

MECANISMOS DE INFILTRACION Y CONTAMINACION DEL ACUIFERO
DE LA CIUDAD DE MEXICO

FRANCISCO FLORES HERRERA
JUAN MANUEL LESSER ILLADES

DGCOH-DDF
AV. DIVISION DEL NORTE 3330
MEXICO 04370, D. F.

R E S U M E N

Para prevenir y controlar la contaminación del acuífero de la Ciudad de México, que se genera a partir de los lixiviados de los basureros y de la infiltración de las aguas negras de zonas sin drenaje, se realizó un estudio tendiente a conocer los mecanismos de infiltración y contaminación. Se agruparon los materiales que constituyen el subsuelo en tres grupos: (1) Arcillas lacustres; (2) rellenos aluviales y (3) basaltos y piroclásticos.

Las arcillas lacustres se encuentran cubriendo la mayor parte del valle; tienen espesores que varían de 15 a 60 metros; su permeabilidad es muy baja, casi nula; al encontrarse cubriendo una gran parte del acuífero previenen la contaminación. Los rellenos aluviales (gravas, arenas y arcillas), forman la mayor parte del acuífero de la ciudad; el agua al circular por el subsuelo recibe un filtrado natural que aunado a la dilución con el agua del acuífero, disminuye el grado de contaminación. Los basaltos y piroclásticos permiten el libre flujo del agua a través de ellos; la contaminación en este tipo de materiales es más notable ya que por su alta permeabilidad permiten el paso del agua superficial contaminada, que prácticamente cruda se incorpora al acuífero.

1. INTRODUCCION

Los lixiviados de los basureros y las aguas negras de zonas sin drenaje de la Ciudad de México en muchos casos están contaminando al acuífero. Ejemplo de ello lo constituyen el extiradero de Santa Cruz Meyehualco, donde la basura acumulada durante varios años produce lixiviados que se infiltran al subsuelo. Otro ejemplo de contaminación es la zona sin drenaje al pie de la Sierra del Chichinautzin, donde las aguas residuales de uso doméstico se infiltran crudas a través de rocas de gran permeabilidad, para contaminar el acuífero rápida y peligrosamente.

Para prevenir y controlar dicha contaminación, se realizó un estudio tendiente a conocer los mecanismos de infiltración y contaminación del acuífero, principalmente el tipo y distribución de rocas que conforman el subsuelo y las velocidades del flujo subterráneo. Para ello, se formaron secciones geológico-hidrogeológicas en base-

a la geología general existente, a los cortes litológicos de pozos y a sondeos geofísicos de resistividad. En las secciones se marcaron las principales características hidráulicas y geológicas del acuífero y se dictaminó sobre los mecanismos de contaminación al acuífero.

La localización de las secciones elaboradas se presenta en la Figura 1.

2. SECCION ZONA ORIENTAL

GEOLOGIA

El subsuelo de esta zona está constituido por tres tipos de materiales: Piroclásticos y basaltos de alta permeabilidad; rellenos aluviales de permeabilidad media y arcillas lacustres de baja a nula permeabilidad.

Los basaltos y piroclásticos se encuentran constituyendo la Sierra de Santa Catarina y tienen una prolongación en dirección al norte, a través del subsuelo, interdigitándose con los aluviones. Los materiales aluviales constituyen la mayor parte de la porción plana; están constituidos por gravas, arenas y arcillas en espesores de varios cientos de metros y ocasionalmente incluyen derrames lávicos basálticos. Las arcillas lacustres se localizan cubriendo a los materiales granulares y son el producto de los sedimentos del Lago de Texcoco; tienen un espesor de alrededor de 40 metros. (Figura 2.)

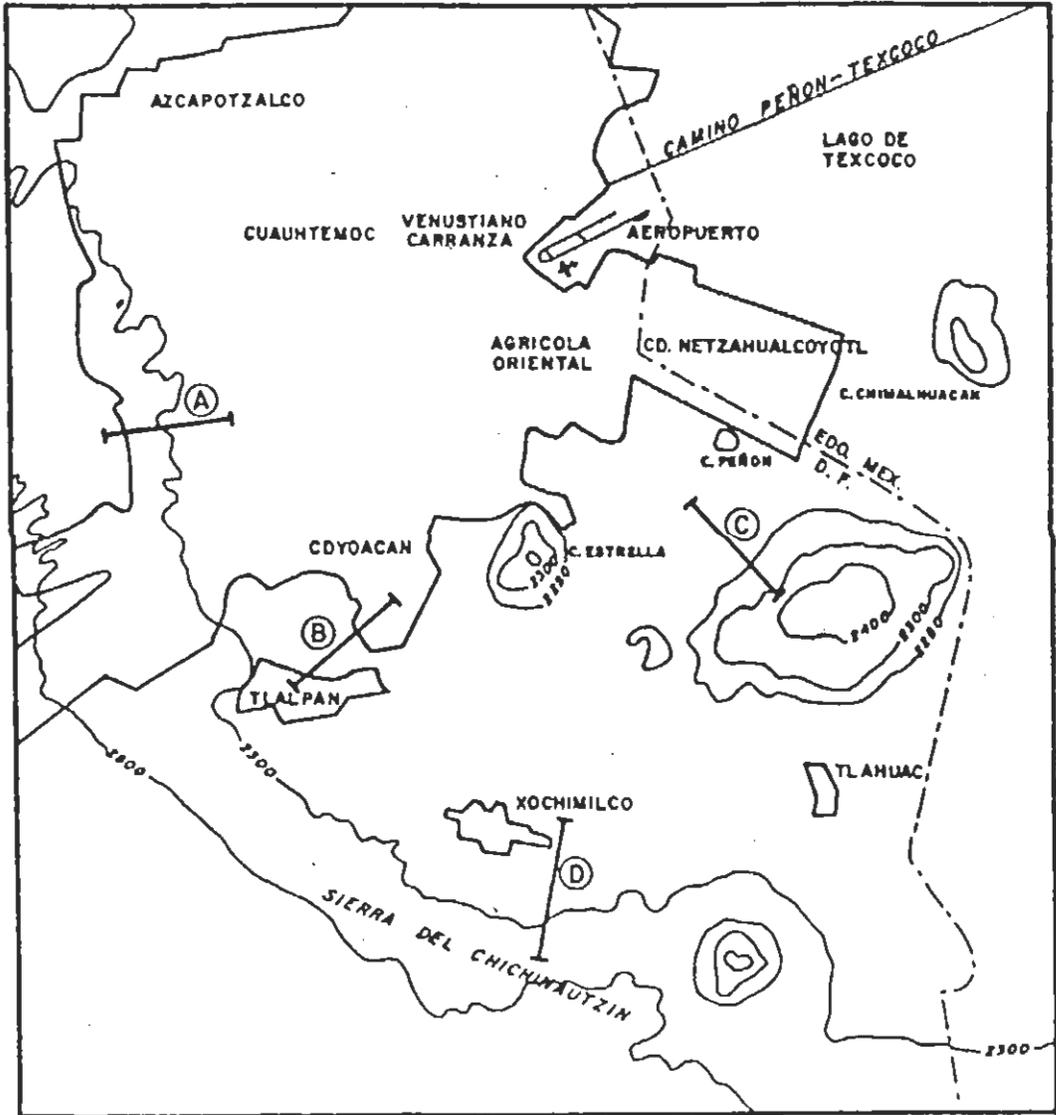
GEOHIDROLOGIA

La dirección en que circula el agua subterránea, es paralela a la sección, o sea del sureste al noroeste. El agua se encuentra a una profundidad del orden de 40 metros.

Al grupo de materiales correspondientes a piroclásticos y basaltos de la Sierra de Santa Catarina se les consideró un espesor saturado de 150 metros, un gradiente de 0.008, una transmisibilidad de $0.5 \text{ m}^2/\text{seg}$, una permeabilidad de $0.0033 \text{ m}/\text{seg}$ y se calculó una velocidad del flujo del agua subterránea de 2.3 metros por día.

Por lo que se refiere a los rellenos aluviales, se les consideró un espesor de acuífero saturado de entre 100 y 150 metros; un gradiente de 0.003 una transmisibilidad de $0.01 \text{ m}^2/\text{seg}$; se dedujo una permeabilidad que varía de 1×10^{-4} a $0.7 \times 10^{-5} \text{ m}/\text{seg}$; y una velocidad de flujo de 6.3 a 9.4 metros por año.

LOCALIZACION DE SECCIONES E ISOMETRICOS



- (A) SECCION NAPOLES
- (B) SECCION PLANTA DE ASFALTO-XOTEPINGO
- (C) SECCION ZONA ORIENTAL
- (D) SECCION XOCHIMILCO

FIGURA N° 1

En los materiales arcillosos, que se encuentran en la parte superior del terreno se tomó un gradiente hidráulico alto, de 0.2; un espesor de 40 metros y una transmisibilidad de $5.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$, a partir de donde se dedujo una permeabilidad de $1.2 \times 10^{-8} \text{ m/seg}$ y una velocidad, de circulación de 0.07 metros por año.

MECANISMOS DE CONTAMINACION

El acuífero de la porción NW de la sección, se encuentra contaminado por los lixiviados provenientes del extiradero de Santa Cruz Meyehualco. Estos, son la consecuencia de la infiltración del agua de lluvia sobre el extiradero, la cual circula hacia el subsuelo teniendo contacto con los materiales de desecho ahí existentes. Los lixiviados aunque van sufriendo diferentes procesos y un filtrado a través de las arenas y arcillas, llegan a contaminar parte del acuífero, como se manifiesta en los Pozos Luis Méndez y Luis Rodríguez.

Las arcillas que forman un acuitardo, permiten el paso lento de los lixiviados al acuífero, debido a que la sobreexplotación del acuífero ha disminuido las presiones hidráulicas en los aluviones y abatido el nivel piezométrico, permitiendo el flujo del acuitardo por gravedad, hacia el acuífero.

Se hace notar que en esta región, se han detectado fracturas en el subsuelo, las que podrían constituir canales de flujo preferente y rápido de agua, de la superficie al acuífero.

Los Pozos Santa Cruz Meyehualco 1 y 2, se encuentran "aguas arriba" (del flujo subterráneo) del extiradero y sin embargo, presentan agua de mala calidad, lo que sugiere la existencia de antiguos basureros diseminados en toda esta zona.

MEDIDAS DE SANEAMIENTO

Se han localizado sitios apropiados para la perforación de pozos, cuya operación captaría la mayor parte del contaminante del subsuelo. El agua con contaminantes así extraída, podría utilizarse para el riego de las zonas verdes que se están construyendo sobre el extiradero. Estudios experimentales (Subdirección de Desarrollo, D.G.C.O.H.) han demostrado la factibilidad del aprovechamiento de dichas aguas en el riego de pastos.

3. SECCION NAPOLES

GEOLOGIA

La mayor parte del subsuelo se encuentra constituido por materiales aluviales tales como arenas arcillas y gravas, en ocasiones incluyendo tobas; en general se considera que presentan una permeabilidad media. Llegan a incluir horizontes de materiales piroclásticos y derrames lávicos de composición tanto basáltica como andesítica.

Cubriendo a la mayor parte de la sección y con un espesor aparentemente de 20 metros, se encuentra una capa de materiales arcillosos originados

por el antiguo Lago de México. Estas arcillas presentan de reducida a nula permeabilidad. (Figura 3.)

GEOHIDROLOGIA

El flujo subterráneo se establece de oeste a este, prácticamente paralelo al trazo de la sección. El nivel del agua se encuentra a una profundidad del orden de 50 metros en la parte baja y de 120 metros hacia el poniente.

En los rellenos aluviales se consideró un espesor saturado de 200 metros; se midió un gradiente que varía de 0.014 a 0.0038; una transmisibilidad de $0.01 \text{ m}^2/\text{seg}$; una permeabilidad de $5 \times 10^{-5} \text{ m/seg}$ y se calculó una velocidad de flujo la cual resultó muy baja debido, entre otras cosas, al bajo gradiente, dicha velocidad varía de 6 a 22 metros por año.

A las arcillas que se encuentran en espesores reducidos de aproximadamente 20 metros, se les consideró un gradiente muy alto, del orden de 0.2, con el objeto de determinar la velocidad con que percola el agua hacia el subsuelo. La transmisibilidad asignada a estos materiales fue de $5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$; la permeabilidad resultante fue de $2.5 \times 10^{-8} \text{ m/seg}$ y la velocidad de circulación es de casi 0.16 metros por año.

MECANISMOS DE CONTAMINACION

En la porción occidental o sea en las estribaciones de la Sierra de Las Cruces, se llegan a encontrar basureros y zonas sin drenaje, que constituyen un potencial contaminador al acuífero, sin embargo, los pozos ubicados hacia el valle no han presentado indicios claros de contaminación, lo cual aparentemente es ocasionado por el filtrado natural que recibe el agua en su trayectoria entre la superficie del terreno y el nivel estático.

4. SECCION PLANTA DE ASFALTO-KOTEPINGO

GEOLOGIA

El subsuelo de esta región (Figura 4) está constituido por materiales basálticos y piroclásticos de alta permeabilidad; algunos horizontes arcillosos de reducida a nula permeabilidad y materiales aluviales de permeabilidad media.

Los materiales piroclásticos y en especial los derrames lávicos de alta permeabilidad, se encuentran en una capa de aproximadamente 25 metros de espesor, cubriendo la denominada Zona de Los Pedregales, ubicada entre Tlalpan y Coyoacán. Bajo estos materiales, a profundidades del orden de 25 metros, se encuentran materiales granulares tales como arenas, gravas y arcillas en las que se presenta el acuífero regional.

En el área de Xotepingo, el subsuelo se encuentra constituido por una alternancia de derrames basálticos de alta permeabilidad y rellenos aluviales de permeabilidad media, entre los cuales

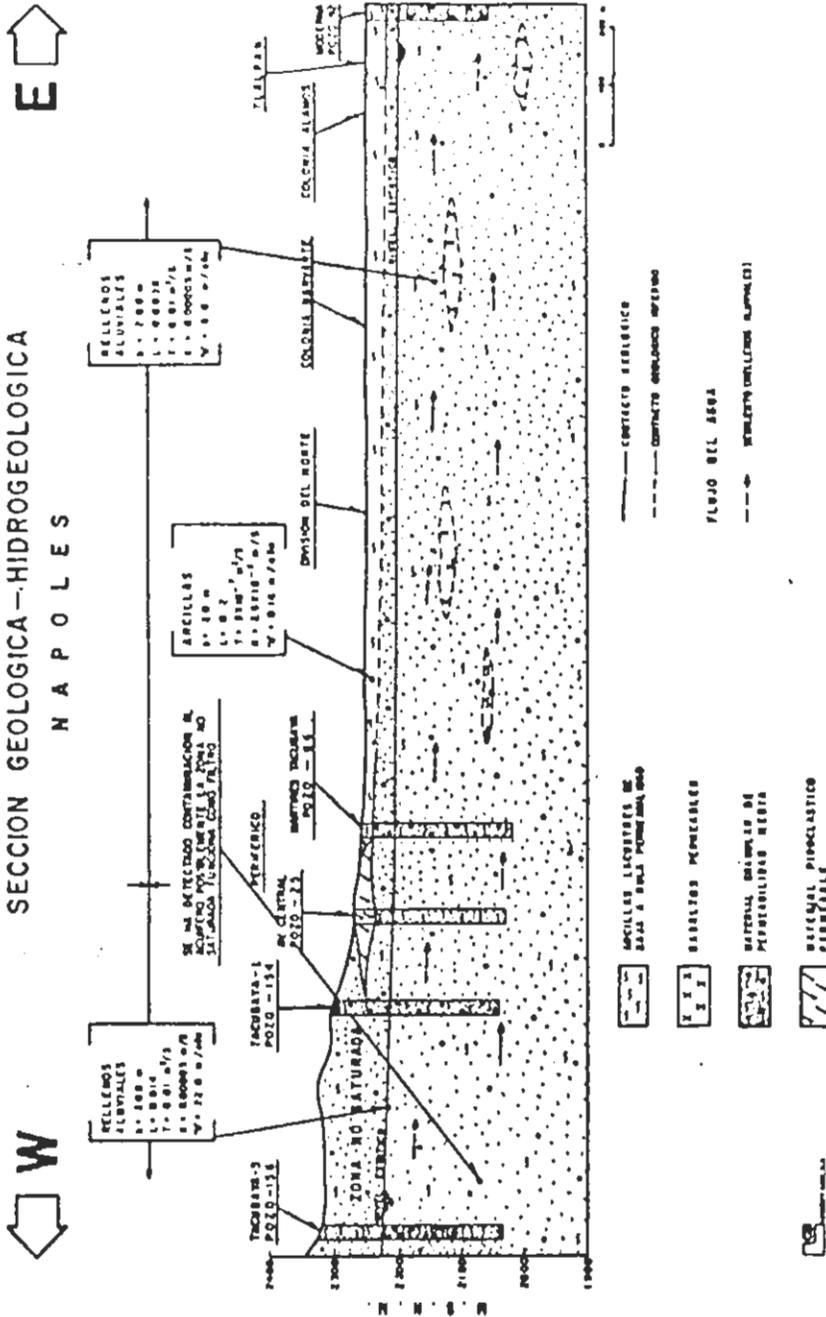


FIGURA Nº 3

← SW SECCION GEOLOGICA-HIDROGEOLOGICA NE →
 PLANTA DE ASFALTO-XOTEPINGO

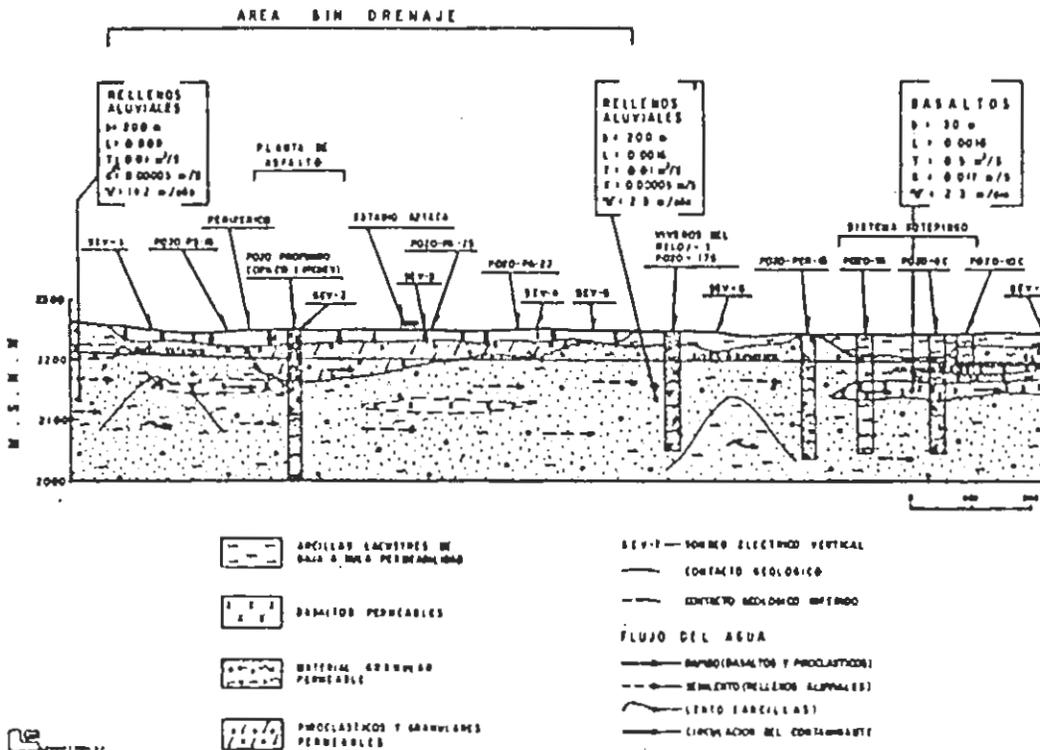


FIGURA Nº 4

predominan los segundos.

GEOHIDROLOGIA

El flujo subterráneo se establece del suroeste - al noreste, sensiblemente paralelo a la orientación de la sección. El nivel del agua se encuentra a profundidades que varían de 45 metros en la zona de Xotepingo a 100 metros hacia el suroeste. Los materiales aluviales tienen un espesor saturado de aproximadamente 200 metros; presentan un gradiente que varía de 0.009 en las estribaciones de la sierra a 0.0016 rumbo al valle. La transmisibilidad para este material es de 0.01 m²/seg y la permeabilidad fue de 5×10^{-5} m/seg, de donde se deduce una velocidad de circulación que varía de 2.5 a 14.2 metros por año y la cual está influida además de la transmisibilidad, por el gradiente hidráulico, por lo que será mayor - hacia las estribaciones de la sierra y menor rumbo al valle.

Por lo que se refiere a los basaltos y materiales piroclásticos, a éstos se les encuentran en un espesor de alrededor de 30 metros en la zona de Xotepingo; el gradiente es de 0.0016; la transmisibilidad de los basaltos se consideró de 0.5 m²/seg con lo que se obtuvo una permeabilidad de 0.017 m/seg y una velocidad de circulación de 2.3 metros por día.

MECANISMOS DE CONTAMINACION

En la Zona de Los Pedregales que atraviesa esta sección, no existe drenaje. Las casas habitación existentes incluyen fosas sépticas construidas en basaltos de alta permeabilidad; el drenaje pluvial se efectúa a través de pozos de absorción en los mismos materiales. Por ello, era de esperarse una alta contaminación al acuífero, - sin embargo, el drenaje circula bajo los basaltos a través de una capa de materiales granulares que le sirven como filtro natural, eliminando, hasta la fecha, la contaminación al acuífero. En pozos ubicados dentro de esta zona, no ha sido detectada la presencia de elementos contaminantes.

5. SECCION XOCHIMILCO

GEOLOGIA

La porción suroccidental de la sección corresponde a la estribación de la Sierra del Chichinautzin la que está constituida por basaltos y materiales piroclásticos de alta permeabilidad, en los que la infiltración es tan alta que prácticamente no existe escorrentía superficial. Pozos perforados en este tipo de rocas han alcanzado - más de 200 metros de profundidad. Geológicamente se considera que el espesor de los basaltos en la sierra puede alcanzar varios cientos de metros.

En la zona del valle se encuentran materiales granulares entre los que predominan los finos hacia la superficie; estos corresponden a arcillas lacustres producto de la sedimentación en el antiguo

Lago de Xochimilco. Las arcillas tienen un espesor de hasta 60 metros y se encuentran cubriendo a los materiales granulares; corresponden a arenas, arcillas y gravas que presentan una permeabilidad media. A la altura del Pozo Noria 5, se detectó en la superficie una fractura que podría corresponder a una falla, inferida también por la variación litológica tan notable que presentan los Pozos Noria 5 y Noria 2. Estas fracturas o fallas podrían corresponder a zonas de flujo preferente de agua subterránea.

En la parte central de la sección, a la altura de los Pozos Noria 1 y 2, se encuentran rocas an desíticas constituyendo parte del subsuelo. Estos materiales se consideran de una permeabilidad media. (Figura 5.)

GEOHIDROLOGIA

El flujo subterráneo se establece del SSW al NNE paralela a la orientación de la sección. La profundidad del agua va de alrededor de 20 metros en la zona plana alrededor de los Pozos Noria, a más de 100 metros a la altura del Reclusorio - Sur.

Los basaltos y materiales piroclásticos tienen un gran espesor, sin embargo, la porción saturada que se consideró para los cálculos del presente trabajo fue de 50 metros. El gradiente hidráulico en la parte alta es de 0.019; la transmisibilidad de 0.5 m²/seg; la permeabilidad de 0.01 m/seg y la velocidad del flujo de 15 metros por día.

Por lo que se refiere a los rellenos aluviales, se consideró un espesor acuífero saturado de 200 metros, con un gradiente de 0.004, una transmisibilidad de 0.012 m²/seg, una permeabilidad de 6.0×10^{-5} m/seg y una velocidad de circulación de flujo subterráneo de 7.6 metros por año.

Las andesitas detectadas a la altura de los Pozos Noria, tiene una permeabilidad media. Los valores adoptados para esta roca fueron: un espesor de 100 metros, un gradiente de 0.01, una transmisibilidad de 0.3 m²/seg, una permeabilidad de 0.003 m/seg y una velocidad de flujo de 2.6 metros por día.

Los materiales arcillosos que se encuentran en el área de Xochimilco tienen un espesor de alrededor de 60 metros. Con objeto de cálculo se consideró un gradiente alto que permita al agua percolar o infiltrarse a mayor profundidad, por lo que el valor asignado fue de 0.2. La transmisibilidad es de 5×10^{-7} m²/seg; la permeabilidad de 8.3×10^{-9} m/seg y la velocidad de circulación resultó de 0.05 metros por año.

MECANISMOS DE CONTAMINACION

La principal fuente de contaminación en esta región se ubica al pie de la sierra, donde existen rocas de alta permeabilidad a través de las cuales se infiltra tanto el agua de lluvia como el agua de drenaje de los poblados ahí existentes, incorporándose prácticamente cruda al acuífero.

Por lo que respecta a los Pozos Noria, éstos -

reportan ligera contaminación bacteriana. En la zona de Xochimilco, la infiltración del agua de las chinampas a través de los materiales arcillosos es muy lenta, sin embargo, se han encontrado grietas superficiales a través de las cuales posiblemente exista un flujo preferente de agua hacia el subsuelo.

MEDIDAS DE SANEAMIENTO

La zona de mayor problema de contaminación corresponde a las estribaciones de la Sierra de Chichinautzín donde los materiales de alta permeabilidad permiten la infiltración de agua de drenaje prácticamente cruda, que se incorpora y contamina al acuífero. Programas elaborados por el D.D.F. (D.G.C.O.H.) presentan alternativas de saneamiento mediante construcción de drenaje.

CONCLUSIONES

- Para los propósitos del presente trabajo, se agruparon los materiales que constituyen el subsuelo en tres grupos: Basaltos y piroclásticos; rellenos aluviales y arcillas lacustres.
- Los basaltos y piroclásticos permiten el libre flujo del agua a través de ellos. Su transmisibilidad es de $0.5 \text{ m}^2/\text{seg}$; su espesor varía de 30 a 150 metros; su permeabilidad va de 0.0016 a $0.027 \text{ m}/\text{seg}$; el gradiente hidráulico fluctúa entre 0.003 a 0.008 y la velocidad del flujo subterráneo va de 2.3 a 16.4 metros por día.
- La contaminación del acuífero es más notable en donde existen basaltos y piroclásticos, ya que por su alta permeabilidad permiten el paso del agua superficial contaminada, que prácticamente cruda se incorpora al acuífero.
- Las zonas con mayor contaminación potencial en la Ciudad de México, corresponden al pie de la Sierra del Chichinautzín, y en menor proporción los afloramientos de rocas volcánicas de la Sierra de Santa Catarina y el Cerro de La Estrella.
- Los rellenos aluviales (gravas, arenas y arcillas), tienen una permeabilidad media. Su transmisibilidad varía de 0.01 a $0.012 \text{ m}^2/\text{seg}$; el gradiente hidráulico fluctúa de 0.0016 a 0.01 ; el espesor acuífero asignado va de 80 a 200 metros y la velocidad de flujo varía de 2.5 a 39.4 metros por año.
- En los rellenos aluviales que forman la mayor parte del acuífero de la ciudad, el agua al circular por el subsuelo recibe un filtrado natural que aunado a la disolución con el agua del acuífero, disminuye el grado de contaminación.
- Las arcillas lacustres se encuentran cubriendo la mayor parte del valle. Corresponden a sedimentos de los antiguos lagos del Valle de México y tienen espesores que varían de 15 a 60 me

tros. Su permeabilidad es muy baja, casi nula, se le asignaron valores de transmisibilidad de $5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{seg}$; el gradiente hidráulico es de 0.002 aunque en la zona no saturada se adoptó un valor de 0.2 ; la velocidad máxima de circulación del agua en las arcillas es de 0.2 metros por año.

- Las arcillas lacustres al encontrarse cubriendo a la mayor parte del acuífero dentro de la parte baja del Valle de México, previenen la contaminación, ya que el paso del agua a través de ellas es muy lento. Además, las arcillas sirven de filtro natural para un cierto porcentaje de contaminantes.

- Existen grietas entre las arcillas lacustres, a través de las cuales se infiltra agua al acuífero a través de la capa arcillosa.

- Grietas de este tipo han sido detectadas en los alrededores de Xochimilco y en la Zona Oriental, incluyendo una que atraviesa el extiradero de Santa Cruz Meyhualco.

REFERENCIAS

Departamento del Distrito Federal, 1986. Evaluación del Comportamiento Hidrogeoquímico del Acuífero del Valle de México. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. para la Subdirección de Desarrollo de la D.G.C.O.H.

Departamento del Distrito Federal, 1986. Actividades Geohidrológicas en el Valle de México para localizar sitios y estructuras para recarga artificial de aguas tratadas. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A., para la Subdirección de Programación de la D.G.C.O.H.

Departamento del Distrito Federal, 1987. Estudios Experimentales para Prevenir y Controlar la Contaminación del Acuífero de la Ciudad de México. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A. para la Subdirección de Desarrollo de la D.G.C.O.H.

Departamento del Distrito Federal, 1987. Geohidrología del Valle de México. Elaborado por Lesser y Asociados, S. A., para la Subdirección de Programación de la D.G.C.O.H.