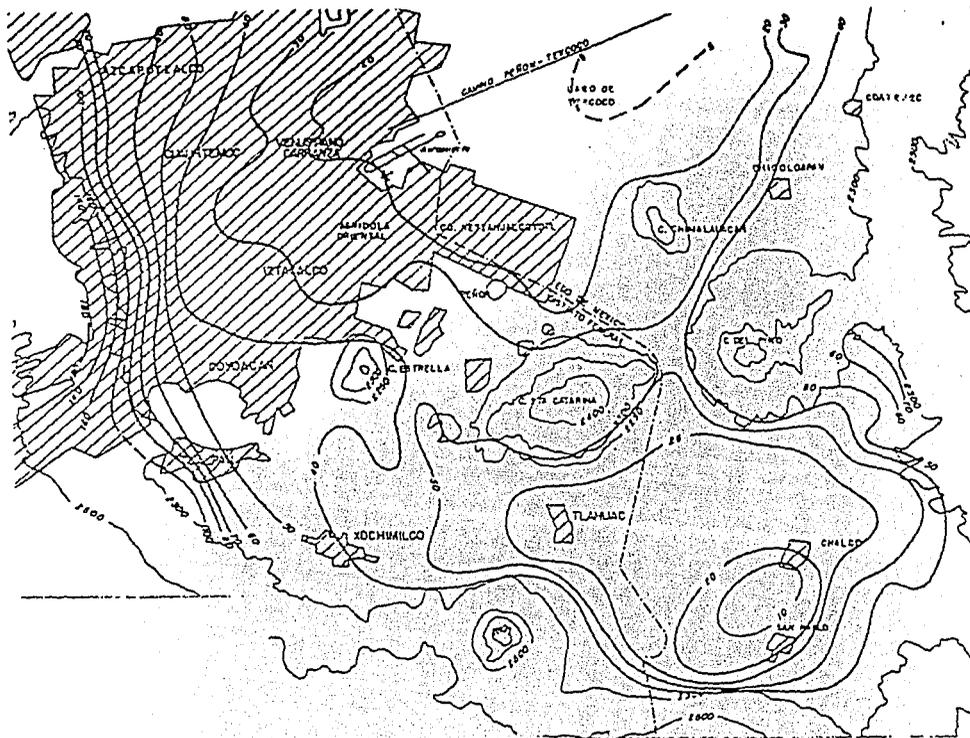
Al poniente de la ciudad las profundidades de los niveles estáticos del agua siguieron en el mismo orden encontrado entre 1984 y 1985, es decir variaban desde los 70 hasta los 160 metros



PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN EL PERIODO DE  
 JULIO DE 1984 A JULIO DE 1985  
 (metros)

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.5

FALLA DE ORIGEN



PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO EN 1985  
(metros)

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.6

FALLA DE ORIGEN





Al sur en la zona entre Xochimilco, Tlahuac y Chalco la profundidad a la cual se encontraba el nivel estático del agua aumento con respecto a los valores encontrados en la nivelación anterior variando desde los 15 hasta los 100 metros; esto nos indica un aumento en el nivel de extracción en esta zona.

Entre Coyoacan y Cerro de la Estrella los niveles estáticos del agua se mantuvieron casi sin variación con respecto a 1985 presentado profundidades que van de 50 hasta 70 metros; el pequeño aumento registrado es considerado como extracción a través de pozos no registrados.

En la zona central de la ciudad se registraron niveles estáticos del agua semejantes a 1985 lo cual es debido a las limitaciones que la D.G.C.O.H. ha establecido en esta zona con el objeto de controlar el asentamiento registrado.

En esta nivelación se logro una mejor definición del extremo oriental de la ciudad al contarse con un mayor número de pozos piloto. por lo que se logro establecer que en el vaso del ex-lago de Texcoco, el nivel estático del agua subterránea se encuentra a profundidades que varían desde los 28 hasta los 30 metros y sin cambios notables de un lugar a otro.

Por primera vez se realizaron mediciones en el área comprendida entre Chiconautla y Ecatepec encontrándose que la profundidad a la cual se encuentra el nivel estático del agua varia desde los 40 hasta los 50 metros.

Las variaciones en los niveles estáticos del Agua se presentan en la tabla 6 lo cual nos permite visualizar las diferencias encontradas en las dos nivelaciones, encontrándose que en toda el área metropolitana ha aumentado la explotación del agua ya que no se presenta zona con recuperación de los niveles estáticos.

La zona poniente comprende la Sierra de las Cruces-Tarango, La zona sur esta formada por los acuíferos ubicados entre Xochimilco, Tlahuac y Chalco, la región sur-occidente esta ubicada entre Coyoacan y el Cerro de la Estrella, la zona central esta ubicada en el centro de la ciudad de México, y la zona oriente abarca los alrededores del Vaso del lago de Texcoco.

ZONA	NIVELACION 1984-1985		NIVELACION 1991-1992		VARIACION	
	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO (MTS)		PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO (MTS)			
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	%	%
	1	2	1	2	1	2
Poniente	70	160	70	160	0	0
Sur	10	70	15	100	50	42,8
Sur- Occidente	40	50	50	70	25	40
Centro	20	50	30	50	50	0
Oriente	5	N/D	28	30	560	

Tabla 6

Variación en los niveles estáticos del Agua en el período 1984 - 1992  
(Lesser 1993)

### 3.3 ).- Consecuencias de la sobre-explotación de los acuíferos.

A consecuencia de la sobre - explotación a que han sido sometidos los acuíferos se han presentado numerosos efectos secundarios en el valle siendo las mas importantes.

#### 3.3.1 ).- Agotamiento de manantiales.-

El agua que dotaba a la población provenía principalmente de los manantiales de Xochimilco y Chapultepec. Estos podemos describirlos brevemente como un punto o zona en la superficie donde el agua fluye naturalmente en cantidades importantes proveniente de un sistema acuífero.

No obstante de que a principios de este siglo los manantiales mantenían un caudal constante, la explotación de los mantos acuíferos a ocasionado que se altere el equilibrio recarga - descarga, trayendo como consecuencia un descenso en el nivel del agua subterránea, ocasionando esto que los manantiales presentaran una reducción importante en el caudal que aportaban. Siendo en la actualidad casi nula la aportación de ellos.

#### 3.3.2 ).- Evolución del nivel estático.-

Con las medidas piezométricas obtenidas por Lesser en agosto de 1986 y julio de 1988, se realizo una configuración sobre la evolución en el nivel del agua subterránea y se observa que la mayor parte de las evoluciones son negativas y solamente en algunos puntos aislados como son, en la porción noreste de la Sierra de Santa Catarina y San Antonio Tecómilti y al norte de Atzacapotzalco se registraron pozos con recuperación del nivel estático, considerándose esto como condiciones locales de cada pozo.

En la porción norte y nor-occidental de la zona metropolitana, de Miguel Ángel de Quevedo hacia el norte, se definieron abatimientos mayores de 5 m, detectándose 3 zonas que forman conos cuyos abatimientos máximos son de -6, -7 y -6 metros en Azcapotzalco,

Chapultepec y entre las delegaciones Benito Juárez e Iztacalco respectivamente.

En la zona comprendida entre Tlalpan, Coyoacán y Coapa, existe otro cono piezométrico en el que se registran abatimientos que van de -5 a -7 metros.

En el área de la Batería Tlahuac-Neza, se registran abatimientos que varían de -3 a -10 metros. Por otro lado en Chalco, los valores negativos son del orden de -3 incrementándose a -6 metros en las estribaciones de las sierras, lugar donde se concentra la mayor explotación de agua subterránea.

En el área de Chicoloapan de Juárez, al sur de Texcoco, el abatimiento que sufrió el nivel estático fue de -3 a -7 metros en la zona agrícola. En la zona oriental de la ciudad, los pozos 8, Agrícola Oriental y el particular N° 2221, presentan fuertes abatimientos del nivel estático de hasta 8 metros.

#### **Periodo 1988 - 1992**

Entre julio de 1988 y julio de 1992, fueron medidos los niveles estáticos del agua y con esta información se realizó una configuración sobre la evolución que presentaban los acuíferos encontrándose que la mayor parte de estas son negativas y solo en puntos aislados se detectaron evoluciones positivas (fig. 3.9).

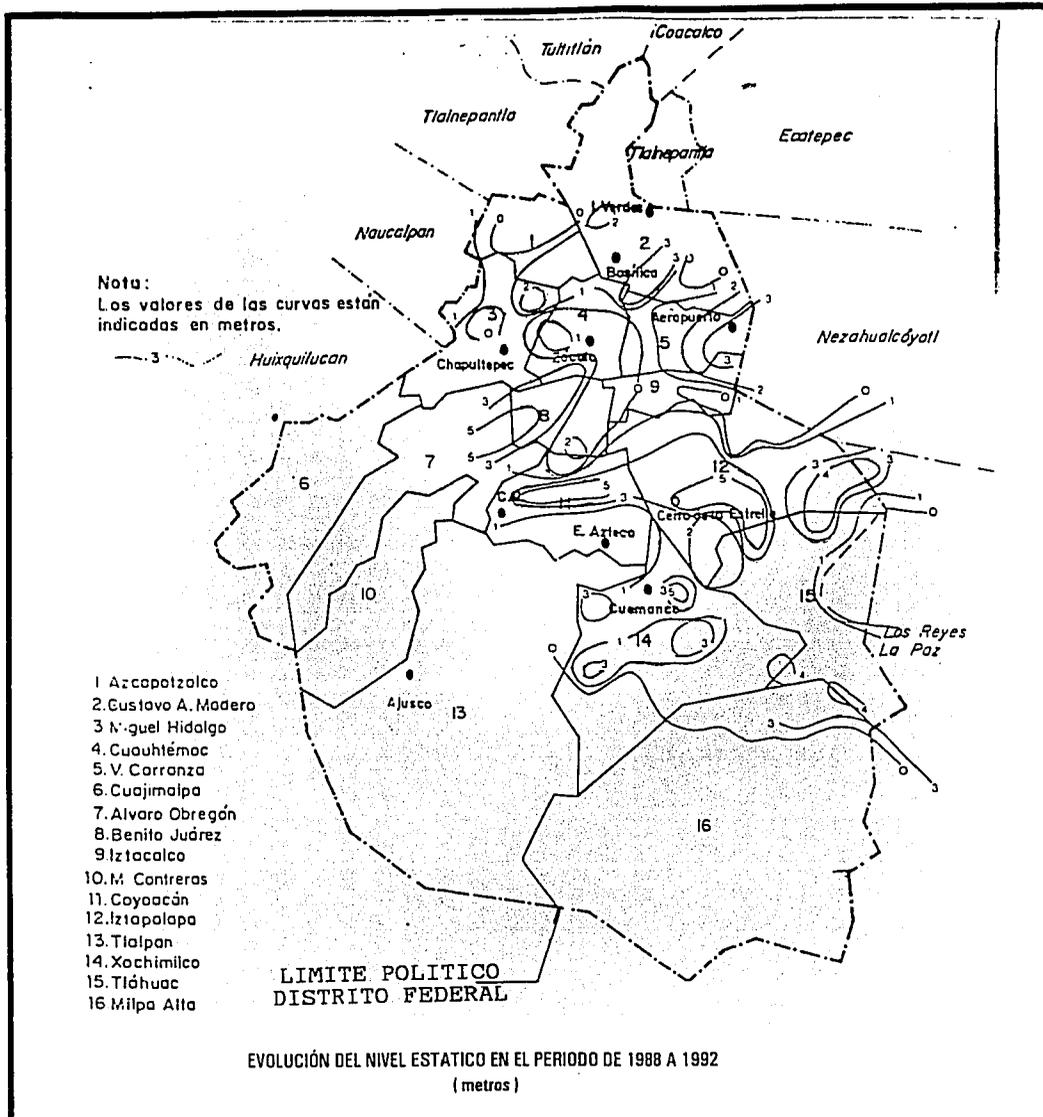
En el área de Azcapotzalco la evolución varía de 0 en la parte norte a -5 metros en la parte Sur; predominando valores de alrededor de -2 metros. Esta evolución es el reflejo de la explotación de agua subterránea en la zona industrial de esta delegación.

En la delegación Venustiano Carranza, donde se encuentra el cono piezométrico, la evolución del nivel estático dentro del periodo estudiado va de 0 a -2 metros.

En el poniente se detectaron evoluciones de hasta -5 metros. Entre Iztacalco y el Cerro de la Estrella, el nivel piezométrico se abatió entre 0 y -5 metros, predominando los valores más negativos.

En el área de Tlalpan - Xotepingo, la evolución varía de -1 a -5 metros. Los valores menores se ubican hacia el canal de Cuemanco y en forma puntual en sitios aislados.

En el área de Chicoloapan de Juárez, la superficie piezométrica ha sufrido una disminución de entre 0 y -4 metros; hacia el lago de Texcoco la evolución ha sido de -5



U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.9

FALLA DE ORIGEN

metros. En los alrededores de Chalco la evolución fue de 0 a -5 metros.

En los pozos del sistema sur, entre Tulyehualco y San Antonio Tecomilt se encontraron valores entre los 0 metros cerca de la sierra a -3 metros en el valle lo cual nos permite establecer en casi 1 metro anual el abatimiento en esta zona, lo cual a sido causado por el aumento en el nivel de extracción.

### **3.3.3 ).- Hundimiento del Subsuelo de la Ciudad de México.-**

Otra de las consecuencias ha sido el hundimiento de la ciudad de México ocasionado por la consolidación del subsuelo al perder este su equilibrio. Este hundimiento se ha venido registrando desde 1898, gracias a los numerosos efectos secundarios que este ocasionaba como lo eran el agrietamiento de numerosos edificios, los colapsos en las redes de agua potable y alcantarillado, sin embargo no se conocía la causa que lo originaba hasta que en 1947; el Dr. Nabor Carrillo declara que en base a estudios realizados por el y su grupo de colaboradores a llegado a la conclusión de que el hundimiento del valle es ocasionado por la explotación de los acuíferos, ya que esto provoca cambios en la estructura del suelo, cambios que alteran los esfuerzos efectivos del mismo ocasionando la consolidación del suelo.

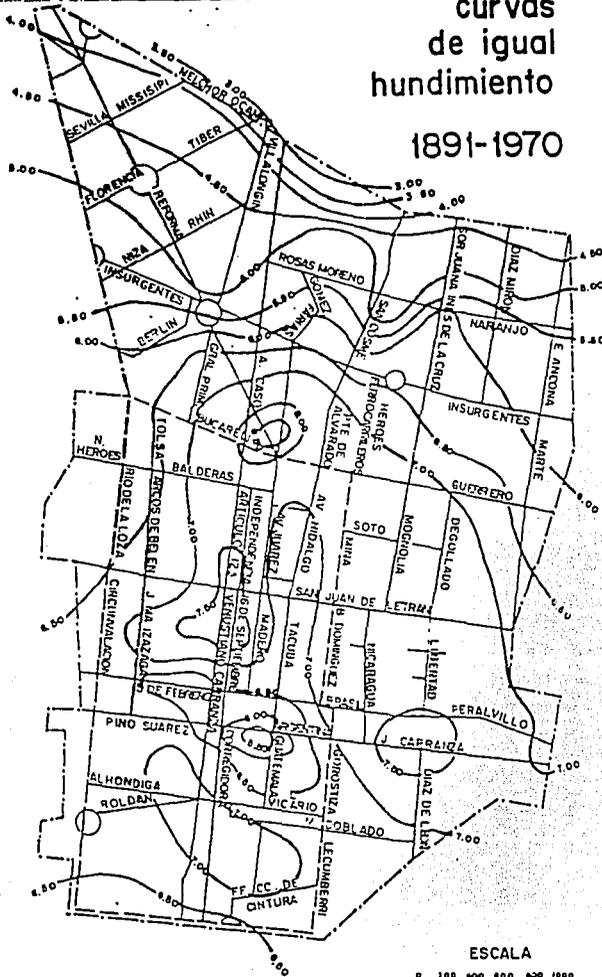
Para determinar el grado de consolidación del mismo es necesario remontarnos hasta 1876 cuando los Ingenieros Velázquez y Aldasoro establecen como plano central de referencia para la ciudad, el que pasaba 10 metros por debajo de la tangente inferior del Calendario Azteca ( Comisión de Fomento ), a este banco de nivel lo denominaremos TICA y le correspondía la cota de +10.00 mts, tomando como referencia este nivel se determino que el nivel máximo del agua en el lago de Texcoco era de + 7.10 mts . también se referenciaron el banco de Atzacocalco el cual tenia una cota de + 12.35 mts y el banco de la Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México con una cota de +16.08 mts.

En 1913 se realiza el levantamiento topográfico de Veracruz a México lo cual permite referenciar los tres bancos de nivel con respecto al nivel del mar. Esto permitió la referenciación de otros bancos de nivel, con lo cual se tuvieron una serie de parámetros en los cuales apoyarse para registrar el hundimiento de la ciudad.

De acuerdo a información recabada por las autoridades, y tomando como referencia al banco Atzacocalco se noto que el banco TICA ubicado en la torre oeste de la catedral ha sufrido un asentamiento de 6.50 mts, mientras que la Alameda observa un hundimiento promedio de 7.00 mts para el periodo de 1891 a 1970 (fig. 3.10).

# cúrvas de igual hundimiento

1891-1970



NOTA  
LOS VALORES DE LAS CURVAS  
ESTÁN INDICADOS EN METROS

HUNDIMIENTOS REGISTRADOS DE 1891 A 1970  
(metros)

ESCALA



METROS

U.N.A.M.

USO Y CONSERVACION  
DE MANTOS ACUIFEROS

TESIS PROFESIONAL

LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO

E.N.E.P.  
ACATLAN

FIGURA N°

3.10

FALLA DE ORIGEN

Los asentamientos que se registraron en el Distrito Federal se muestran en la figura con las curvas de igual hundimiento dentro del **periodo de junio de 1966 a marzo de 1970** (fig. 3.11).

**Entre 1976 a 1985** y en las nivelaciones efectuadas por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica considerando principalmente **los hundimientos provocados por la extracción del agua**, se llega a la conclusión de que los asentamientos van de 0.50 hasta 2.50 m; siendo las zonas centro, oriente y sur-oriente las que mayor asentamiento han presentado, estas zonas están conformadas en su parte superior por arcillas lacustres (fig. 3.12).

Por otra parte y sumando los hundimientos ocasionados por la extracción de agua, y por los sismos de 1985, podemos apreciar el **hundimiento total** que presentó el suelo (fig. 3.13).

La nivelación realizada entre 1985 a 1987, da como resultado los hundimientos que se han presentado en este periodo, permitiéndonos ver que la zona de mayor hundimiento siguió siendo la porción oriental de la cuenca (fig. 3.14).

En 1989 se realizó una nivelación a partir de un modelo matemático el cual fue alimentado con los datos disponibles de hundimientos registrados durante periodo comprendido entre 1983 y 1988, la calibración de este modelo se realizó alimentando al modelo con datos tales como gasto de extracción, condiciones iniciales, compresibilidad de las arcillas, etc. el área que abarco esta nivelación se presenta en la (fig. 3.15) mientras que los resultados obtenidos se encuentran en la (fig. 3.16).

Como el uso de este modelo matemático fue considerado aceptable se realizó una simulación del hundimiento del terreno al año 1997 el cual permite ver que de continuar las extracciones de agua al mismo nivel, el hundimiento alcanzara hasta 1.50 metros en la zona oriente de la ciudad ( aeropuerto, vaso del lago de Texcoco ) y 0.50 en la zona sur de esta ( Tlahuac, Xochimilco ), siendo estas zonas las mas afectadas por las extracciones (fig. 3.17).

### **3.3.4 ) .- Inestabilidad en la red de drenaje de la ciudad de México .-**

Como consecuencia secundaria de la sobre-explotación a la que han estado sometidos los acuíferos, podemos mencionar la inestabilidad de la red de drenaje.

Esta red proyectada para trabajar por gravedad, de poniente a oriente de la ciudad;



HUNDIMIENTOS REGISTRADOS EN EL PERIODO DE  
 JUNIO DE 1966 A MARZO DE 1970  
 (metros)

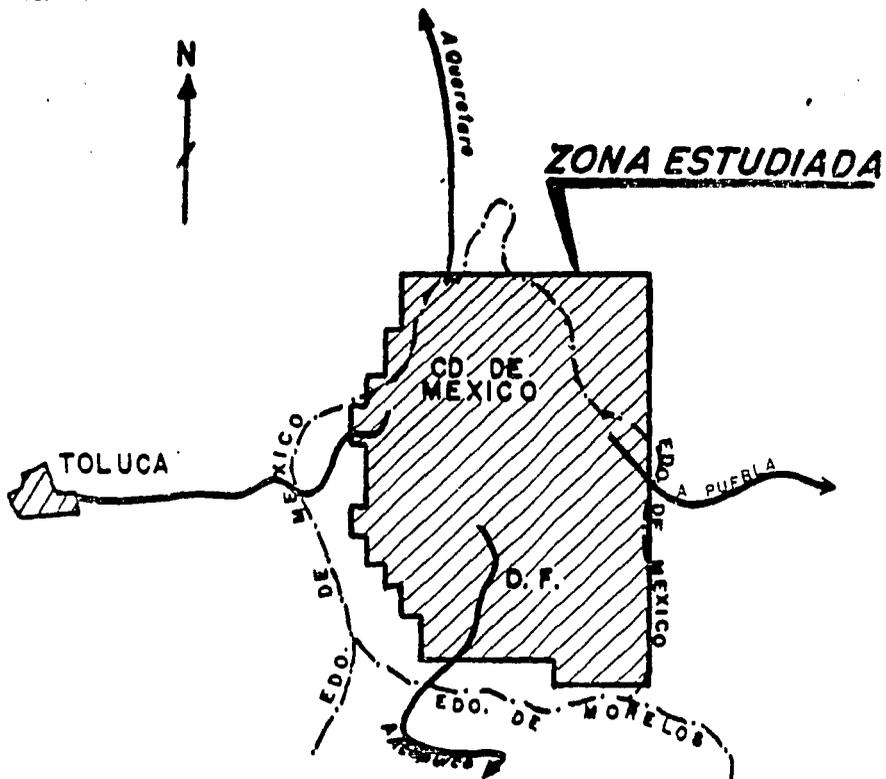
U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.11

FALLA DE ORIGEN



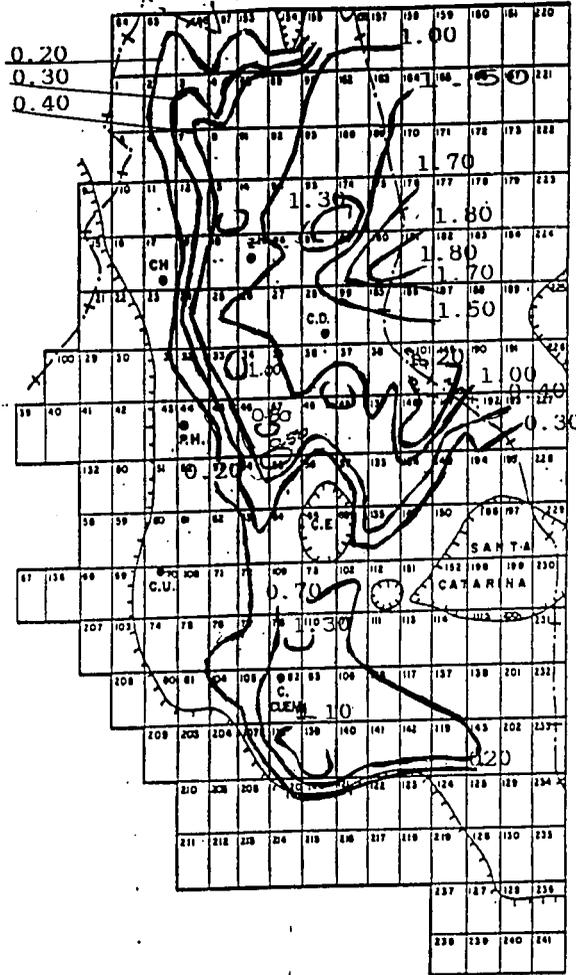






ÁREA DE ESTUDIO DE LOS HUNDIMIENTOS REGISTRADOS  
EN LA CIUDAD DE MEXICO 1989

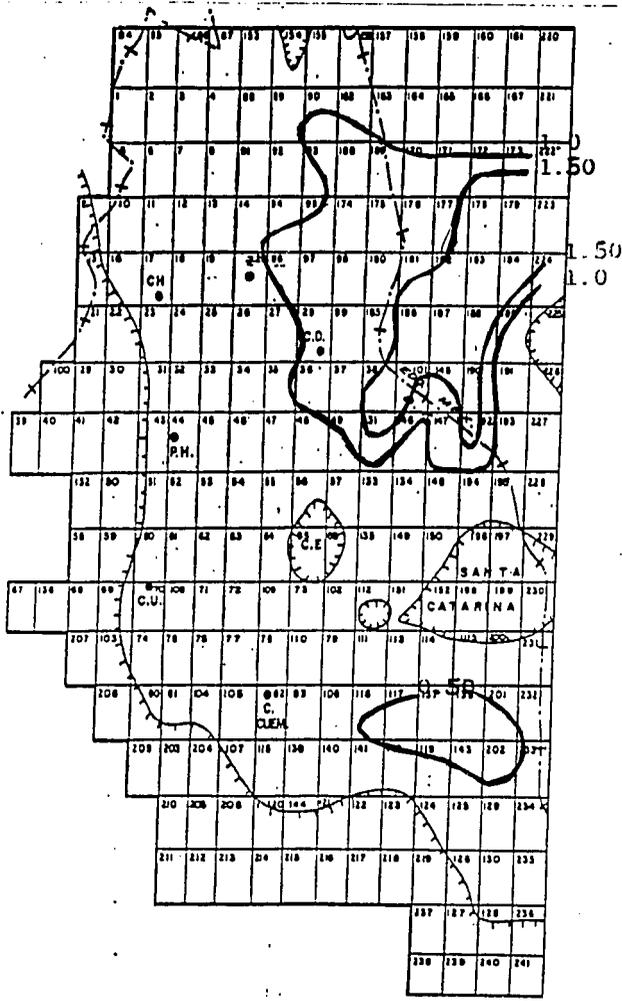
U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.15



HUNDIMIENTOS REGISTRADOS EN 1989  
 EN LA CIUDAD DE MÉXICO Y ÁREA METROPOLITANA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.16

FALLA DE ORIGEN



PROYECCIÓN DEL HUNDIMIENTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
Y ÁREA METROPOLITANA PARA EL AÑO DE 1997

**U.N.A.M.**  
**E.N.E.P.**  
**ACATLAN**

**USO Y CONSERVACION  
DE MANTOS ACUIFEROS**

**TESIS PROFESIONAL**  
**LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO**  
**FIGURA Nº**  
**3.17**

FALLA DE ORIGEN

siguiendo de una manera aproximada la pendiente natural del terreno y descargando al Gran Canal; debido a los hundimientos que a presentado el suelo a quedado a un nivel inferior del gran canal, por lo cual a sido necesario la instalación de equipo de bombeo, con el fin de elevar el caudal generado al Canal; aumentando significativamente los costos por operación y mantenimiento .

También el Gran Canal a acusado los efectos de este hundimiento, ya que a principios de siglo tenia una pendiente de 19 cm. / Km mientras que en la actualidad se encuentra prácticamente horizontal.

Por otra parte, el lago de Texcoco que recibe en parte las aguas del Gran Canal a sido testigo silencioso de los hundimientos, ya que en 1910 se encontraba 2.90 metros por debajo del centro de la ciudad, mientras que en 1970 el hundimiento de la ciudad había sido tal que este ya se encontraba 5.50 metros por encima de la misma .

### **3.3.5 ).- Calidad química del agua subterránea.-**

Al aumentar la velocidad y la longitud de desplazamiento del agua subterránea, se altera también su calidad, ya que al recorrer esta grandes distancias atraviesa una gran cantidad de estratos, lo cual aunado a que el flujo de agua progresivamente disuelve las pequeñas partículas del suelo; nos trae como consecuencia una variación importante en su calidad. Esto lo podemos constatar al realizar un análisis químico al agua extraída.

De acuerdo a los datos disponibles sobre la química del agua, a partir de análisis efectuados de 1955 a 1987, estos indican un incremento salino del Poniente al Oriente, o sea hacia el cono piezométrico ubicado en Azcapotzalco y posteriormente una disminución en salinidad en la zona del domo piezométrico. La única forma a partir de la cual se puede esperar una disminución salina a lo largo de un flujo subterráneo, es por dilución o mezcla con otro tipo de agua. Si la zona central del área metropolitana es recargada por el flujo proveniente del poniente, debería presentar entre 300 y 400 ppm de sales. Al encontrarse en el domo concentraciones salinas bajas, menores de 200 ppm, se deduce la existencia de una recarga con agua de buena calidad.

Por otra parte, el análisis de la variación de los diferentes parámetros químicos analizados dentro del periodo, indican que estos se han mantenidos constantes, a excepción de los cloruros, los cuales en el domo han presentado un incremento paulatino lo cual se explica por el hecho de que al agua potable se le adiciona cloro con el objeto de desinfectarla.

Aparentemente la formación del Domo es el resultado de varios factores como son : Tipo y Distribución de materiales que constituyen el subsuelo, extracción diferencial del agua subterránea, fugas en las redes de distribución de agua potable y presencia de grietas que facilitan el paso del agua al acuífero.

En el valle se han identificado 6 zonas (fig. 3.18) que debido a los altos niveles de explotación presentan elevadas concentraciones de minerales. Siendo estas :

**Zona 1 Noreste** .- En esta zona se encontró la máxima concentración de sales de todo el valle, con valores del residuo seco total de hasta 100,000 mg. / lt. en casi toda la zona, estos valores superan incluso al que presenta el agua del mar, y han propiciado el asentamiento de algunas industrias dedicadas al aprovechamiento de tales sales, como a la industria Sosa de Texcoco. Por otra parte el ion cloruro presento valores máximos del orden de los 40,000 mg. / lt.

Los Carbonatos y Bicarbonatos alcanzaron valores de 30,000 y 20,000 mg./lt respectivamente, otros iones como Sulfatos, Magnesio y Amonio exceden por mucho las normas del agua potable.

**Zona 2 Norte** .- Se encontró que el residuo seco total variaba de 1000 a 4000 mg./lt, los Cloruros alcanzaron valores entre los 100 y los 400 mg./lt, los Nitratos alcanzaron valores de 10 mg./lt, 4 veces superiores a la norma de 2.25 mg./lt, Sulfatos, Fierro y Manganeso también rebasaron la norma.

**Zona 3 Chalco** .- En esta zona el residuo seco total estuvo entre el rango de los 1000 y los 3000 mg./lt., mientras que los nitratos presentaron un grado de concentración cercano a los 30 mg./lt, próximos al límite de 40 mg./lt. considerado peligroso para la salud de niños pequeños, el ion Amonio supero por mucho la norma de 0.60 mg./lt alcanzando valores de hasta 2500 mg./lt.

El Fierro y Manganeso, así como los iones Sulfato, Magnesio y Bicarbonato exceden las normas mencionadas aunque en menor proporción que el Amonio.

**Zona 4 Apan** .- En la porción sureste de esta zona se presentaron valores para el Nitrato cercanos a los 50 mg./lt., concentración peligrosa para los niños ya que produce languidez, semiconciencia, etc., también el Fierro alcanzo valores altos que van de 3 a 20 veces el valor fijado por las normas de agua potable y, al contacto con el aire se presentaron problemas de oxidación por el contenido de compuestos ferrosos.

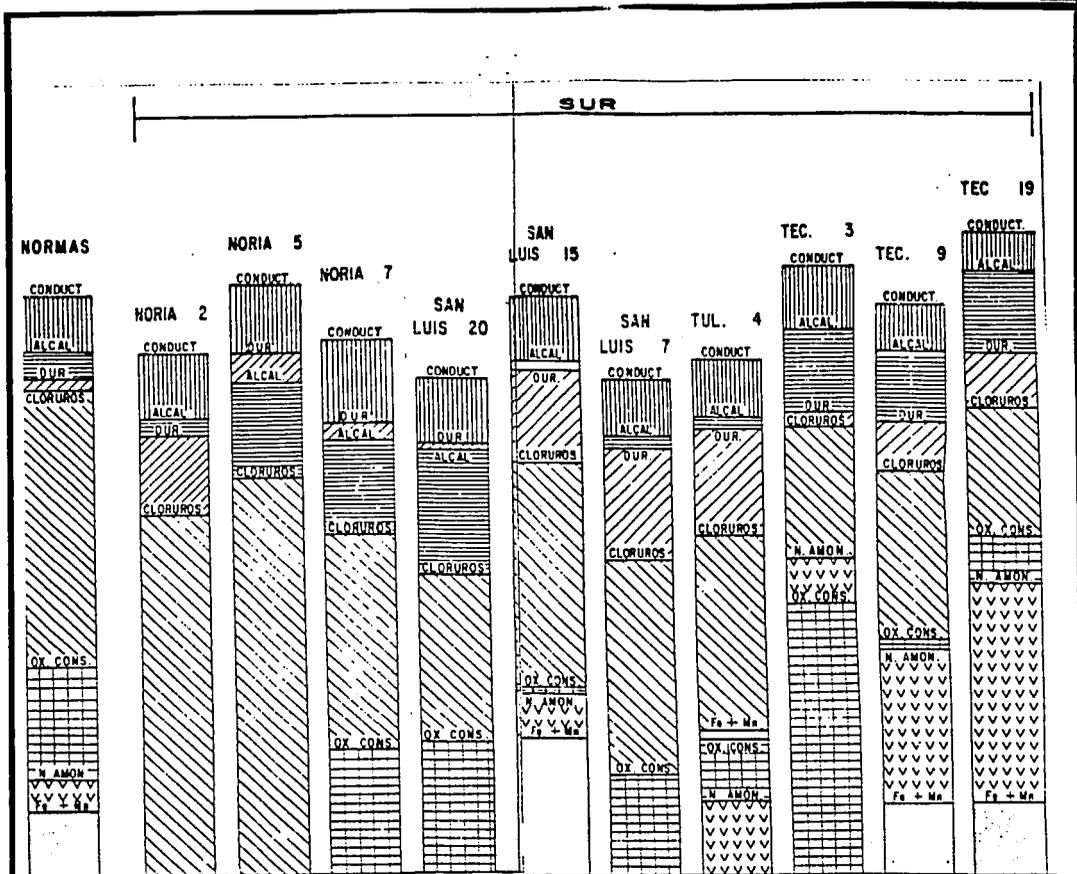
**Zona 5 Texcoco** .- Aquí no se obtuvieron valores que excedieran los registrados en las normas del agua, sin embargo la sobre-explotación esta ocasionando la migración de aguas salinas provenientes de la porción occidental, por lo cual es necesario continuar verificando el comportamiento del acuífero, con el fin de tener información que permita seguir su evolución.

**Zona 6 Noroeste de Zumpango** .- En esta zona se tomaron muestras en una porción pequeña situada a 12 Kms al noroeste de la laguna de Zumpango, obteniendo valores para el residuo seco total de entre los 2000 y los 4000 mg./lt, siendo los Nitratos y los Nitritos los que presentan un grado de concentración mayor, ya que se obtuvieron valores superiores hasta en 5 veces al valor máximo establecido en la norma.

Algunos de los resultados arriba mencionados se presentan ( fig. 3.19 y 3.20 ) tomando como base algunos de los pozos observados.

Es importante señalar que la calidad química del agua se a visto afectada por la sobre-explotación a la que han estado sometidos los acuíferos de la ciudad de México, por el cual es necesario realizar periódicamente, análisis en la calidad del agua extraída de los numerosos pozos con que cuenta la ciudad, con el fin de poder conocer que acuíferos presentan problemas de mineralización, con la finalidad de implementar las acciones necesarias para eliminar o en su caso reducir este problema, mediante la clausura temporal o definitiva de los pozo, remplazándolos por otros que estén ubicados en lugares donde la calidad del agua contenida en el acuífero sea mejor.





CALIDAD QUIMICA DEL AGUA EXTRAIDA EN DIFERENTES POZOS DE LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA METROPOLITANA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 3.20

FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO IV

### RECARGA DE LOS MANTOS ACUÍFEROS

#### **4.1 ).- Recarga natural.-**

La recarga natural de un acuífero, como su nombre lo indica, es aquella que se presenta naturalmente al infiltrarse a los estratos subterráneos parte del agua que cae, corre o se encuentra sobre el suelo, a través de los intersticios del mismo.

Para que el agua se infiltre naturalmente es necesaria la presencia de áreas verdes, ya que ellas permiten que el agua que se encuentra sobre las mismas, se infiltre por gravedad, permitiendo la formación de los mantos acuíferos.

En las grandes ciudades como la nuestra, debido a las necesidades humanas, a ido desapareciendo el entorno natural de la cuenca para dar paso al urbano, este es el motivo por el cual se han reducido sus áreas verdes en detrimento de los mantos acuíferos, ya que al disminuir estas y aumentar el área pavimentada, se evita que el agua se infiltre, aumentando el agua que escurre a través de la superficie de la cuenca, esta agua es desperdiciada ya que se recolecta por medio del drenaje, saliendo de la cuenca junto con las aguas negras de la ciudad.

El extraer agua de los mantos acuíferos con objeto de abastecer a la ciudad de México, aunado a una disminución de las áreas de recarga, a ocasionado un abatimiento de grandes proporciones en los niveles del agua subterránea.

Esta situación actualmente presenta pocas oportunidades de revertirse, ya que si bien; el gobierno delimito un cinturón ecológico alrededor de la ciudad de México limitando de manera importante el establecimiento de nuevos asentamientos humanos (con lo cual se espera conservar los actuales volúmenes de recarga de los acuíferos), esto ha sido insuficiente para detener la mancha urbana, ya que se a registrado un aumento en el numero de nuevas colonias totalmente irregulares.

Estas colonias es necesario identificarlas con el objeto de reubicar a la gente, ya que su permanencia ocasionara una reducción en los volúmenes de recarga de los acuíferos ocasionando esto una disminución en la disponibilidad de agua subterránea.

La reducción de áreas verdes destinadas a la recarga natural de los acuíferos a obligado a que el gobierno estudie mas profundamente el comportamiento de los mismos, con el objeto de conocer exactamente los sitios de recarga, con el fin de implementar las

acciones necesarias para preservar estas áreas.

En el estudio mas reciente ( 1993 ) realizado para la D.G.C.O.H. por parte de una compañía privada, con el objeto de medir el flujo subterráneo para calcular el volumen infiltrado a los acuíferos, se trazaron celdas delimitadas por 2 curvas piezométricas y 2 líneas de corriente (fig. 4.1). La metodología empleada para conseguirlo fue la siguiente :

1.- En cada celda fue determinado el gradiente hidráulico mediante la diferencia que existe entre las alturas de una superficie piezométrica medida en dos lugares, dividiendo esta entre la distancia que existe entre las líneas equipotenciales correspondientes.

2.- La Trasmisibilidad y el Coeficiente de Almacenamiento fueron obtenidos a través de 40 pruebas de bombeo (fig. 4.2), realizadas en diferentes pozos entre 1984 y 1990. A partir de lo anterior se calculo la Trasmisibilidad media para las celdas delimitadas.

3.- Se calculo el caudal que fluye en forma subterránea por cada una de las celdas de acuerdo a la expresión :

$$Q = T B I$$

donde

Q = Gasto registrado ( m<sup>3</sup>/seg )  
T = Trasmisibilidad ( m<sup>2</sup>/seg )  
B = Ancho de la celda ( m )  
I = Gradiente hidráulico

Con los parámetros anteriores se delimitaron 5 zonas en la Ciudad de México y área metropolitana, siendo estas las siguientes :

Zona 1 la cual fue ubicada al poniente de la ciudad, específicamente al "pie "de la sierra de las Cruces.

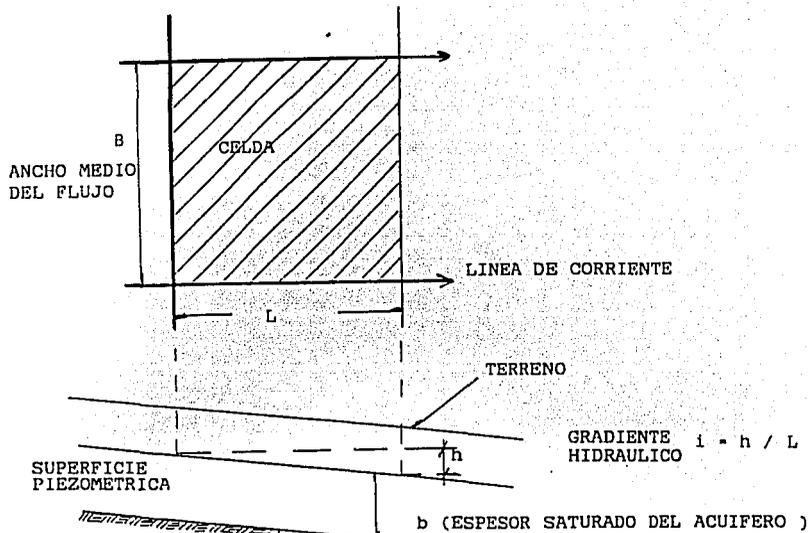
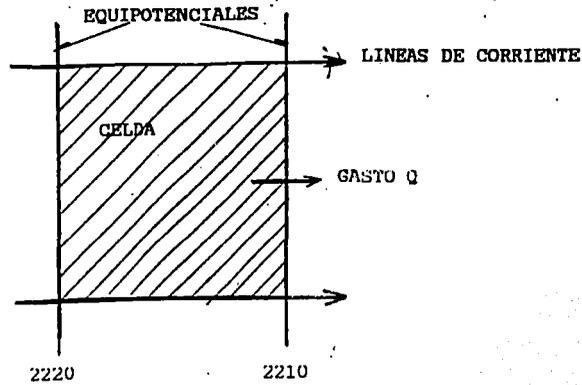
Zona 2 ubicada entre Xochimilco, Tlahuac y Chalco

Zona 3 ubicada en Chicoloapan de Juarez

Zona 4 ubicada en el Domo piezométrico de la delegación Venustiano Carranza

Zona 5 ubicada en el cono piezométrico en Azcapotzalco ( **En esta zona se encontró una extracción del orden de 24 millones de metros cúbicos anuales que se considera ocasionada por pozos no registrados ante la DGCOH** ).

Los resultados obtenidos de estos estudios se muestran en la tabla 7



CROQUIS DE LAS CELDAS UTILIZADAS PARA EL CALCULO DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRANEA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
E.N.E.P. ACATLAN		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
		FIGURA N° 4.1

Zona	Gradiente Hidraulico	Trasmisibilidad ( m <sup>2</sup> /seg )	Volumen infiltrado ( mm <sup>3</sup> /año )	Procedencia de la infiltración
1	Va de 0.0083 a 0.020	Va de 0.01 a 0.012	172	Sierra de las Cruces
2	Va de 0.042 a 0.0143	Va de 0.006 a 0.012	178	Sierra del Chichinautzin
3	Va de 0.037 a 0.0062	Va de 0.007 a 0.010	34	Sierras del Oriente
4	Va de 0.0027 a 0.005	Es de 0.006	16	Fugas red de agua potable
5	Va de 0.0021 a 0.020	Es de 0.006	<b>-24</b>	Explotación con pozos

Tabla 7

### Recarga de Acuíferos :

Parámetros obtenidos a través de diversas pruebas realizadas en los acuíferos del Valle de México  
( Lesser 1993 )

En la ciudad de México, el subsistema acuífero central es recargado por las sierras poniente, sur y oriente presentando un flujo radial que en general tiende a circular hacia el centro del valle.

En la parte central norte de la ciudad destacan un cono y un domo piezométrico, los cuales fueron detectados en 1984. El domo se ubica entre las delegaciones Cuauhtemoc y Venustiano Carranza, donde se registran elevaciones de 2210 m.s.n.m., mismas que disminuyen en forma radial hasta el nivel 2200 e indican una recarga al acuífero en esta región, además de un flujo radial a partir de ella. Se considera que esta recarga corresponde a fugas de agua de la red de distribución de la ciudad.

El cono piezométrico se encuentra ubicado en la delegación Azcapotzalco registrando curvas que van del nivel 2190 al nivel 2180 m.s.n.m., investigado sobre el origen de este cono, se considera que es ocasionado por la explotación de agua subterránea, que realizan industrias a través de pozos no registrados en la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

Al sur de la ciudad de México, en el subsistema acuífero de Xochimilco, Tlahuac y Chalco se encontró que la recarga al acuífero proviene de las sierras de Santa Catarina y Chichinautzin donde se marcaron las curvas 2200 y 2210 m.s.n.m. este flujo tiende a circular hacia el centro de este valle, en donde cambia de dirección yendo a circular hacia el poniente. En años anteriores estas recargas, eran de tal magnitud que llegaban a aflorar formando pequeñas lagunas, pero actualmente y debido a la sobre-explotación a la que a estado sometida esta zona, los niveles de agua han sido abatidos.

En la parte oriente de la ciudad en el subsistema acuífero ubicado en el lago de Texcoco, se detecto un claro flujo subterráneo procedente de la sierra oriente de la ciudad, marcándose las curvas 2200 y 2210 m.s.n.m. En el extremo poniente del mismo lago, a la altura del aeropuerto Benito Juárez se marco la cota de 2200 m.s.n.m., con lo que podemos deducir, que en esta zona el agua presenta un gradiente muy bajo, con dirección poniente.

En la parte norte de la sierra de Santa Catarina, se detecto que la recarga presenta un movimiento con dirección predominantemente sur - norte, este flujo tiende a circular hacia el Peñón de los Baños y hacia parte de ciudad Netzahualcoyotl.

#### **4.2 ).- Recarga artificial.-**

Podemos definir la recarga artificial, como el conjunto de acciones realizadas por el hombre, con el fin de poder filtrar agua en el subsuelo, teniendo como meta recargar a los mantos acuíferos existentes.

Es importante infiltrar artificialmente agua a los acuíferos del Valle , ya que de esta forma podremos contrarrestar los efectos causados por la sobre - explotación a la que han estado sometidos ( Hundimientos, Colapsos en las redes de agua potable y drenaje, etc.)

En la Ciudad de México se cuenta con la siguientes experiencias

En el Pedregal de San Ángel, se hicieron dos derivaciones del río Magdalena hacia los basaltos fracturados típicos de la zona, en la primera derivación se llegaron a infiltrar hasta 33 m<sup>3</sup> / seg, mientras que en la segunda se infiltraron 14 m<sup>3</sup> / seg, estas derivaciones se suspendieron en 1950, ya que se les considero causantes de inundaciones.

En el poniente de la ciudad, aguas abajo de la presa Mixcoac, se infiltro a través de tres pozos profundos y durante un período de 23 años un caudal estimado de 2.50 millones de m<sup>3</sup> anuales. Sin embargo la infiltración se vio interrumpida en 1979 debido a que se detectaron problemas de contaminación en las aguas del vaso.

Al sur de la ciudad, se encauzaron las aguas del río Ameca hacia una serie de sumideros que tiempo atrás fueron manantiales. Se llevo a infiltrar casi la totalidad del caudal del río, sin embargo y debido a que se detectaron problemas de contaminación en el agua subterránea, se debieron sellar estos sumideros.

En el río Eslava se conducen actualmente las aguas sobrantes hacia los sumideros del Xitle, se considera que el agua infiltrada contribuye a la recarga de los manantiales de

Fuentes Brotantes y Peña Pobre.

Estas experiencias nos llevan a la conclusión de que, la infiltración artificial es factible llevarla a cabo, por lo cual es necesario conocer las formas en la cual podemos llevarla a cabo.

#### **4.2.1 ).- Pozos de Absorción.-**

En 1956 la Secretaría de Recursos Hidráulicos, planteo la necesidad de fomentar alguna solución definitiva al problema del agua, con la finalidad de proteger las reservas de los mantos acuíferos, así como evitar el hundimiento de la ciudad.

Se planteo como una solución factible de llevar a cabo, la construcción de pozos de infiltración pluvial, sin embargo esta propuesta tuvo muchos detractores, los cuales afirmaban que el acuífero no podría recibir el agua, ya que se consideraba que el agua extraída del subsuelo es resultado de la deshidratación de este, lo cual se produce destruyendo su estructura, por lo cual el re inyectar el agua no bastaría para reconstruir dicha estructura.

Sin embargo se demostró que el agua que se extrae de un pozo, proviene de los intersticios existentes en las capas del suelo, y en estos el fenómeno de extracción es perfectamente reversible, pues basta invertir el nivel hidrostático para cambiar el sentido del flujo. Para que un pozo de absorción reciba agua, es necesario que esta llegue a capas de suficiente permeabilidad, además ahí que cuidar la calidad del agua ya que al desplazarse esta entre las partículas del suelo, aumenta su mineralización por la acción mecánica que ejerce sobre las partículas.

La segunda objeción era en el sentido de que se consideraba que los alcances que se tuvieran serían mínimos, comparados con la problemática de la ciudad. Para determinar estos alcances se hizo un estudio en Xotepingo, donde se venía registrando una fuerte explotación del acuífero y un patente hundimiento del suelo, en este sitio se construyo un pozo de absorción observándose que el agua confinada del acuífero recobraba su presión hidrostática, con los pequeños volúmenes de agua que absorbía este, dada la característica incompresible de los líquidos, y que la recuperación de la presión hidrostática era suficiente para detener el hundimiento del suelo.

La tercera y última objeción señalaba que las modificaciones en el grado de salinidad ( P.H. ) que producirían las filtraciones, serían de tal magnitud que llevarían a romper la estructura de "jaboncillo", produciéndose la separación del agua con respecto a las arcillas,

y que por lo tanto, en las capas inferiores del subsuelo donde se hicieran los pozos sufrirían asentamientos violentos. Sin embargo, los resultados de los ensayos realizados en laboratorio, no demostraron que las aguas por infiltrar provocaran el fenómeno anteriormente descrito.

Como resultado de los ensayos se demostró que :

El subsuelo es capaz de absorber agua; que en los acuíferos confinados basta la inyección de un pequeño volumen de agua para recuperar los niveles piezométricos; que se frena el hundimiento, con lo cual se demostró la eficiencia teórica de los pozos de absorción.

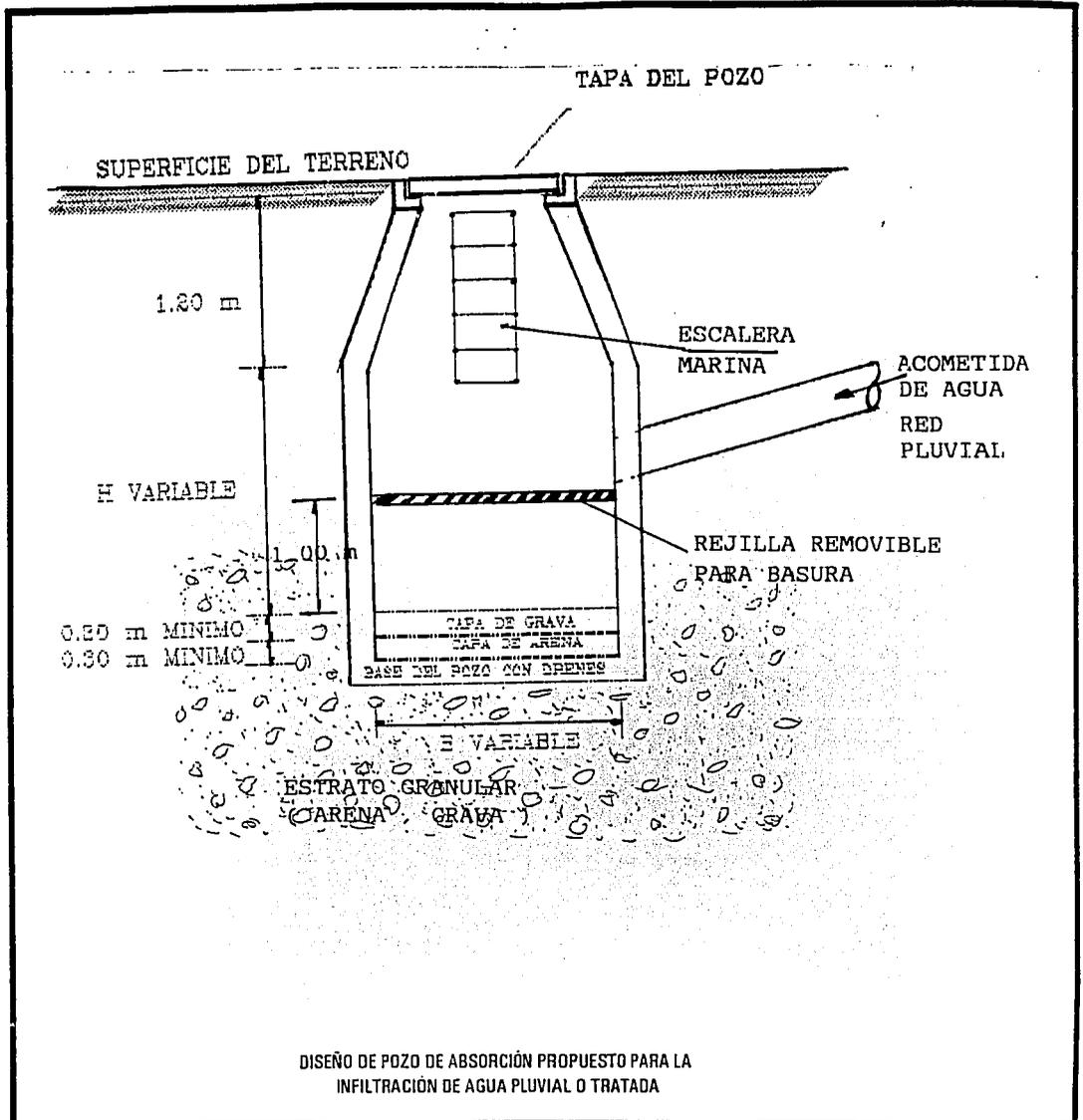
Para determinar donde construir un pozo de absorción es necesario conocer : la cuenca de captación ( es decir el área de influencia ) , su topografía con el objeto de poder ubicar a el ( los ) pozo ( s ) en los puntos bajos de la misma y a partir de ahí, distribuir de una manera conveniente una serie de coladeras pluviales o canales de recolección, los cuales nos permitirán encauzar el agua desde puntos mas elevados, esto con el objeto de que esta no haga recorridos muy largos, con lo cual se reduce la cantidad de contaminantes y solidos que esta pudiera recolectar (fig. 4.3).

Esta opción es factible de utilizar en la parte sur de la ciudad de México debido a que conjuga varios factores que resultan favorables como son : la facilidad de instalación de los pozos en áreas pequeñas, la posibilidad de recolectar una mayor cantidad de agua por medio de las coladeras pluviales, otra de sus ventajas es la profundidad de desplante del pozo ya que esta solo depende de la carga hidrostática del acuífero, la cual para la ciudad de México es muy baja o prácticamente nula.

#### **4.2.2).- Pozos de Inyección .-**

El principio bajo el cual funcionan estos pozos es el siguiente : Al penetrarse la corteza terrestre con el objeto de construir un pozo sea este de extracción o de inyección, se rompe el equilibrio tanto mecánico como hidrostático del suelo, esto provoca el movimiento tanto de rocas como de fluidos.

Al construir un pozo tanto de extracción como de inyección, es necesario conocer de manera precisa la localización de los diferentes acuíferos, determinando sus limites superior como inferior, con el fin de determinar la profundidad del mismo. Para lograr lo anterior es necesario combinar registros geofísicos con muestreos del suelo con el fin de efectuar pruebas sean estas tanto de extracción como de inyección, ya que nos permitirá determinar



U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUIFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N°
		4.3

los caudales racionales de explotación, así como la presión de inyección mas eficiente (fig.4.4)

En el Valle de México se construyeron pozos que tenían por objeto la explotación de sus acuíferos, tiempo después y a consecuencia de un bombeo continuo, presentan una gran disminución en el caudal extraído y por lo tanto en la cantidad de agua disponible, siendo en esta etapa donde toma la decisión sobre la conveniencia de transformarlo en un pozo de inyección con el objeto de restituir en parte sus condiciones originales, o en el ultimo de los casos cerrarlo.

#### **4.2.3 ).- Recarga con agua tratada.-**

Es importante señalar que la recarga de los acuíferos con aguas pluviales, es necesario llevarla a cabo, pero también se puede recargar usando aguas tratadas, siendo esta opción factible de utilizar en México, donde contamos con un volumen importante de aguas servidas, las cuales con el tratamiento adecuado servirían para recarga de los acuíferos ya sea mediante pozos ( sean estos de absorción o de inyección ) o mediante lagunas de oxidación.

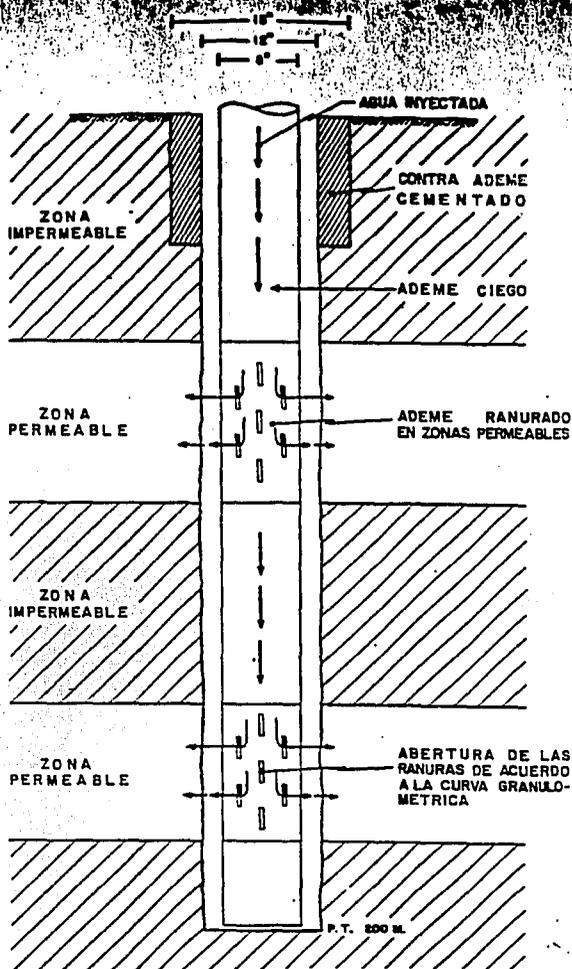
##### **4.2.3.1 ).- Recarga del acuífero por retroalimentación.-**

Este método tiene como objetivo llenar el acuífero de agua de manera tal que el porcentaje de agua recargada al acuífero sea mantenido lo suficientemente bajo como para permitir que continúe la extracción de agua del acuífero para el uso general.

Se necesita que el agua sea sometida a un tratamiento previo a la recarga, el cual garantice la obtención de un efluente de calidad similar a la especificada en las normas técnicas de agua potable. Este método a sido aplicado exitosamente en los Ángeles California, Estados Unidos.

##### **4.2.3.2 ).- Recarga del acuífero mediante el proceso de tratamiento del efluente por infiltración - percolación .-**

Este método a sido concebido para el caso en el cual el objetivo de la recarga del acuífero sea el tratamiento de aguas negras y su almacenamiento en el acuífero, teniendo estas aguas un uso limitado. Una condicionante de este método es el hecho de que el efluente usado para recargar no debe moverse fuera de la línea de pozos de recuperación que extraen del acuífero todo su volumen. Se ha experimentado con este método en Israel obteniéndose buenos resultados.



DISEÑO DE POZO DE INYECCIÓN TIPO PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN LA CIUDAD DE MEXICO Y AREA METROPOLITANA

U.N.A.M.	USO Y CONSERVACION DE MANTOS ACUÍFEROS	TESIS PROFESIONAL
		LUIS ALBERTO MIRAMONTES CARRILLO
E.N.E.P. ACATLAN		FIGURA N°
		4.4

#### **4.2.4 ).- Posibles sitios de recarga.-**

La selección de los sitios adecuados se basa en la información disponible sobre la geología e hidrología de la Ciudad de México y área metropolitana, la cual permitió descartar algunas zonas que presentan inconvenientes tales como la contaminación que pudieran adquirir pozos cercanos al sitio de recarga, falta de condiciones adecuadas para esta, así como por consideraciones económicas.

los siguientes sitios fueron considerados como factibles para un programa de recarga artificial :

En los que se localizan al sur del Valle el acuífero esta constituido por basaltos, pero los sitios difieren en cuanto a la naturaleza, estructura y espesor de la cubierta que suprayace a los derrames basálticos. Estos sitios se podrían alimentar con el efluente producido por la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella, siendo estos los siguientes

**Santa Catarina Poniente.-** El sitio considerado tiene un área de aproximadamente 70 hectáreas y una elevación de 2300 m.s.n.m., el terreno esta formado por diversas capas de arena volcánica la cual varia de fina a gruesa, y por gravas aisladas de varios metros de espesor, estos materiales cubren derrames basálticos recientes. La inclinación de dichos derrames es al rumbo sur, constituyendo el basamento del relleno lacustre y aluvial del valle comprendido entre Xochimilco y San Pedro Tlahuac.

**Podemos suponer que el agua recargada en este sitio mediante lagunas de oxidación se infiltrara a través de las capas no saturadas, y su flujo se dirigirá al centro del valle.**

**Santa Catarina Oriente.-** El sitio considerado se encuentra ubicado al sur del volcán La Culebra, teniendo una elevación de 2330 m.s.n.m. El sitio presenta una configuración topográfica sumamente irregular y por lo tanto para llevar a cabo el proyecto de infiltración a través de lagunas de oxidación seria necesario realizar grandes obras de movimiento de tierras. Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona presenta características similares a las del sitio precedente.

**San Pedro Actopan.-** El área esta situada al suroeste del volcán Teuhtli, presentando una elevación de 2335 m.s.n.m. y una configuración topográfica adecuada para un proyecto de recarga, sin embargo el área a utilizarse para la recarga no es muy amplia, localizándose especialmente a lo largo de la carretera México - Actopan - Milpa Alta.

**Milpa Alta.-** La zona considerada se encuentra al sur del volcán Teuhtli, tiene una elevación de 2340 m.s.n.m. y presenta una configuración topográfica adecuada para el proyecto de recarga. Desde el punto de vista hidrogeológico, la cubierta que se presenta en el terreno es similar a la zona de San Pedro Actopan, cambiando solamente en el espesor de la misma.

Al norte del Valle de México, la única fuente importante de aguas residuales es el Gran Canal. El aprovechamiento de estas, mediante lagunas de oxidación o por medio de pozos, exigirá la construcción de una planta de tratamiento, además del proyecto de recarga.

La D.G.C.O.H. llevo a cabo un reconocimiento de cinco zonas potenciales para el proyecto de recarga, siendo estas :

- a) Temascalapa
- b) San Lucas Xolax
- c) Melchor Ocampo
- d) Nicolás Romero
- e) Zumpango de Ocampo

De las cinco zonas las cuatro primeras fueron descartadas debido a algunas de las siguientes razones :

- 1.- La gran distancia de estas al Gran Canal
- 2.- La limitación existente en el área disponible para el proyecto de recarga y la planta de tratamiento.
- 3.- La existencia de pozos de agua potable en las cercanías del área considerada.
- 4.- La falta de características hidrológicas adecuadas.

La quinta zona estudiada Zumpango de Ocampo, tiene una elevación topográfica de 2260 m.s.n.m. y pertenece al antiguo delta del río de las Avenidas de Pachuca, encontrándose esta zona a 4 Km del Gran Canal. La superficie de este sitio se encuentra a unos 20 o 30 metros sobre el acuífero aluvial del delta. La zona presenta una configuración topográfica adecuada para el proyecto de recarga, ostentando una cubierta limo - arcillosa de 0.50 a 1.00 metros de espesor, la cual suprayace a las arenas de grano fino a grueso, estos estratos y el intervalo de 20 a 35 metros existente entre la superficie y el nivel freático constituyen un medio excelente para el mejoramiento adicional de las aguas tratadas.

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica a señalado que la puesta en operación de los proyectos de recarga a través de agua tratada dependerá de la

certeza que se tenga en relación a la eliminación total de los posibles contaminantes, con el objeto de garantizar la calidad de agua factible de extraerse para abastecer a la ciudad.

#### 4.2.5).- Calidad química del agua.-

El agua que se infiltre artificialmente a los acuíferos de la ciudad de México y área metropolitana debe cumplir con las mismas consideraciones químicas que el agua potable, entendiendo a esta como aquella cuya ingestión no cause efectos nocivos a la salud y se considera que no causa estos efectos cuando se encuentra libre de gérmenes patógenos y sustancias tóxicas.

La investigación bacteriológica se debe realizar de acuerdo a las normas respectivas del agua potable, presentando los siguientes resultados :

1.- El número de organismos coliformes totales debe ser como máximo de 2 para cada 100 ml según la técnica del número mas probable ( NMP ). y no debe contener organismos fecales.

Se considerara que el agua es potable en sus características organolépticas y físicas, cuando se encuentre entre los siguientes limites :

Aspecto	Líquido
P.H.	de 6.9 a 8.5
Sabor	Característico
Olor	Característico
Color	Hasta 20 unidades de la escala Platino-Cobalto
Turbiedad	Hasta 10 unidades de la escala de Sílice

En cuanto a su contenido de elementos, iones y sustancias químicas no debe exceder los limites permisibles en mg. / litro siguientes :

Alcalinidad total expresada como CaCo3	400
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	1.00
Cadmio	0.005
Cianuro	0.05
Cobre	1.50
Cloro libre	0.20
Cromo Hexavalente	0.05

Dureza del Calcio	300
Fenoles	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros	1.50
Magnesio	125.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos	5.00
Nitritos	0.005
Nitrógeno	0.10
Oxígeno	3.00
Plomo	0.05
Selenio	0.05
Sulfatos	250
Zinc	5.00
Sustancias activas al azul de metileno ( SAAM )	0.50
Extractables Carbón - Cloroformo ( ECC )	0.30
Extractables Carbón - Alcohol ( ECA )	1.50

## CONCLUSIONES

Los acuíferos de la Ciudad de México y área metropolitana se encuentran en una situación delicada, ya que la sobre-explotación a la cual han estado sometidos ha creado una situación delicada; ya que además del problema que se tendría en el caso de una disminución en el caudal del agua importada, se sumarían otros efectos como lo son la inestabilidad del terreno, cuyos asentamientos se han visto afectados por la explotación, colocando en difícil situación a numerosas edificaciones, además de los problemas que estos asentamientos han causado en las redes tanto de agua potable como de drenaje.

Propongo revisar la factibilidad de recargar los acuíferos tanto por los métodos tradicionales como la re-inyección, absorción, construcción de presas gavión, etc, como por los que utilizan agua tratada como efluente sean estas lagunas de oxidación, retroalimentación, o por infiltración-percolación ya que en la medida en que aumentemos la recarga, que en la actualidad solo se presenta naturalmente, podremos disminuir el nivel de abatimiento que presentan los niveles estáticos, restaurando a su vez las condiciones piezométricas de los acuíferos con lo que el hundimiento del terreno se detendrá.

Es necesario detener el crecimiento de la ciudad, ya que esto ha ocasionado que se tenga que importar agua de otras cuencas, lo cual ha ocasionado costos de operación elevados además de modificar el entorno agrícola de las zonas de donde se importa el agua con el consiguiente malestar estatal.

Se deben incrementar el número de plantas de tratamiento terciario, así como la longitud de las redes de distribución de agua tratada, con el objeto de estar en condiciones de sustituir el agua que utilizan muchas industrias por agua tratada con calidad similar logrando con esto un ahorro sustancial del agua potable.

Es necesaria una revisión del **Marco Legal de Uso del Agua**, con el fin de incrementar la medición domiciliar complementando de esta forma el Padrón de Usuarios, de esta forma se contará con recursos que permitan hacer frente a la construcción y / o ampliación de las redes de agua sea potable o tratada, distribuyendo de esta manera el líquido y los costos con equidad.

Es necesario reducir el consumo de agua por medio del **cambio de todos los implementos hidráulicos por sus equivalentes de bajo consumo** (acción actualmente en proceso de ejecución dentro del programa de "Uso Eficiente del Agua").

Se debe hacer un estudio hidrológico con la finalidad de cuantificar la cantidad de agua que escurre con el objeto de captarla y aprovecharla antes de que se integre al drenaje combinado de nuestra ciudad.

Se deben continuar las nivelaciones periódicas de los bancos de nivel dando seguimiento a la **evolución negativa** que presentan los niveles estáticos y dinámicos del agua en los acuíferos, para determinar los sitios mas afectados por la sobre-explotación, procediendo de esta forma a la reubicación de pozos.

Seguir efectuando pruebas hidrogeoquímicas del agua extraída para detectar aumento en los niveles de mineralización y contaminación del agua extraída, con el objeto de garantizar la calidad del líquido extraído.

Por ultimo se debe lograr una mayor coordinación entre las diferentes dependencias con facultades en materia de autorización y uso de la propiedad nacional, como lo son el DDF, la SRA (tierras nacionales, ejidales y comunales), y la SEDESOL (protección ecológica y desarrollo urbano), con el objeto de controlar o en su caso racionalizar el crecimiento de la Ciudad.

## REFERENCIAS

- (1).- Tinajero Gonzalez Jaime; Apuntes de aspectos fundamentales en el estudio del agua subterránea ( Geohidrologia ), Fac. de Ingeniería UNAM,
- (2).-IBIDEM
- (3).- Lesser y asociados; Actividades geohidrologicas en el Valle de México, México 1983.
- (4).- IBIDEM
- (5).- Lohnberg Alfred; Estudio de los recursos del agua subterránea en la región sureste del valle de México, México, 1959
- (6).- Varios; Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo, México, 1975
- (7).- Planimex Ingenieros Consultores S.A.; Proyecto de demostración de recarga de aguas residuales tratadas, México, 1981.
- (8).- IBIDEM

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## BIBLIOGRAFÍA

Johnson E, Edward; **EL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS POZOS**, 2ª edición E.U.A., editorial Johnson, 1975

Lesser y asociados; **HIDROGEOQUIMICA DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**, México, revista de Ingeniería Hidráulica de México, septiembre - diciembre 1986

Lesser y asociados; **ACTIVIDADES GEOHIDROLOGICAS EN EL VALLE DE MÉXICO**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1983.

Lesser y asociados, **ACTIVIDADES GEOHIDROLOGICAS EN EL VALLE DE MÉXICO PARA LOCALIZAR SITIOS Y ESTRUCTURAS PARA RECARGA ARTIFICIAL CON AGUA TRATADA**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1993.

Marzal Raúl y Mazari Marcos; **EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**, 2ª edición, México, editorial U.N.A.M., 1969

Lohnberg Alfred; **ESTUDIO DE LOS RECURSOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN SURESTE DEL VALLE DE MÉXICO**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1959

Sánchez Díaz Luis Felipe, **ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO**, México, Tesis de Maestría, 1983

Tinajero Gonzalez Jaime; **APUNTES DE ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRÁNEA ( GEOHIDROLOGIA )**, México, editorial Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., 1986

Planimex Ingenieros Consultores S.A.; **PROYECTO DE DEMOSTRACIÓN DE RECARGA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS**, tomo I, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1981

C.A.C. Urbanizaciones S.A.; **RENIVELACION DEL SISTEMA DE BANCOS DE NIVEL MAESTROS Y ORDINARIOS**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H. 1991

D.G.C.O.H. Dirección técnica; **PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**, México, 1989

Varios; **MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO**, México, editado por el D.D.F. 1975

## BIBLIOGRAFIA

Johnson E, Edward; **EL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS POZOS**, 2ª edición E.U.A., editorial Johnson, 1975

Lesser y asociados; **HIDROGEOQUIMICA DEL ACUÍFERO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**, México, revista de Ingeniería Hidráulica de México, septiembre - diciembre 1986

Lesser y asociados; **ACTIVIDADES GEOHIDROLOGICAS EN EL VALLE DE MÉXICO**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1983.

Lesser y asociados, **ACTIVIDADES GEOHIDROLOGICAS EN EL VALLE DE MÉXICO PARA LOCALIZAR SITIOS Y ESTRUCTURAS PARA RECARGA ARTIFICIAL CON AGUA TRATADA**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1993.

Marzal Raúl y Mazari Marcos; **EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**, 2ª edición, México, editorial U.N.A.M., 1969

Lohnberg Alfred; **ESTUDIO DE LOS RECURSOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA REGIÓN SURESTE DEL VALLE DE MÉXICO**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1959

Sánchez Díaz Luis Felipe, **ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO**, México, Tesis de Maestría, 1983

Tinajero Gonzalez Jaime; **APUNTES DE ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL ESTUDIO DEL AGUA SUBTERRÁNEA ( GEOHIDROLOGIA )**, México, editorial Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., 1986

Planimex Ingenieros Consultores S.A.; **PROYECTO DE DEMOSTRACIÓN DE RECARGA DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS**, tomo I, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H., 1981

C.A.C. Urbanizaciones S.A.; **RENIVELACION DEL SISTEMA DE BANCOS DE NIVEL MAESTROS Y ORDINARIOS**, México, trabajo realizado para la D.G.C.O.H. 1991

D.G.C.O.H. Dirección técnica; **PLAN MAESTRO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**, México, 1989

Varios; **MEMORIA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO**, México, editado por el D.D.F. 1975