

18
2ej-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ZARAGOZA"

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FISICO Y
QUIMICO DEL CROMO EN AGUAS PROFUNDAS
DEL MUNICIPIO DE TULTITLAN, EDO. DE MEX.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
B I O L O G O
P R E S E N T A :

JOSE ANTONIO MIRANDA HERNANDEZ

Asesor: M. en C. Margarita E. Gutiérrez Ruiz



México, D. F.

1992



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.

RESUMEN

En el municipio de Tultitlán, Estado de México, se detectó a partir de 1975 un problema de contaminación de aguas subterráneas por cromatos, provenientes de la lixiviación de desechos del proceso de producción (depositados a cielo abierto), que por la acción de las lluvias se solubilizan y contaminan los acuíferos del área. En 1982, estos desechos se colocaron en un confinamiento industrial (cementerio) de paredes de concreto y recubrimiento de asfalto para tratar de eliminar la contaminación. Debido a fallas en su construcción, este depósito presenta hundimientos, baches y bufamientos, que aceleran el proceso de infiltración del contaminante hacia el subsuelo.

Este trabajo se realizó para establecer la magnitud de la contaminación, especialmente para determinar el área afectada y los niveles de cromo hexavalente (cromatos) en aguas profundas. Para lo cual, se llevaron a cabo análisis químicos de muestras de aguas de pozos de la zona, seleccionados mediante procesos estadísticos. Este estudio también contempla el tratamiento estadístico de los datos y el análisis piezométrico del área, basado en los datos hidrogeológicos disponibles para esta zona.

De acuerdo con la investigación realizada se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El área contaminada se encuentra muy localizada hacia el Oeste del cementerio y abarca un círculo de aproximadamente 1.2 Km de diámetro, esta distribución está determinada fundamentalmente por la intensidad de extracción del agua en los pozos de la zona.
- El cementerio constituye la fuente de contaminación, según las evidencias encontradas en los análisis químicos y piezométricos
- El grado de contaminación en la mayoría de los pozos cercanos al Oeste del cementerio sobrepasa el límite sanitario, por lo que su uso debe restringirse para fines industriales.
- La medida más adecuada para resolver el problema, la conforma la estabilización del material del cementerio, mediante la reducción del cromo hexavalente soluble a especies de cromo trivalente estables termodinámicamente e insolubles, utilizando métodos que no solubilizan a otros metales potencialmente tóxicos presentes en los desechos, tales como el aluminio. De esta manera se asegura que el material estabilizado no represente ningún peligro para la vida(*).

(*) Durante las siguientes etapas del proyecto se desarrolló la tecnología de estabilización. El proyecto global recibió el primer lugar en investigación del premio Nacional Serfin El Medio Ambiente.

I N D I C E

C A P I T U L O	PAGINA
1.- INTRODUCCION.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación y objetivos.....	6
2.- UNIVERSO DE ESTUDIO.....	8
2.1 Características Generales.....	8
2.2 Características del medio natural.....	10
3.- MARCO TEORICO.....	14
3.1 Generalidades del cromo.....	14
3.2 Aspectos biológicos y geoquímicos.....	15
3.2.1 Estado natural y ciclo biogeoquímico.....	15
3.2.2 Comportamiento del cromo en el suelo.....	18
3.2.3 Comportamiento del cromo en agua.....	21
3.3. Toxicidad.....	24
3.3.1 Factores relacionados con la toxicidad.....	24
3.3.2 Función y toxicidad del cromo.....	28
3.3.3 Niveles "naturales".....	38
3.3.4 Límites.....	40
4.- PLANEACION.....	45
4.1 Metodología y descripción de actividades.....	45
4.2 Descripción del muestreo.....	45
4.3 Métodos y Técnicas.....	50

4.3.1	Fundamentos de las técnicas para análisis de cromo.	50
4.3.2	Colecta y conservación de muestras.....	56
4.3.3	Descripción de técnicas para la determinación de CROMO.....	56
4.3.4	Otras técnicas analíticas utilizadas.....	59
5.-	RESULTADOS Y DISCUSION.....	61
5.1	Análisis Químicos.....	61
5.2	Análisis Piezométrico.....	65
6.-	CONCLUSIONES.....	73
	REFERENCIAS.....	74
	APENDICE.....	79
	TABLAS Y FIGURAS.....	85

1.- INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema¹

En el año 1958 se establece la empresa Cromatos de México en Lechería, municipio de Tultitlán, Estado de México. Esta planta daba empleo a 160 trabajadores y producía diariamente 12 toneladas de cromato de sodio, 1 tonelada de cromato de potasio y casi 8 toneladas de sulfato de sodio. Aunque en el documento consultado no se especificaba, se presupone que se debieron haber producido dicromatos en cantidades proporcionales a las de sulfato, ya que este último es un subproducto del proceso de obtención de esas sales.

La producción se realizaba a cielo abierto, sin control sobre las emisiones de polvos, las descargas de agua residual y la disposición de los residuos sólidos. Su eficiencia era muy baja, no se recirculaba el material residual y, consecuentemente, se incrementaba la cantidad de desechos por tonelada de producto y el contenido de cromo de los mismos (las condiciones que imperaban en ese momento en el país, industrialización incipiente sin ningún criterio de optimización y el bajo costo del material explican esta situación).

¹ Datos tomados de informes de diversas dependencias públicas involucradas en la evaluación del problema, que actualmente pertenecen a SEDUE y CINADI (algunos son anónimos). Los entrecomillados corresponden a citas textuales de los oficios originales.

Durante los primeros 10 años de funcionamiento de la fábrica, se depositaron los residuos del proceso en cualquier lugar disponible de los alrededores y simultáneamente se ofrecieron, por su apariencia de grava, como material de relleno. Por ignorancia, los vecinos y autoridades locales lo recibieron con beneplácito y permitieron que se depositara en múltiples calles y depresiones.

Principalmente se rellenaron las calles de las colonias Lechería y Recursos Hidráulicos, los desniveles adyacentes a la carretera México Cuautitlán, las vías del ferrocarril a Pachuca a la altura de Lechería y la actual vía López Portillo² (fig. 2). Es factible que también se haya depositado material, aunque en menor cantidad, en muchos otros sitios análogos.

Con el paso del tiempo, muchos de estos lugares han sido modificados y se han recubierto con otros materiales, entre ellos, con pavimento; pero los sitios cercanos a las vías férreas se han conservado sin cambios observables.

² Información proporcionada por vecinos y ex-trabajadores de Cromatos de México.

Los habitantes de la zona, afectados por las emanaciones de las chimeneas de la fábrica de Cromatos, por residuos transportados por el viento y que vivían en áreas rellenas, empezaron a notar que el "agua amarilla" producto de la disolución del polvo contaminante causaba la muerte de animales domésticos. Adicionalmente, en los obreros de Cromatos se presentaban casos de enfermedades respiratorias que iban desde simples irritaciones hasta daños serios al tabique nasal.³

La escuela "La Reforma" planeada y construída por los vecinos con trabajo y recursos propios, estaba situada junto a la fábrica (desde antes de 1958), por lo que los padres de familia temerosos de los riesgos, solicitaron a varias instituciones, entre ellas la Universidad Nacional Autónoma de México y a los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI), elaboraran un dictamen acerca del grado de contaminación a que se encontraba expuesta la población de dicha colonia, en especial la escolar.

A partir del año de 1975, se iniciaron múltiples reclamaciones de los afectados. Al aparecer en la prensa los resultados de la investigación realizada en la UNAM, el problema trascendió y se volvió del conocimiento público.

³ Datos obtenidos por comunicación verbal con ex-trabajadores de Cromatos.

Después de un largo proceso, se logró en 1978 la clausura definitiva de la fábrica, el traslado a los terrenos de Cromatos de parte del relleno usado en la nivelación de las calles de la colonia Lechería y, finalmente, la construcción de un confinamiento industrial (cementerio), que se terminó en 1982 y se inauguró en 1983. En este depósito se almacenaron las 75,000 toneladas dispuestas a la intemperie en los terrenos de la planta.⁴

El cementerio industrial es una construcción realizada en forma de caja rectangular, cuyas paredes son muros de concreto reforzado, colado en el sitio y cuya tapa es de pavimento. Los residuos reposan directamente sobre el suelo natural, sin ningún sistema aparente para recuperar los líquidos, bajo el residuo o por los muros de contención. El residuo se encuentra mezclado con material de aportación de un banco de tepetate cercano (Tristán, 1984).

El confinamiento posee una base de 20 cm de tepetate compactado y se tendió en el mismo una carpeta de concreto asfáltico sobre los desechos. El material se compactó aplicando técnicas inadecuadas, ya que debió haberse comprimido reduciendo su contenido de agua y no mojándolo como en realidad se hizo, desde su construcción "se observaron bufamientos, baches y afloramientos del material de desecho, que se corrigieron sobre la marcha, pero este

⁴ Datos obtenidos del discurso de inauguración del cementerio.

fenómeno de asentamientos continuó y sigue presentándose a la fecha" (Tristán, 1984).

A pesar de las continuas y costosas reparaciones a que está sometida la carpeta asfáltica, los hundimientos, desniveles y perforaciones (sondeos efectuados posteriormente en el cementerio) provocan filtraciones. A simple vista es posible observar la lixiviación superficial del cromo soluble.

Existe, además la posibilidad de que se hayan contaminado directamente los acuíferos, por descargas accidentales de aguas residuales, a través del pozo de la fábrica. Cabe aclarar que únicamente se ha tenido información verbal de este hecho, a través de conversaciones con empleados de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y Altos Hornos de México (AHMSA).

1.2 Justificación y Objetivos.

Con el objeto de complementar la información existente sobre el contenido de cromo en aguas profundas, pero sobre todo de definir la magnitud del problema y proponer soluciones viables, se realizó un estudio multidisciplinario que abarca diferentes áreas⁵.

Esta tesis corresponde al estudio de las aguas profundas y cumple con los siguientes objetivos:

Objetivo general:

- Definición del área contaminada por cromatos en los mantos acuíferos de Tultitlán y determinación del grado de contaminación de los mismos.

Objetivos específicos:

- Determinación de Cr(VI) y Cr total en muestras de aguas profundas.
- Determinación de parámetros complementarios en muestras de aguas profundas (pH, conductividad eléctrica, Sodio, Manganeseo, Hierro total).

⁵ Participaron el Instituto de Geografía y la Facultad de Química. Fue coordinado por la M. en C. Margarita Gutiérrez y los principales colaboradores fueron: En Geografía ambiental el M. en G. Gerardo Bocco y en Química ambiental la Dra. Silvia Castillo.

- Búsqueda de datos geofísicos auxiliares para la interpretación de resultados.
- Proposición de soluciones viables o en su caso estudios complementarios.

2.- UNIVERSO DE ESTUDIO

2.1 Características generales.

La zona en estudio se localiza en la parte oeste de Tultitlán, que es uno de los once municipios del estado de México que forman parte de la zona metropolitana de la Ciudad de México (figs. 1 y 2).

Históricamente agropecuario, Tultitlán comienza a manifestar un crecimiento notable en su población a partir de la década de los cincuenta -la población pasó de 9,237 habitantes en 1950 a 136,829 habitantes en 1980- (S.P.P. X Censo General de Población y Vivienda, 1984), que acompaña a un acelerado desarrollo industrial y urbano. En consecuencia, se originan intensos cambios en el uso del suelo y una disminución de las actividades primarias.

Actualmente el municipio presenta una típica fisonomía urbana industrial, con una gran concentración de vías de comunicación locales y regionales, núcleos urbanos y fraccionamientos. Quedan aún, sin embargo, resabios de la explotación agropecuaria; básicamente algunos ejidos y ranchos lecheros (Valverde et al., 1980).

Este crecimiento no ha sido resultado de una verdadera planeación del uso del espacio; por el contrario, presenta

características anárquicas y serios problemas sociales y de alteración al medio natural.

Las colonias más importantes localizadas en el área de estudios son Lechería (también conocida como San Francisco Chilpa, Lechería, posiblemente por la cercanía entre las dos localidades) y Recursos Hidráulicos. La primera es una antigua estación de ferrocarril y establecimiento ganadero, que se convirtió en zona urbana e industrial, con una alta cantidad de fábricas.

Está constituida por unas 12 manzanas que, en su mayoría, están dotadas de servicios y cuentan con calles pavimentadas a base de concreto. La mayor parte de sus moradores son obreros de las fábricas vecinas y, en menor medida, comerciantes y empleados. No se aprecian rasgos importantes de hábitos rurales y sus habitantes han logrado organizar, por lo menos, dos asociaciones vecinales para defender sus derechos.

La colonia recibe directamente el impacto de la contaminación por automotores e industrias. Los suelos, en gran parte vertisoles (S.P.P. 1982), están alterados y se observa que parcelas anteriormente dedicadas a la agricultura hoy se encuentran ociosas, básicamente por el desecamiento de las norias y el actual valor comercial de los terrenos.

Las instalaciones que ocupaba la fábrica Cromatos de México, S.A. forman parte de esta colonia y están situadas en la calle de Francisco I. Madero No. 30.

La colonia Recursos Hidráulicos, localizada a unos 500 m al noreste de la anterior, es ligeramente más pequeña y más reciente. No está provista de servicios, muchos lotes están baldíos, las calles no están asfaltadas y varias industrias coexisten con las casas habitación. Su apariencia es más rural que la anterior y está habitada por personas de menores recursos económicos (fig. 2).

Las industrias radicadas en la zona de estudio representan el 66.7% del total del municipio. De ellas, 25% son químicas, 16% metalúrgicas, otro 16% dedicadas a productos minerales no metálicos y el resto se clasifica en diversos rubros secundarios (Valverde et al., 1980).

2.2 Características del medio natural.

La zona en estudio está ubicada a la salida de un pequeño valle dispuesto de sur a norte, entre las localidades de Labor y La Quebrada, mismo que ocupa la porción sur del denominado Valle de Cuautitlán. Se trata de

una antigua cuenca lacustre cuaternaria que forma parte de la cuenca de México (fig. 3).

El valle de Cuautitlán es una "depresión relativa" de una altitud media aproximada de 2245 m, de relieve plano, flanqueado por la Sierra de Guadalupe, al sur, y por el piedemonte de la Sierra de Monte Alto y Monte Bajo, al occidente. Al norte, la continuidad de la planicie se ve interrumpida por el lomerío basáltico de Tultepec, probablemente una isla durante la duración del lacustre pleistocénico (Gutiérrez et al., 1986).

La planicie muestra una pendiente general menor de 0.5%, y está ligeramente inclinada de oeste a este. Su origen se remonta a los acontecimientos tectónicos y volcánicos que dieron lugar a la cuenca de México, donde se generaron ambientes lacustres vinculados a diversos tipos de vulcanismo activo (Gutiérrez et al., 1986).

Las condiciones anteriores permitieron la acumulación de algunos centenares de metros de sedimentos arcillosos lagunares interestratificados con depósitos de arenas y gravas provenientes del acarreo fluvial de las laderas vecinas, así como arenas y lavas volcánicas. Estas características litológicas del sustrato de la planicie son determinantes para la hidrología superficial y subterránea de la zona (fig. 4).

El contacto entre la llanura y las montañas es brusco, y se da aproximadamente en la cota de 2,250 metros sobre el nivel del mar, donde se produce una ruptura de pendiente importante (Valverde et al., 1980). Las corrientes de agua superficial bajan en gran número, pero con escaso caudal, desde las porciones montañosas elevadas hacia la depresión, con rumbo oeste a este y de sur a norte. Estas corrientes son estacionales, tienen sus cabeceras en las sierras vecinas y tendían a inundar la planicie lacustre donde desaguaban; posteriormente han sido canalizadas con fines de riego (Gutiérrez et al., 1986).

Estos cursos de agua aportan los materiales de acarreo ya mencionados y tienden a formar un incipiente piedemonte acumulativo, mediante abanicos aluviales que hoy sobreyacen a los depósitos lacustres.

En términos evolutivos, la secuencia de depósitos de estos aluviones era controlada principalmente por los avances y retrocesos de las antiguas riberas lacustres. El o los lagos, por su parte, fueron responsables de la presencia de los gruesos espesores de arcillas, básicamente montmorilloníticas (Gutiérrez et al., 1986).

En esta zona la vegetación natural ha sido paulatinamente reemplazada, inicialmente por campos de cultivos y, actualmente, por urbanizaciones y fábricas.

Quedan como vestigios algunas especies arbóreas como *Prunus persica* (durazno), *Erythrina americana* (colorín) y *Schinus molle* (pirú), además de *Ligustrum lucidum* (trueno) en el estrato arbustivo (Rosas et al., 1977) y una gran cantidad de malezas circundantes.

El clima es templado con lluvias en verano (Cw, según la clasificación de Köppen) (García, 1973). Varía gradualmente desde las montañas del occidente, donde hay mayores precipitaciones, hacia la planicie, más seca.

3.- MARCO TEORICO

3.1 Generalidades del cromo.

El cromo es un metal de transición que ocupa el lugar número 21, en orden de abundancia, dentro de la corteza terrestre. Su número atómico es 24 (peso molecular: 51.996) y pertenece al grupo VI A de la Tabla Periódica, al igual que el molibdeno y el wolframio (Kirk & Othmer, 1979, p.54).

El estado de oxidación más estable e importante del cromo es el $3^+(d^3)$. Los estados de oxidación más bajos son reductores muy enérgicos, como es el caso del Cr(II) y especies del Cr(IV) y Cr(V) que se forman únicamente como intermediarios transitorios en la reducción del Cr(VI), se trata de estados de oxidación que no poseen compuestos estables en solución acuosa porque se desproporcionan a Cr(III) y Cr(VI). Este último, que es el estado de oxidación más alto del cromo, sólo existe en oxoespecies como CrO_3 , CrO_4^{2-} , $HCrO_4^-$, $Cr_2O_7^{2-}$ y CrO_2F_2 y es fuertemente oxidante (Cotton y Wilkinson, 1988 p. 851).

En el cuadro 1 se presentan las propiedades físicas más importantes del metal en cuestión.

El descubrimiento del cromo como elemento se debe al investigador francés Vauquelin, quien en 1798 trabajó con el mineral llamado crocofta ($PbCrO_4$) del cual aisló el metal.

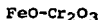
Le dio el nombre *chrome*, que proviene del griego *chroma* y que significa color, por la amplia variedad de brillantes colores que presentan sus compuestos (Kirk & Othmer, 1979 p. 54).

En el cuadro 2 se presentan datos comparativos de las cantidades de los diversos compuestos de cromo usados en los Estados Unidos en 1975, por rama industrial, como un indicador de las principales fuentes de aprovechamiento de este metal.

3.2 Aspectos biológicos y geoquímicos.

3.2.1 Estado natural y ciclo biogeoquímico.

La principal fuente de obtención del cromo es el mineral "cromita", que es una espinela que contiene Cr(III) en los huecos octaédricos y Fe(II) en los tetraédricos, se representa mediante la siguiente fórmula:



la relación Cr/Fe puede variar considerablemente.

Los depósitos de cromo proceden de rocas ultrabásicas, básicas y de los productos de su metamorfismo, como es el caso de la serpentinita. Las rocas, a su vez, provienen de los primeros componentes solidificados del magma fundido y

el cromo se incorpora por sustituciones isomórficas del hierro y magnesio, lo que explica que los depósitos de este elemento se encuentren donde hay minerales ferromagnesianos tales como la olivina y el piroxeno (Kirk & Othmer, 1979, Aubert & Pinta, 1980).

En forma general, se puede decir que el cromo en la naturaleza se va a encontrar preferentemente en el estado de oxidación (III), ya que forma compuestos muy estables e insolubles, sea desde el punto de vista cinético o termodinámico. En cambio, los compuestos de Cr (VI) son menos abundantes pues, en general, son muy solubles y reactivos. Sin embargo, cabe aclarar que el Cr (VI) forma con los cationes de plata, bario y plomo sales insolubles y que el cromato de plomo (crocoíta) es un mineral relativamente abundante.

Generalmente se considera que las concentraciones "naturales" u "originales" de cromo en el ambiente son aquellas que resultan de procesos que no involucran actividad humana como, por ejemplo, el cromo presente en suelos serpentiniticos y el cromo acumulado por plantas y animales de manera natural. En cambio si la presencia de cromo está relacionada, aunque sea indirectamente, con la actividad humana, ya se considera que se han alterado las condiciones naturales. Este es el caso del cromo lixiviado por el agua desde una mina en desuso, pues aun cuando el

proceso de lavado es común dentro de la naturaleza, en este caso el hombre ha modificado el "estado" natural de los minerales, concentrando artificialmente al elemento. Debido a la alteración que la actividad humana ha ejercido sobre el medio natural, actualmente es muy difícil conocer los niveles originales de cromo en el ambiente. Para tener un indicador relativamente aproximado de los niveles originales de cromo y, a pesar de la variabilidad que naturalmente presentan las diferentes regiones, se realizan determinaciones muy precisas de las cantidades de cromo en la biósfera en localidades remotas y alejadas de la actividad industrial.

Cabe aclarar que no debe asumirse que los niveles de cromo naturales siempre son inofensivos y que todas las concentraciones de cromo relacionadas con la actividad humana son dañinas. El factor determinante que se debe considerar es la disponibilidad de los compuestos químicos del cromo para concentrarse en los organismos vivientes más allá de los niveles permisibles (ver sección 3.3).

La Fig. 5 ilustra la información disponible sobre el ciclo biogeoquímico del cromo. Algunas de las cantidades o tasas de flujo no han podido ser determinadas y, otras, son sólo valores aproximados, en tal forma que estas estimaciones pueden variar por un factor de 5 a 10 (NRCC, 1976, pp. 32-50).

3.2.2 Comportamiento del cromo en el suelo.

Suelos no contaminados (Fig. 6):

El suelo es un material sumamente complejo en el que coexisten los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso, en un equilibrio dinámico que permite que se encuentren disponibles, en concentraciones adecuadas, los elementos esenciales para la vida.

Los niveles de estos elementos en el suelo están relacionados principalmente con la composición de la roca madre, y su disponibilidad está controlada por factores fisicoquímicos como el pH y las condiciones óxido-reductoras.

El cromo es un elemento que normalmente se presenta en el suelo en su estado de oxidación (III), que es el más estable. La solubilidad de sus compuestos depende de la acidez del medio; a pH mayor de 5 va a estar preferentemente como óxido de cromo Cr_2O_3 , que es un compuesto muy insoluble, en un amplio intervalo de pH, mientras que en un medio más ácido, con valores de pH aproximadamente menores a 5 se empieza a solubilizar como $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Mayores datos sobre la solubilidad de las especies de cromo, están informados por Deltombe, E. et al. 1963.

Adicionalmente y dependiendo de las condiciones específicas y composición del suelo, el cromo puede estar coordinado a moléculas orgánicas, formando compuestos que se denominan quelatos, los cuales de acuerdo a sus características específicas pueden ser solubles o insolubles; o puede ocurrir que el cromo esté adsorbido en posiciones de intercambio.

Resumiendo la información anterior se puede afirmar que, el cromo (III) en un suelo muy ácido va, al menos parcialmente, a permanecer soluble como $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ y/o puede estar adsorbido o quelatado. Como naturalmente la mayoría de los suelos no presentan un pH muy ácido, sino que son ligeramente ácidos, neutros o básicos, en un medio no alterado, el cromo principalmente va a formar óxidos insolubles ($\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), aunque como en el caso anterior también una pequeña parte puede estar quelatado u ocupando posiciones de intercambio.

Hasta este momento la evidencia indica que la oxidación de cromo trivalente a hexavalente en el suelo es muy improbable, aunque algunos investigadores afirman que sí se realiza (Bartlett et al. 1976a y Bartlett et al. 1979). Este proceso puede ser favorecido por la presencia en suelos de altos contenidos de sustancias oxidantes y un medio muy

básico, condiciones drásticas poco usuales en un medio natural.

Suelos contaminados (Fig. 7):

En casos excepcionales, generalmente relacionados con la acción del hombre sobre su ambiente, se encuentra Cr (VI) en cantidades apreciables en el suelo. En este estado de oxidación el cromo es muy oxidante, por lo que tenderá a reaccionar con cualquier material disponible que pueda donarle electrones, como son la materia orgánica, el hierro II, etc. Aunque para que la reacción se realice, el medio debe ser ácido. Sin embargo en suelos muy ricos en materia orgánica se ha informado que aun en condiciones de neutralidad el cromo VI se reduce a III, parece que es un efecto de los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en la materia orgánica que originalmente fué vegetal (Bartlett et al. 1976b). Sin embargo, estos resultados han sido rebatidos por lo que se requiere mayor investigación al respecto (Bloomfield & Pruden, 1980).

En suelos básicos ricos en carbonatos y con bajo contenido de humus, el cromo permanece como cromo (VI), específicamente en forma de cromato CrO_4^{2-} soluble y de color amarillo⁶.

⁶ El Cromo (VI) se encuentra en medio básico como CrO_4^{2-} y en un ambiente ácido como $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

La presencia de carbonatos y material amorfo dificulta la reducción del Cr (VI). Los amorfos además, disminuyen su solubilidad, ya que favorecen los procesos de adsorción química.

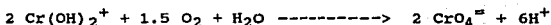
Por lo tanto y en forma resumida se puede decir que:

- El Cr (VI) en un suelo ácido reaccionará rápidamente, con cualquier sustancia oxidable y se reduce a cromo (III), el cual en medio neutro o básico forma el Cr_2O_3 insoluble.
- El Cr (VI) en suelos básicos, permanece en ese estado de oxidación en forma de cromatos solubles (fig. 6).
- el Cr (VI) en suelos neutros puede reducirse a Cr (III) o permanecer como Cr(VI), dependiendo de las condiciones específicas, básicamente de la materia orgánica.

3.2.3 Comportamiento del cromo en agua.

El estado de oxidación del cromo en el agua depende de las condiciones físico-químicas presentes, entre las cuales es la acidez, posiblemente, la más importante (Fig. 8).

En el intervalo de pH de 6.5 a 8.5 el cromo se presentará en el estado de oxidación VI, como ión cromato (CrO_4^{2-}). La reacción de oxidación del cromo (III) es la siguiente (Schroeder & Lee, 1975):



La constante de equilibrio de esta reacción, a pH=7 y presión de oxígeno de +0.21 atm., es igual a 7×10^{15} y el $\Delta G = -12.7$ Kcal/mol; estos datos indican que en las condiciones normales del agua natural, la especie termodinámicamente estable es el Cr (VI). Este hecho no invalida que puedan existir compuestos de cromo (III), ya que en general son cinéticamente estables; es decir, se transforman en cromo (VI), pero tan lentamente que para propósitos prácticos no es importante.

Los compuestos de Cr(III) son insolubles a pH básico pero cuando se coordinan con ligantes orgánicos de bajo peso molecular, pueden formar complejos cinéticamente estables y solubles inclusive en condiciones básicas.

En el intervalo normal de pH del agua (5-8) el cromo (VI) es soluble, y el Cr (III) se encuentra insoluble, y preferentemente está depositado en los sedimentos; si el pH disminuye (aguas ácidas) el cromo (III) se transforma en especies solubles, que a su vez pueden, bajo condiciones específicas oxidarse a compuestos de cromo (VI). Este hecho

ha obligado a considerar que los límites de peligrosidad se deben definir en términos de cromo total, y en función del pH del agua. Sin embargo, cabe aclarar que la probabilidad de que el cromo (III) soluble se transforme en cromo (VI) es baja, ya que el oxígeno y el manganeso (IV) lo oxidan muy lentamente y la reacción es inhibida por otros componentes del agua natural (Fig. 8).

Un agua neutra o básica contaminada con cromo (VI), difícilmente se autopurifica, ya que el elemento tiende a permanecer soluble y, muy probablemente, no se reduce a cromo (III). Las sustancias que facilitan este proceso son los sulfuros disueltos y ciertos compuestos orgánicos que contienen grupos sulfhidrilos; sin embargo, el oxígeno que es muy abundante en aguas naturales lo inhibe.

3.3 Toxicidad

Antes de analizar en forma específica la toxicidad del cromo, se considera necesario tratar de una manera general algunos de los aspectos más importantes relacionados con este fenómeno, tales como la disponibilidad, la concentración y la respuesta individual.

3.3.1 Factores relacionados con la toxicidad.

Disponibilidad. Este concepto se refiere a la posibilidad que tiene el elemento para introducirse al organismo e integrarse a sus procesos internos. La contaminación de los organismos superiores está relacionada con la presencia de agentes tóxicos en los alimentos, el agua y el aire, ya que las tres vías por las que puede un agente tóxico penetrar son el aparato respiratorio, el tracto gastrointestinal y la piel.

La posibilidad de que el elemento esté presente en el aire, agua y alimentos, depende principalmente de las características químicas y físicas de sus compuestos, pues se requiere de la presencia en el ambiente de sustancias solubles o gaseosas relativamente estables, que puedan introducirse en los organismos directamente o por bioacumulación a través de la cadena alimentaria. Un mismo elemento puede presentar diferentes grados de disponibilidad

ya que forma compuestos con muy diferentes propiedades como solubilidad, capacidad oxidante, etc.

A los compuestos que se encuentran en el ambiente en formas gaseosas o solubles se les considera "de alta disponibilidad", mientras que a los compuestos sólidos e insolubles, se les califica en general como de "baja disponibilidad", ya que únicamente pueden introducirse en un organismo al transportarse por el aire y ser inhalados, o al ingerirlos con los alimentos o el agua contaminados con polvo. La gravedad del efecto queda supeditada al tamaño de las partículas que conforman al sólido, y a la reactividad que presente la sustancia dentro del organismo. Se ha informado que las partículas mayores de 2 micrómetros quedan retenidas y no entran al pulmón, mientras que si son más pequeñas penetran dentro del sistema respiratorio (Natusch y Wallace, 1974 tomado de NRCC 1976, p. 94). Sin embargo parece ser que las partículas extremadamente finas no son retenidas por el organismo sino que se exhalan (Rosas Pérez I. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM comunicación personal). Adicionalmente hay que considerar que la reactividad de un elemento que se introduce en un organismo como un compuesto inorgánico, parece ser menor que cuando lo hace como un compuesto de naturaleza orgánica. Si la sustancia es suficientemente inactiva casi no se absorbe y en su mayor parte se desecha. Se ha informado que en un experimento aproximadamente 0.5% de una dosis oral de

cloruro de cromo (III) fué absorbida por el hombre y del 2 al 3% por ratas (NRCC, 1976 p. 99).

Además, ciertas sustancias sólidas, especialmente las que presentan propiedades corrosivas, al ser depositadas sobre la piel o en el tracto respiratorio, pueden dañar en una forma directa. Cabe aclarar que algunas de estas sustancias pueden distribuirse, desde la piel o el aparato respiratorio, a otras partes del organismo y causar más problemas.

Concentración y respuesta individual. Se ha confirmado que aun elementos considerados no peligrosos, en concentraciones muy altas pueden causar diversos daños a los seres vivos. Hay una relación muy directa entre la concentración y disponibilidad de un elemento, y su peligrosidad.

Se ha observado que los elementos que en un ambiente no alterado se encuentran en altas concentraciones y en formas disponibles, en general no son dañinos. En cambio, los elementos tradicionalmente no disponibles, ya sea por encontrarse en la naturaleza formando compuestos muy insolubles o por ser poco abundantes, cuando se introducen en los organismos por encima de una concentración límite, son tóxicos.

En estos últimos años se ha demostrado que muchos elementos que tradicionalmente eran considerados tóxicos, en muy pequeñas dosis son esenciales, ya que participan en procesos enzimáticos. Sin embargo, cuando aumenta su concentración, o cambia su estado de oxidación y consecuentemente sus propiedades, pueden interferir con los procesos esenciales y dañar a los seres vivos.

El efecto tóxico de los elementos inorgánicos está relacionado con uno de los siguientes mecanismos: bloqueo de un grupo funcional esencial, desplazamiento del ion metálico esencial o modificación de la conformación activa de una biomolécula (Gutiérrez-Ruiz, 1982 p.3).

Cuando un elemento tóxico es absorbido por un organismo empiezan a funcionar los mecanismos de defensa y eliminación; por ejemplo, los árboles pierden las hojas y los mamíferos el pelo. Algunos elementos se transponen (translocan) más fácilmente y son más rápidamente desechados, mientras otros, menos móviles, se eliminan con mayor dificultad.

El límite en el que un elemento empieza a dañar a un organismo no es fijo, depende de las características de cada individuo y de las de la especie. Se han encontrado diferencias notables en especímenes semejantes; por ejemplo, parece ser que el sexo, la edad y la herencia son, entre

otros, factores determinantes (comunicación personal con la Dra. Fortoull, Facultad de Medicina, UNAM).

Los valores informados como niveles máximos permisibles se basan en estudios epidemiológicos y de laboratorio, en los que se utilizan técnicas estadísticas para el manejo de los datos, por lo que están sujetos a cambios constantes, dependiendo de la cantidad y calidad de la información que se está produciendo.

3.3.2 Función y toxicidad del cromo.

Al cromo generalmente se le clasifica como un elemento benéfico, o sea que ayuda al crecimiento y a la reproducción de los seres vivos; pero cuya ausencia parece no producir ningún efecto negativo. Los requerimientos diarios de este elemento se encuentran dentro del intervalo de 50 a 200 microgramos diarios (Mertz, 1979, tomado de EPA, 1979, p. C-47). Otros investigadores lo consideran como un elemento esencial, especialmente para organismos superiores, pero explican que como los requerimientos son muy bajos, estos pueden ser satisfechos con las reservas propias de los organismos o con las ínfimas cantidades presentes en forma natural en el ambiente.

Incluso EPA 1979, p C-4 puntualiza que, como la dieta de los estadounidenses es potencialmente deficiente en cromo, un incremento artificial en la absorción de este elemento puede ser benéfico. Pero es necesario recordar que en exceso, la mayoría de los elementos esenciales son tóxicos y el Cr III no es la excepción. Los problemas serios de toxicidad asociados con la exposición al cromo, están siempre relacionados a la contaminación que produce la industria.

De los dos estados de oxidación más comunes del cromo, III y VI, el segundo no ha probado tener ninguna función vital, de modo que se asume que la forma trivalente es la biológicamente activa (Villalobos-Pietrini, 1977).

En el caso de las plantas, todavía no se cuenta con la suficiente evidencia como para considerar que el cromo es un elemento esencial, los efectos benéficos que han informado diferentes autores, de la adición de sales de cromo a los cultivos pueden estar relacionados a efectos indirectos de control de plagas. Sin embargo el efecto tóxico del cromo para las plantas ha sido suficientemente demostrado.

La deficiencia de Cr III, produce diferentes síntomas. Como este elemento forma un compuesto de coordinación con algunos aminoácidos y el ácido nicotínico, que funciona como factor de tolerancia a la glucosa, su deficiencia se asocia

con problemas en la asimilación de este compuesto . Se ha observado un síndrome parecido a la diabetes en ratas deficientes en cromo (Mertz et al. 1965). Cuando la cantidad disponible es menor de 0.1 ppm, se produce dilatación de los vasos sanguíneos, neovascularización y opacidad en la córnea, en uno o en ambos ojos de las ratas (Roginski y Mertz, 1967, tomado de Villalobos-Pietrini, 1977). En ciertas regiones de la U.R.S.S., es posible que la conspicua presencia de bocio endémico, sea causada por la deficiencia alimentaria de cromo, yodo, cobalto y estroncio (Sshalaev, 1960, tomado de Villalobos-Pietrini, 1977).

El cromo VI interactúa con el material biológico, pero nunca con efectos benéficos (Mertz, 1969). Las propiedades oxidantes del Cr VI y su alta movilidad, lo hacen muy peligroso para los organismos vivos aun a niveles muy bajos de concentración. Cuando el cromo VI, que es un poderoso agente oxidante especialmente en medio ácido, es ingerido por organismos superiores, puede reducirse en el estómago a Cr III y ser desechado en su mayor parte a través del intestino, donde el medio básico favorece su precipitación y dificulta su absorción, no obstante Mackenzie et al. 1958, observaron que las ratas que ingerían cloruro de Cr III y cromato de potasio, absorbían nueve veces más de Cr VI que del trivalente.

Si el Cr VI se difunde en los tejidos de cualquier organismo , puede reaccionar transformándose a Cr III y unirse simultáneamente a moléculas biológicas muy importantes, que como consecuencia pierden sus funciones normales. La interacción más conocida del cromo con una molécula biológica es el enlace cruzado de moléculas de colágeno a través de sus grupos carboxílicos laterales (Mertz 1969 y Hörmann, 1974) en la curtiduría del cuero.

El Cr III en solución forma muchos complejos hexacoordinados con grupos carboxílicos de proteínas, o metabolitos más pequeños; ciertos aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleoproteínas. Además forma enlaces sumamente estables con ADN y ARN. Las evidencias encontradas hasta la fecha, indican que el cromo es carcinogénico y mutagénico (EPA 1979, p. C-47 y C-48). Su actividad como agente teratogénico todavía no ha podido ser demostrada.

A diferencia del Cr III que se forma a nivel celular, el presente en la naturaleza, en la mayoría de las ocasiones no es peligroso , ya que sus compuestos a los pH y en las concentraciones normalmente existentes en el ambiente, son muy insolubles y además se sabe que su permeabilidad en las membranas de las células vivas es muy baja. No obstante cabe aclarar que, en casos extremos de contaminación en que se hayan alterado las condiciones normales, especialmente el pH, el Cr III puede estar soluble y causar toxicidad.

Todos los compuestos de cromo producen daños severos a la piel, sin embargo la absorción de Cr VI es mayor que la de Cr III , pero una vez dentro del organismo la distribución de ambos es similar. Como es de esperarse, el cromo hexavalente produce efectos tóxicos a dosis menores que el trivalente. Para evaluar el riesgo a nivel individual de cualquiera de las formas químicas del cromo, hay que considerar factores diversos, como son entre otros, la cantidad de grasa que tiene la piel, la frecuencia de la exposición y la disponibilidad de los compuestos.

A continuación se describen algunos mecanismos de disponibilidad y los principales síntomas de toxicidad del cromo, en diversos organismos.

Plantas. Como se dijo anteriormente, el grado de afección del cromo depende de la especie vegetal y de la disponibilidad del elemento, la cual está relacionada principalmente con las siguientes propiedades del suelo: el pH, condiciones óxido-reductoras y cantidad de materia orgánica.

El Cr III es poco soluble a pH mayor de 4, por lo que en las condiciones de acidez que prevalecen en la mayoría de los suelos (5-8.5), su disponibilidad para las plantas es muy baja. Hay evidencias claras de que el cromo III no se

acumula a través de la cadena alimentaria, debido principalmente a la insolubilidad de sus compuestos naturales lo que impide la transposición del suelo a la planta y a los animales. Inclusive fallaron experimentos en los cuales se buscaba artificialmente la acumulación del cromo en las plantas. En cambio el Cr VI, bajo las mismas condiciones es soluble y por lo tanto puede viajar en la solución del suelo hacia las plantas (ver sección 3.2.2). En la zona de las raíces, el cromo se reduce a su estado de oxidación trivalente y se precipita sobre éstas, por lo que, consecuentemente se observa la interrupción del crecimiento de las plantas, hojas enrolladas y descoloridas y sistemas radiculares pobremente desarrollados. En algunos cultivos se observa necrosis foliar.

Adicionalmente cabe la posibilidad de que a través del aire se deposite polvo rico en cromo, directamente sobre las hojas. En este caso y en la acumulación en las raíces hay que considerar el problema de que estas partes de las plantas sean ingeridas como alimento por animales o el hombre. El problema de toxicidad dependerá de los factores mencionados en el inciso 3.3.1.

Hunter y Vergnano 1953, en Chapman 1965, informan que cuando se añadió 5-10 ppm de cromato de potasio a las soluciones nutritivas, se presentaba clorosis y con mayores cantidades los síntomas específicos anteriormente descritos.

Microorganismos. Las cantidades que estos seres requieren de cromo III para satisfacer sus requerimientos son del orden de milésimas de ppm, por lo tanto, niveles más altos de cromo, especialmente hexavalente, en un medio acuoso de crecimiento, si no hay suficiente concentración de ligantes que reduzcan su disponibilidad, pueden ser letales (Villalobos-Pietrini, 1977). Se han observado serios problemas en plantas biológicas de tratamiento de aguas negras, donde por la presencia de Cr VI, disminuye drásticamente la concentración de microorganismos degradadores (Gutiérrez-Ruiz y Muñiz, 1988).

También se ha informado que el Cr VI presente en suelos disminuye la presencia de bacterias nitrificantes; Venitt & Levy, 1974 demostraron los efectos mutagénicos en *E. coli*.

Organismos acuáticos. El cromo trivalente es substancialmente más tóxico para la vida acuática en aguas blándas que en duras, mientras que en el caso de contaminación con Cr VI, estas condiciones no son determinantes ya que independientemente del pH sus compuestos son muy solubles. No obstante, se han observado diferencias entre el efecto del ion dicromato y el cromato, a pesar de que ambos iones contienen cromo en su estado de oxidación hexavalente. Trama y Benoit, 1960; encontraron que este último era más tóxico que el primero y lo atribuyen a la mayor acidez del ion cromato que favorece su acción

tóxica (el potencial de oxidación del cromo VI es mayor a pH ácido). Trabalka y Gehrs, 1977 estudiaron la toxicidad crónica del Cr VI en *Daphnia magna* y demostraron que, aun en concentraciones tan bajas como 10 µg/L, este elemento tiene un efecto significativo sobre la longevidad y la fecundidad de la especie.

Analizando los resultados de diversos investigadores (EPA, 1979) es posible concluir que el cromo VI afecta seriamente el crecimiento de los peces . También algunas especies de algas son sensibles al efecto del cromo, especialmente se ha observado una reducción en su crecimiento y en el proceso de la fotosíntesis. En caso de que el cromo se acumule en peces y otros organismos marinos que sirvan de alimento a otras especies, puede introducirse este elemento en la cadena alimentaria (Galvao y Corey, 1987 p.13).

Mamíferos y humanos. Como ya se comentó, la vía más expedita y fácil de ingreso del cromo a organismos superiores es la respiratoria. Se observaron los siguientes síntomas en ratas que habían inhalado cromo: la proliferación del epitelio bronquial, el crecimiento papilar en los bronquios, la bronquitis crónica y la neumonía . Al absorberlo vía intra-traqueal, los ratones y las ratas presentaron ulceraciones de la porción superior del aparato respiratorio, bronquitis, enfisema pulmonar y fibrosis. Cuando los gatos inhalan 8 mg. de cromato por litro de aire, durante tres horas diarias,

por cinco días, se presentan efectos cáusticos sobre la membrana mucosa del septo nasal, lesiones bronquiales y muerte por las lesiones pulmonares inducidas por el tratamiento (Villalobos-Pietrini, 1977)

La absorción por vía digestiva es muy baja, como ya se dijo, ya que aproximadamente se absorbe el 6% de lo ingerido (Galvao y Corey 1987, p.13). Por ejemplo Villalobos-Pietrini (1977), cita un trabajo de Ivankovic y Preussmann realizado en 1975, en el que comentan que habiendo agregado óxido de cromo VI, en proporción del 2 al 5 % a alimentos de ratas, no se observaron síntomas de toxicidad. No se presentaron tumores, su fertilidad fué normal, tampoco se identificaron malformaciones en su descendencia y no se observó reducción de su promedio de vida. No obstante, Villalobos-Pietrini también cita a Schroeder y Michener 1971, quienes demostraron que el añadir 5 ppm de cromo VI al agua que consumen los ratones, desde su nacimiento hasta su muerte, produce tumores malignos.

No se ha demostrado que la absorción a través de la piel sea significativa, no obstante en algunos experimentos que se han llevado a cabo con cromo 51, se ha encontrado que en parte se absorbe el cromo, el cual se deposita en el bazo, el hígado y los riñones. La absorción de Cr VI es mayor que de III, pero los patrones de distribución internos son similares. En humanos se han informado ulceraciones con más

frecuencia que envenenamientos. El cromo III por su baja absorción produce reacciones alérgicas en personas sensibles.

La excreción del cromo se realiza rápidamente, la vida media varía entre 12 horas y 83 días. Los principales medios de eliminación son la orina y las heces, pero el mecanismo es desconocido.

Para el ser humano, la máxima cantidad de cromo en el organismo ocurre durante el desarrollo embrionario. Una vez terminado ese período, la concentración disminuye hasta el alumbramiento, este fenómeno indica un transporte de cromo de la madre al embrión.

Comúnmente las repercusiones de toxicidad más agudas del cromo para el humano, se presentan en los obreros de las fábricas de cromatos, o en casos aislados, en sujetos que han estado expuestos accidentalmente a concentraciones muy altas de este elemento. Al igual que en las ratas los humanos cuando inhalan vapores de ácido crómico presentan ulceraciones de la mucosa de la nariz y perforación del septo nasal. Bidstrup en NRCC 1976, informó que además del daño en la mucosa nasal, se observó en los obreros irritación y enrojecimiento de la garganta y espasmos bronquiales. Se sabe también que los operarios tienen 15

veces más posibilidades que el resto de la población de sufrir cáncer pulmonar.

En 1951, Davids y Lieber informaron que una familia consumió durante tres años agua contaminada con cromo hexavalente, en concentraciones de 1-25 ppm, y ninguno de sus miembros presentó efectos deletéreos. En 1963 se realizó un experimento con un voluntario, que utilizó como única fuente de líquido durante 15 días, una solución de 10 ppm de cromo VI. En ese período de tiempo presentó náuseas en tres ocasiones; cuando se alargó el experimento por 14 días más, disminuyendo en primer término la concentración de cromo VI a 5 ppm y posteriormente a 2.5 ppm, no se observaron síntomas adicionales y sólo experimentó náuseas, cuando bebía la solución con el estómago vacío.

Aunque no existe un agente terapéutico totalmente eficaz en el caso de toxicidad por cromo, el ácido ascórbico conforma un eficaz medio para disminuir los efectos de este elemento. La aplicación del fármaco a tiempo evita en gran parte complicaciones posteriores. Para mayores datos se puede consultar a Galvao y Corey 1987, pp.15-17.

3.3.3. Niveles "naturales"

Niveles presentes en la atmósfera La concentración promedio de cromo contenido en el aire del área urbana de los Estados Unidos de América, está entre 0.002 y 0.02 microgramos por metro cúbico (Mertz, 1969, Sullivan 1969). En cambio, NRCC 1976, ha informado un intervalo de 0.01 a 0.06. Los niveles originales en la atmósfera han sido estimados en 0.001 microgramos por metro cúbico.

Niveles naturales en el agua El cromo en su estado de oxidación trivalente puede encontrarse por razones naturales en aguas y sedimentos, especialmente en zonas ricas en minerales de cromo y rocas serpentínicas, pero no hay datos sobre los valores promedios. Tampoco se ha informado de depósitos naturales de cromo hexavalente, pues aunque en condiciones oxidantes el cromo III puede pasar a Cr VI, la cinética de esta reacción es sumamente lenta y la probabilidad de que ocurra es muy baja.

Niveles naturales en suelos El cromo se encuentra en todas las rocas de la corteza terrestre, las concentraciones varían de 20 a 40 ppm en rocas eruptivas ácidas y de 2000 a 3000 ppm en rocas ultrabásicas, especialmente en serpentinitas. El cromo total contenido en los suelos fluctúa de 3000 a 4000 ppm, con un valor medio de 100 a 300 ppm. Esos valores corresponden a las rocas del material parental del cual derivan los suelos. De estas cantidades sólo del 0.1 al 1% están en formas disponibles. Como es de

esperarse, con base en sus propiedades oxidantes, no hay ningún estudio que informe de la presencia natural de sales solubles de cromo VI en suelos (Aubert & Pinta, 1977).

Niveles naturales en plantas. La concentraciones encontradas en tejidos vegetales oscilan entre 0.01 y 1 ppm. Y los niveles en los alimentos de origen vegetal están entre 0.05 y 0.1 ppm. Como el cromo se acumula en las raíces, los niveles encontrados en ellas son mucho más altos. Los análisis efectuados en raíces de tabaco cultivado en suelos serpentínicos dan un valor promedio de 13 ppm y un valor máximo de 175 (Chapman 1965, p. 137).

Niveles naturales en animales. En los tejidos de ratas silvestres se han encontrado pequeñas cantidades de cromo (0.05 a 0.65 ppm), especialmente se encuentran acumuladas en el bazo. Los niveles son muy similares a los detectados en ratas de laboratorio.

Niveles naturales en el hombre. Las cantidades promedio en la sangre son del orden de 0.05 a 0.16 ppm, mientras que en la orina estos valores son de aproximadamente 3.5 ppm. Las concentraciones medias en el pelo oscilan entre 0.2 y 2.81 ppm (Villalobos-Pietrini, 1977).

3.3.4. Límites (Galvao y Corey, 1987, p 21, 22 y 35).

Valores umbrales límites. Se refieren a la concentración de sustancias químicas en el aire de los lugares de trabajo, por debajo de cuyo valor casi todos los trabajadores pueden estar expuestos periódicamente sin presentar efectos adversos. Estos valores han sido establecidos en diversos países para unos 500 compuestos y en la mayoría han sido legislados. No obstante los criterios para definir estos valores son muy variables y cambian de un país a otro, consecuentemente la nomenclatura es diferente y se utilizan diversos términos equivalentes; entre ellos los más conocidos son, el "valor umbral límite" (TLV siglas en inglés) y la "concentración máxima permisible" (MAC).

Los límites se fijan con base en experimentos efectuados con animales de laboratorio y en algunos casos con estudios epidemiológicos realizados con trabajadores expuestos ocupacionalmente a un determinado agente tóxico.

Al fijar un límite se toman en cuenta las diferentes fuentes de exposición y la suma total de las cantidades con que cada una de éstas contribuye en la cantidad final absorbida por el organismo; sin embargo, el establecimiento de un valor límite no implica que concentraciones menores a la cantidad fijada no produzcan efectos adversos, únicamente debe considerarse como una referencia y complementarse con base en la experiencia. En la práctica estos límites están siendo

revisados continuamente y los valores tienden a descender progresivamente.

Generalmente en la bibliografía se informan tres tipos de valores umbrales límites, que son:

TWA. Este valor se define como la concentración media del compuesto para una jornada de 8 horas diarias, en que el valor promediado de todas las mediciones no debe sobrepasar este TLV-TWA.

VALOR TECHO. Es un valor máximo que nunca debe ser sobrepasado durante la jornada de trabajo.

STEL. Corresponde a un valor intermedio de los dos señalados anteriormente, al cual, los trabajadores pueden estar expuestos por períodos que no excedan de 15 minutos por hora, 4 veces al día y con un mínimo de 60 minutos entre cada exposición.

Límites ocupacionales para compuestos de cromo solubles.

-TWA: 0.5 mg/m^3 (Occupational Safety and Health Administration, USA)

-TWA: 0.025 mg/m^3 (National Institute for Occupational Safety and Health, CDC, USA)

- VALOR TECHO, para compuestos de cromo hexavalente no carcinogénicos: 0.050 mg/m^3 , (National Institute for Occupational Safety and Health, CDC, USA).
- VALOR TECHO, para compuestos de cromo hexavalente carcinogénicos: $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (National Institute for Occupational Safety and Health, CDC, USA).
- STEL: 0.05 mg/m^3 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, USA)

Límites ocupacionales para cromo metálico y sus sales insolubles.

- TWA: 1 mg/m^3 (Occupational Safety and Health Administration, USA)

Límites ambientales (Galvao y Corey, 1987 p.21) (EPA, 1979).

Los límites ambientales se han establecido con base en las concentraciones que se han determinado en diversas partes del mundo y las cuales no han producido problemas en la salud de la población expuesta. Debido a que los estudios efectuados no son suficientes, se espera que estos límites se modificarán en el futuro.

AIRE URBANO: 50 ng/m^3

AGUA DE RIOS: Para Cr VI, se indica que el promedio de concentración durante 24 horas es de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y, en cualquier momento, la concentración no debe sobrepasar el valor de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para calcular la cantidad máxima promedio permitida de cromo III, con el fin de proteger la vida acuática, EPA 1979 recomienda utilizar las siguientes fórmulas:

$$\text{Cr promedio 24 horas} = e^{(0.83 \times \ln \text{ de la dureza} + 2.94)}.$$

en cualquier momento, la concentración de Cr III, no debe rebasar el valor:

$$\text{Cr instantáneo} = e^{(0.83 \times \ln \text{ de la dureza} + 3.72)}$$

AGUA POTABLE: $0.05 \text{ mg}/\text{L}$

ALIMENTOS: la ingesta diaria no debe exceder de $0.03\text{-}0.1 \text{ mg}/\text{día}$.

SUELO: no existe un límite preciso, para el cromo III pueden utilizarse los niveles naturales (Aubert & Pinta, 1980) y para el caso del cromo hexavalente conviene utilizar los límites señalados para el agua de río.

AGUA DE OCEANOS: $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.- PLANEACION

4.1 Metodología y descripción de actividades

Para definir la metodología y actividades que permitieron evaluar la naturaleza y magnitud de la contaminación, se consideraron los siguientes aspectos:

- Propiedades físicas y químicas del cromo.
- Peligrosidad del cromo.
- Cantidad presente del elemento contaminante en las aguas subterráneas.
- Características hidrológicas y geológicas de la zona contaminada.
- Características socio-económicas de la población afectada.

En la figura 9 aparece descrita, diagramáticamente, la metodología seguida.

4.2 Descripción del muestreo.

Para estratificar los pozos se consideraron, básicamente, tres características⁷:

7. Para más datos consultar Ducoing y Trejo (1987).

1. Distancia al cementerio.
2. Orientación de los flujos principales del escurrimiento subterráneo (de occidente a oriente).
3. El tipo de suelos.

De acuerdo con las posibilidades de acceso a los pozos, se seleccionaron 35 que pertenecen a la Comisión de Aguas del Valle de México (CAVM) dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (fig. 10) y a industrias particulares cercanas a la fuente contaminante.

Los pozos de CAVM se encuentran ubicados en dos zonas geográficas diferentes y, consecuentemente, en dos estratos distintos. El primero quedó constituido por los catorce pozos más cercanos a la ex fábrica de cromatos, ubicados en paralelo a la vía del ferrocarril a Pachuca, y pertenecen al ramal Ferrocarril- Los Reyes (FC). El segundo estrato se formó con los ocho pozos más cercanos del ramal Teoloyucan (T), ubicado entre la autopista México-Querétaro y la vía del ferrocarril a Tula (Cuadro 3).

La distribución de la muestra en los estratos fué proporcional al número de pozos que conforman los ramales. El tamaño de la muestra para el ramal "F.C.-Los Reyes" fué

originalmente de nueve, pero posteriormente se decidió agregar el pozo 2 de la serie (no. 10 en la relación) que no quedó seleccionado en el proceso aleatorio, pero que es el más cercano al cementerio. Los pozos se listan a continuación con su número de control respectivo:

Pozos:	No. de Control
F.C.-Los Reyes # 15.....	1
F.C.-Los Reyes # 14.....	2
F.C.-Los Reyes # 12.....	3
F.C.-Los Reyes # 10.....	4
F.C.-Los Reyes # 9.....	5
F.C.-Los Reyes # 8.....	6
F.C.-Los Reyes # 6.....	7
F.C.-Los Reyes # 4.....	8
F.C.-Los Reyes # 3.....	9
F.C.-Los Reyes # 2.....	10

Para el ramal Teoloyucan el tamaño de muestra fué de cinco:

Pozos:	No. de control
Teoloyucan # 6.....	14
Teoloyucan # 5.....	15
Teoloyucan # 4.....	16
Teoloyucan # 3.....	17

Teoloyucan # 2.....18

La selección de pozos en cada estrato se realizó con muestreo simple sin reemplazo.

Entre los pozos particulares de los cuales se obtuvo autorización de sus propietarios para ser muestreados, se seleccionaron los más cercanos a la explanta y algunos más alejados (veinte en total):

Pozos:	No. de control
Exhacienda Portales # 3.....	11
Exhacienda Portales # 2.....	12
Exhacienda Portales # 1.....	13
CAMESA # 2.....	19
CAMESA # 1.....	20
Fábrica Nal. de Vidrio (FANAL) # 2.....	21
Fábrica Nal. de Vidrio (FANAL) # 1.....	22
Bacardí (pozo único)	23
CONASUPO (pozo único)	24
Altos Hornos de México (AHMSA) # 1.....	25
Altos Hornos de México (AHMSA) # 2.....	26
Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 2.....	27
Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 1.....	28
Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 5.....	29
Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 8.....	30

Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 3.....	31
Comisión Federal de Electricidad (CFE) # 7.....	32
Good-Year-Oxo # 2.....	33
Good-Year-Oxo # 1.....	34
Good-Year-Oxo # 3.....	35

Los pozos de la CFE, de Bacardí, AHMSA, CONASUPO, Ex Hacienda Portales, Good-Year-Oxo y 4 pozos del estrato 1 (Ferrocarriil Los Reyes) se muestrearon una vez al mes durante doce meses (de noviembre-1984 a noviembre-1985) excepto el mes de mayo.

Los pozos del estrato 2 (Teoloyucan) CAMESA, FANAL y los 6 pozos restantes del estrato 1 se muestrearon una vez al mes durante 6 meses (de noviembre - 1984 a abril - 1985).

Los 35 pozos se muestrearon una vez al mes durante 6 meses. Posteriormente, y con base en los resultados obtenidos, se redujo el área de estudio y únicamente se continuó el muestreo mensual, durante seis meses más, en los 16 pozos más cercanos a la fuente contaminante. Adicionalmente se añadieron 3 pozos; pertenecientes a Lucava (No.Control 36) y Resistol 1 y 2 (#37 y #38 respectivamente), industrias ubicadas en la zona en la que los pozos dieron señales de cromo (Cuadro 3).

A petición de los vecinos se eligieron 6 pozos a juicio (Taller, Ejido, Polifox, Convento, Familia Barradas, Lechería), que solamente fueron muestreados una vez (enero-1985) .

4.3 Métodos y técnicas.

4.3.1 Fundamentos de las técnicas para análisis del cromo.

Existen diversas técnicas para analizar cromo que tienen distintas ventajas y requerimientos. La espectrofotometría visible y de absorción atómica se distinguen, relativamente, por su fácil preparación de la muestra, alta precisión y disponibilidad.

Los colorímetros y espectrofotómetros están considerados instrumentos analíticos bien calibrados. En un estudio en el que se analizaron 63 instrumentos diferentes se encontró que el 80% de ellos dio lecturas que diferían en 4% o menos (Vanderlinde et al. cit. en NRCC, 1976 p. 126).

Debido a estas ventajas, la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los E.U.A.), (APHA, AWWA y WPCF, 1981) designó al método espectrofotométrico con 1,5-difenilcarbazida como método estándar y es, además, ampliamente utilizado por una

gran cantidad de investigadores (Villalobos-Peñalosa, 1987a p. 23).

Complementariamente, se seleccionó para este estudio la espectrofometría de absorción atómica, ya que además de ser una técnica rápida y sensible, permite detectar todo el cromo presente en la solución, independientemente de su estado de oxidación, y es menos sensible a las interferencias.

Método espectrofotométrico⁸

Aunque el Cr(III) en solución acuosa es un complejo colorido, debido a la baja solubilidad de sus compuestos, los métodos colorimétricos normales sólo determinan Cr (VI) ya que los cromatos y dicromatos son muy solubles y presentan absorciones electrónicas en la región visible del espectro.

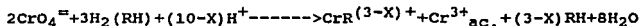
El Cr (VI) puede leerse directamente en concentraciones mayores de 1 ppm en medio alcalino y aproximadamente a 366 nm. En el caso que se quiera analizar Cr(III) puede realizarse una oxidación previa.

Un método que mejora la sensibilidad por casi un orden de magnitud, involucra la formación de un complejo violáceo

8. Este método comúnmente se le denomina colorimétrico.

Cr(VI)-difenilcarbazida. La difenilcarbazida (DFCI) es un reactivo orgánico que en medio ácido forma con el Cr (VI) un compuesto que absorbe a 540 nm , y permite detectar concentraciones de Cr(VI) mucho menores a 0.05 ppm, que es el límite sanitario permisible.

Las reacciones propuestas para la formación del complejo colorido son las siguientes: (Pflaum and Howick, 1956; Willems et al., 1977 y Villalobos-Peñalosa et al., 1987b).



$\text{H}_2\text{RH} = \text{DFCI} (\text{CON}_4\text{H}_4\text{O}_2)$

$\text{RH} = \text{DFCO} (\text{CON}_4\text{H}_4\text{O}_2)$

X = 1 o 2

DFCO = Difenilcarbazona

A pesar de que la reacción es casi específica, se han observado 3 tipos de interferencias: la causada por oxianiones que, en forma similar al Cr(VI), reaccionan con la DFCI; la de cationes metálicos hierro (3+), manganeso (2+), hierro (2+), cobre (2+) etc. que se coordinan directamente con la DFCI; y la DFCO; y, finalmente, la de sustancias oxidantes que transforman la DFCI en DFCO.

Cabe señalar que en aguas naturales, a excepción del hierro, comúnmente no se encuentran agentes interferentes.

El límite de detección calculado en el equipo que se utilizó en todos los análisis fue de 0.008 ppm. y las bandas de confianza aparecen descritas en la figura 11 (Villalobos-Peñalosa, 1987a, pp. 66,86).

Método de espectrofotometría de absorción atómica (Villalobos-Peñalosa, 1987a, pp. 23-25).

Los fundamentos de esta técnica son los mismos para todos los elementos; básicamente se cuantifica la absorbancia de los átomos en estado gaseoso, de un elemento a una longitud de onda específica que obedece la ley de Beer, en un rango de concentraciones, también específico para cada elemento, llamado intervalo lineal.

Esta especificidad tan grande hace que los efectos del medio en el que se encuentra dicho elemento, la matriz, disminuyan, ya que las interacciones químicas se dificultan, en forma que sólo matrices muy complejas o con interferencias químicas muy fuertes provocan problemas.

En consecuencia, la preparación de la muestra es simple y sólo se precisa, en caso de absorción por flama, tener al elemento por analizar en solución; esas son sus ventajas en el análisis de rutina. Al leer las absorbancias de las muestras es necesario ajustar el aparato a las condiciones óptimas de recepción de haz luminoso, por medio de la calibración con un patrón conocido; esto se logra ajustando tipo y posición de flama, flujo de combustible oxidante, alineación de la lámpara de cátodo hueco que emite la longitud de onda deseada, etc.

En gran parte de los espectrofotómetros modernos, cantidades de cromo menores a 10 ppm pueden determinarse aproximadamente a 358 nm. Los estándares empleados deben prepararse en un medio lo más semejante al que contiene al cromo, y el blanco debe ser similar o igual al medio, ajustando con éste el cero entre cada lectura de absorbancia (los aparatos de absorción atómica son mucho más inestables que los de ultravioleta-visible, lo que es producto de la flama y la posible ionización del elemento, además de los efectos de matriz e interferencias químicas señaladas).

Debido a que con este método se determina el cromo total presente, sin importar el estado de oxidación en que se encuentre, es recomendable que los estándares contengan el cromo en el mismo estado de oxidación que las muestras.

En la determinación de cromo por espectrometría de absorción atómica por flama existen interferencias químicas de varios elementos cuando éstos se encuentran en concentraciones mayores que las del cromo (Perkin-Elmer, 1977; Varian, 1979; Yanagisawa et al., 1970) como el Cu, Ba, Al, Mg y Ca que provocan un incremento en la señal, posiblemente al competir con el cromo en la formación de óxidos estables. El Ba, K, Sr, Zn y Sn producen una disminución en la absorbancia del cromo, quizá debido a la formación de óxidos mixtos; y el Fe, Mn y Na disminuyen la señal de Cr(III) pero no afectan la señal de Cr(VI) (a excepción del Fe que provoca un ligero aumento).

Este efecto puede disminuirse añadiendo cloruro de amonio a 1000 ppm en la solución final de estándares y muestras. La depresión de la señal del cromo por fosfatos se elimina agregando calcio (1000 ppm.). El uso de una flama óxido nitroso-acetileno reduce las interferencias debido a la alta temperatura que alcanza esta flama, aunque no mejora el límite de detección significativamente por encima de la flama aire-acetileno. Un límite de detección típico para la aspiración directa en flama aire-acetileno es de 0.01 ppm; en el caso del equipo utilizado el límite calculado fue de 0.09 ppm. y las bandas de confianza aparecen ilustradas en la figura 12 (Villalobos-Peñalosa, 1987 p. 34).

4.3.2 Colecta y conservación de muestras.

Se purgó la toma de agua de cada pozo durante cinco minutos, posteriormente se enjuagó el envase con agua del mismo pozo y se colectó, en botellas de polietileno, un litro de muestra. A la mayor parte de ésta, aproximadamente 900 ml, se le añadió el ácido nítrico concentrado necesario para obtener una concentración final 0.05-0.075 M y, así, evitar la precipitación de los iones metálicos; los 100 ml restantes se utilizaron para determinar pH, conductividad eléctrica y sodio.

En condiciones extremas en que no fue posible acidificar de inmediato las muestras se conservaron a 4°C, aproximadamente 24 h (Rodier, 1980, p.5)

4.3.3 Descripción de técnicas para la determinación de cromo.

Método espectrofotométrico seleccionado.

Reactivos: "Baker" grado analítico: dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$), ácido sulfúrico (H_2SO_4) conc. (98%) y 1,5 difenilcarbazida para análisis "MERCK":

Equipo: espectrofotómetro ZEISS modelo PM2K

Soluciones: Cr(VI) 100 ppm, del dicromato sólido; 1,5-difenilcarbazida (DFCI) 0.2% en acetona; ácido sulfúrico (H_2SO_4) 2.4N.

Procedimiento: Se preparó una curva estándar de las siguientes concentraciones (en ppm): 0.01, 0.05, 0.1 y 0.2; de estos patrones se tomó una alícuota de 10 ml (se procedió del mismo modo con las muestras), se agregó 1 ml. de H_2SO_4 1.2M y 1 ml. de difenilcarbazida al 0.02%; se agitó cada muestra, se dio un plazo de 5 minutos para el desarrollo del color, y se midieron inmediatamente los valores de las absorbancias en el espectrofotómetro a 540 nm. El cálculo de concentraciones se hizo por medio del método de regresión lineal simple.

En caso de valores muy altos de absorbancia que quedaran fuera del intervalo lineal, se realizaron las diluciones pertinentes en las muestras originales y se repitió el procedimiento.

Método de absorción atómica empleado.

Reactivos: "Baker" grado analítico: $K_2Cr_2O_7$, HNO_3 (65%).

Estándares: Solución madre de Cr(VI) 100 ppm. (0.28289 g de $K_2Cr_2O_7$ en 1000 ml de agua). De esta solución se prepararon patrones de 1,2,5 y 10 ppm. con un volumen final de 100 ml; de la última dilución (10 ppm.) se obtuvieron estándares de 0.2 y 0.5 al mismo volumen; se agragó a todas 1 ml. de HNO_3 7.5 M antes de aforar; las muestras se encontraban acidificadas a una concentración 0.075M de ácido nítrico. Se prepararon los patrones con el mismo grado de acidez.

Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Varian, modelo A440, bajo las siguientes condiciones:

Longitud de onda	357.9 nm
Amplitud de la banda de paso espectral	0.2 nm
Corriente de la lámpara	7.0 mA
Combustible	acetileno
Soporte	aire
Absorbancia óptima de 5 ppm. de Cr	0.3

Se leyó primero la curva estándar ajustando con un blanco consistente de una solución de HNO_3 0.075M a cero de absorbancia entre cada lectura. Posteriormente se leyeron las muestras calibrando a cero con el blanco y se volvió a leer la curva al final de las lecturas; estos datos se promediaron con los registrados al principio.

Los cálculos de concentraciones se efectuaron con base en la aplicación del modelo de regresión lineal simple.

4.3.4 Otras técnicas analíticas utilizadas.

Determinación del pH. (Rodier, 1980 pp. 47-51). Se realizó directamente en la muestra por el método electrométrico con un aparato CONDUCTRONIC modelo pH20 equipado con un electrodo SARGENT-WELCH 530072 y se calibró con una solución amortiguadora SIGMA pH=7.

Conductividad eléctrica. (Rodier, 1980, pp 51-59). Se determinó directamente en la muestra utilizando un conductivímetro Cole-Parmer 148100 el cual se ajustó con una solución 0.005 M de KCl (720 mmhos/cm) a 20 °C.

Determinación de sodio. (Rodier, 1980 pp. 235-237). Se cuantificó este elemento utilizando un fotómetro de flama CORNING modelo 400. El intervalo de concentraciones de los estándares de sodio fue de 1 a 10 ppm (factor de correlación en regresión lineal simple: 0.999). Las muestras que contenían concentraciones mayores a 10 ppm se diluyeron.

Determinación de manganeso y hierro. (Varian, 1979 pp.18,32). Se determinaron en un espectrofotómetro de

absorción atómica Varian, modelo A440, bajo las siguientes condiciones:

	Fe	Mn
Corriente de la lámpara	5mA	5mA
Combustible	acetileno	acetileno
Soporte	aire	aire
Tipo de flama	oxidante	oxidante
Longitud de onda	284.3	279.5
Amplitud de la banda espectral	0.2nm	0.2nm
Intervalo de conc. óptimo	2.5-10 ppm.	0.2-2 ppm.
Intervalo de conc. de estándares	0.2-5 ppm.	0.2-2 ppm.
Fact. de correlación obtenido	0.999	0.999
Límite de detección del equipo*	0.05 ppm.	0.13 ppm

(*) Calculado por Villalobos-Peñalosa, 1987a p.80.

Se utilizaron los mismos reactivos para diluir que en el caso del cromo y se emplearon soluciones patrón SIGMA de 1000 ppm. para las curvas estándar.

5.- RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Análisis Químicos.

Los resultados de los análisis de aguas están enlistados por muestreo mensual. En los cuadros del 4 al 15 aparecen los contenidos de sodio, hierro, manganeso, cromo (VI) por absorción atómica y espectrofotometría visible (colorimetría). Además se enlistan los valores de pH y conductividad eléctrica.

No se detectó cromo soluble en estado de oxidación III, como era de esperarse dadas las condiciones de pH (neutro y básico). La diferencia de valores entre el método colorimétrico y el de absorción atómica se debe a diferencias en las bandas de confianza, precisión y a la presencia de Fe (III) que interfiere con el primer método (para más datos referirse a Villalobos-Peñalosa, 1987a y b). En otras investigaciones, las diferencias entre los resultados por ambos métodos se han adjudicado a la presencia de Cr (III) (SARH, 1977).

Se sacaron promedios de los valores de todos los pozos en cada muestreo de pH, conductividad eléctrica y sodio (cuadro 16). Se puede observar que la variación en pH no es muy grande (ver desviaciones estándar), mientras que la conductividad eléctrica y el sodio muestran fluctuaciones elevadas.

Del total de 44 pozos muestreados (por lo menos en una ocasión):

- 10 pozos mostraron concentraciones de cromo por encima del límite sanitario permisible (0.05 ppm, NRCC, 1976) estos pozos corresponden en orden decreciente a:

Good-Year-Oxo	2
CFE	1
CFE	2
CFE	5
Good-Year-Oxo	3
Good-Year-Oxo	1
Lucava	
CFE	8
Resistol	2
CFE	3

- 7 pozos exhibieron concentraciones intermedias entre el límite de detección (0.008 ppm) y el límite permisible. Correspondiendo a los pozos 7 de CFE; 1 de Resistol; 1 y 3 de AHMSA; 15 de FC-Los Reyes; 4 de Teoloyucan y 3 de Hda. de Portales.

- El resto no registró señales detectables de cromo.

Se obtuvieron datos de parámetros hidrológicos de los pozos más contaminados (ver apéndice); tales como nivel estático y nivel dinámico en metros, gasto de agua en litros por segundo, consumo mensual de agua en metros cúbicos además de determinaciones de cromo hechas por las mismas empresas, básicamente CFE y Good-Year-Oxo (cuadros 17 a 29); con el fin de hacer comparaciones entre estas mediciones y las cantidades de cromo por medio de matrices de correlación lineal para detectar si existía alguna relación entre ellas.

Al analizar el comportamiento a través del tiempo de la concentración de cromo en los pozos contaminados; se observó la ausencia de un patrón definido en los 12 meses del año y los valores fluctúan alrededor de valores aproximadamente constantes. Las variaciones pronunciadas son debidas a una correlación negativa entre consumo de agua y concentración de cromo, es decir, a mayor consumo de agua en los pozos menor concentración de cromo (Good-Year-Oxo: $r = -0.75$, $t = -0.03$, $n = 36$ o $\alpha = 0.05$; C.F.E.: $r = -0.33$, $t = +0.30$, $n = 43$, o $\alpha = 0.05$).

En el caso específico del pozo 2 de Good-Year-Oxo, que mostró los niveles más altos de cromo y que se encuentra entre los más cercanos al cementerio de cromatos, se observa cualitativamente una relación entre la cantidad de cromo y la precipitación pluvial en el período considerado (ver Fig. 13). Puede observarse que un mes después al de mayor

precipitación (Junio de 1985), la concentración de cromo experimentó un aumento para llegar a un máximo, a partir del cual en los meses subsecuentes tiende a restablecer sus niveles anteriores.

Como una forma de corroborar la relación precipitación vs. cantidad de cromo en todos los pozos contaminados, se promediaron las concentraciones de cromo en época de "secas" (meses de noviembre a abril) y en época de "lluvias" (junio a octubre ya que en mayo no se muestró) de cada pozo. Estos valores se esquematizan en la Fig. 14 y como puede observarse, en todos los casos es mayor la concentración de cromo en época húmeda que en estación seca (excepto en el pozo 3 de Good-Year en el cual no se observó diferencia).

Estos fenómenos apoyan la hipótesis de que el cromo en los acuíferos proviene de la lixiviación del material del cementerio.

Analizando el contenido de cromo en los pozos de Good-Year-Oxo en un intervalo de tiempo más amplio, de 1976 a 1986 Fig. 15 se observa en el pozo no. 2 un aumento considerable en la concentración de cromo mientras que los pozos 1 y 3 se mantienen en valores aproximadamente constantes. Esto demuestra que el contaminante no solo no se está agotando sino que aparentemente ha ido introduciéndose en mayor cantidad a los acuíferos. Si se considera al

cementerio como un depósito abundante en residuos de cromatos solubles es más factible considerarlo como la fuente contaminante, en contraste con la hipótesis de una inyección de desechos líquidos en el mismo pozo de la ex-planta como causante de dicha contaminación, ya que si así fuese, la cantidad de cromo disminuiría en el extenso período de años considerado.

Se desechó la posibilidad de que los pozos se contaminasen del exterior, puesto que los niveles de Mn y Fe únicamente se detectaron en muy bajas cantidades. En el caso de la Ex-Hacienda Portales sí se detectó hierro y manganeso, porque las muestras eran tomadas por personal de dicho lugar directamente del abrevadero; asimismo, el muestreo de pozos de FC-Los Reyes y Teoloyucan no es muy confiable respecto al contenido de estos metales por la falta ocasional de un procedimiento de purgado previo a la toma de muestras.

5.2 Análisis Piezométrico⁹

Esta parte del trabajo se basó fundamentalmente en el estudio del comportamiento de 12 multipiezómetros, durante el periodo de Junio de 1973 a Diciembre de 1977

⁹ .En este inciso se recurrió a la asesoría del Físico Jaime Durazo, investigador del Instituto de Geofísica (UNAM).

(aproximadamente cuatro años y medio), lo que da una amplia panorámica de la evolución piezométrica vertical de los acuíferos del área en tiempo y espacio (SARH-CAVM, 1979 y SARH, 1987 ver apéndice).

Los multipiezómetros fueron seleccionados con base en su cercanía al foco de contaminación (Fig. 16) y a los estratos de pozos muestreados, se enumeran a continuación con su respectivo nombre:

CLAVE:	NOMBRE:
P-411	Termoeléctrica-Lechería
P-438	La Consolidada-Lechería
P-508	Aditivos Mexicanos-Tlalnepantla
P-511	Cuautitlán
P-512	Santiago Tolyahualco
P-514	Cajiga
P-516	Coacalco
P-532	Pinturas Dupont-Tlalnepantla
P-535	Pyrina-Tlalnepantla
P-551	Sydney Ross-Lechería
P-552	Empresas Longoria (Hoy Conasupo)
P-578	Tultepec

Las gráficas de evolución piezométrica en el periodo considerado se muestran en las Figs. 17 a 27.

En el caso de la estación P-551 se consideró pertinente por ser la más cercana al cementerio industrial de cromatos, extender el rango de datos de Septiembre de 1968 a Marzo de 1987 (Fig. 28).

Analizando individualmente y de manera general el desarrollo en los niveles de estos piezómetros, resulta muy interesante e ilustrativo el hecho de que el multipiezómetro P-551 denota un diferencial de presión que favorece la circulación del agua "hacia abajo" (Fig. 28), ya que los niveles registrados van descendiendo con la profundidad, a estos casos se les denomina hidrogeológicamente "componentes de recarga vertical local" pues el agua que ahí se recibe, ya sea por lluvias o descargas eventuales, invariablemente fluye hacia las partes profundas del acuífero subyacente; esta evidencia da un buen apoyo al fenómeno señalado de recarga de lixiviados a partir del cementerio industrial. El aparato también se halla cerca de la zona de explotación más intensa de los mantos, que es la termoeléctrica "Ing. Jorge Luque" de Lechería, la cual posee los pozos de mayor profundidad y gasto (cantidad de agua extraída en un lapso de tiempo determinado, por lo general se da en litros por segundo o por minuto) en las industrias del área lo cual soporta de igual manera, la hipótesis en lo que a la presencia de un "cono de abatimiento zonal" (niveles freáticos muy bajos combinados con un alto bombeo del agua) se refiere (ver apéndice). Esta podría ser asimismo, la

causa de que cuatro de los seis pozos activos de la planta generadora presenten concentraciones de cromatos por encima del límite sanitario permisible además de que sus promedios anuales de concentraciones de cromo (en tres casos) son los más altos después del pozo más afectado del área (número 2 de Good-Year-Oxo).

Si se toma en cuenta, en el caso del piezómetro P-551, que a lo largo de los 19 años de monitoreo, el comportamiento en las presiones piezométricas es casi el mismo, aunado al hecho de que el dispositivo localizado a 67 metros de profundidad sufre una gran "despresurización" a partir de Julio de 1981, pues el nivel de agua es muy bajo e incluso llega a secarse en los últimos registros (Febrero de 1986), se aporta otra evidencia a la hipótesis de recarga local en esa zona y al fenómeno de sobre-explotación de los acuíferos que es bastante apreciable en ese sitio. Es muy posible que a la profundidad de 67 metros la succión de agua por parte de los pozos de las industrias ubicadas en la zona sea más intensa que en otros estratos.

La situación de recarga vertical local también es clara, a partir del análisis del estado piezométrico en las estaciones: P-438-1, P-508-1 y P-532 (Figuras 18, 19 y 24), siendo el primero el más representativo a este respecto. Los multipiezómetros P-411 y P-552 (Figuras 17 y 26) muestran flujos verticales complejos, sin tendencia clara y existe un

caso peculiar en el P-516 (Fig. 23) que no tiene en principio flujo de componente vertical y que presentó presiones ascendentes en los niveles más profundos a partir de Enero de 1975, lo que podría deberse a inyecciones artificiales de agua al subsuelo de esa zona.

El resto de los dispositivos, sobre todo los ubicados al norte de Lechería muestran ciertos procesos de "descompresión" vertical que hacen que no posean movimientos verticales de agua, sino sólo horizontales; se podría decir no muy "artificializados" debido a procesos antropogénicos (bombeo, urbanización, actividad industrial etc.).

En un enfoque más global, a partir de la evolución general en el tiempo de las presiones piezométricas dentro del período aludido (cuadro 30), se obtienen mayores pruebas de comportamientos tendientes al abatimiento de presiones y profundización del nivel freático, haciendo hincapié una vez más, en la explotación de pozos profundos con fines industriales y domésticos, la baja de niveles freáticos posiblemente se incrementa a mayores profundidades.

Las diferencias en los niveles estáticos de los pozos dentro de esta región (SRH-CHCVM, 1961; SARH-CAVM, 1983) sintetizan los resultados de interés para este estudio en las figuras 29 y 30. A partir de estos esquemas se estimaron los valores que se presentan en los cuadros 30 y 31.

Estos datos muestran claramente que los valores típicos del abatimiento son del orden de 1.5 m/año.

Los cambios en los niveles estáticos son drásticos y también sus consecuentes efectos en el flujo del agua subterránea; como ejemplo es notable el cono de depresión que se presenta en 1983, 5 km al oeste de Coacalco. La situación no es tan clara alrededor de San Francisco Chilpa (Planta de Cromatos) por la falta de continuidad de datos. Sin embargo, es evidente que existe ahí una convergencia de los flujos subterráneos precisamente hacia esa zona.

Estas evoluciones son consecuencia de la explotación del acuífero por los pozos, ya que éstos al inducir los flujos de agua hacia su zona de influencia provocan los conos de depresión, aunque no es posible descartar la influencia de las obras de drenaje profundo (cuya localización se muestra también en la fig. 30) que puede estar actuando como "tarja" o "sumidero".

Finalmente, y haciendo un resumen de todo lo acotado en este inciso, se pueden resaltar los siguientes hechos:

1. El abatimiento piezométrico general de la zona, se presenta aparentemente más fuerte a mayores profundidades.

El fenómeno debe estar controlado por el bombeo ("succión") de los pozos profundos de producción.

2. Se confirman las condiciones para la recarga local en la tercera parte de los multipiezómetros analizados (P-438-1, P-508-1, P-532 y P-551). En los restantes la situación no es clara debido posiblemente a la heterogeneidad estratigráfica (el flujo en el acuitardo es complejo).

3. El proceso de clara recarga local se registra a sólo 700 m del cementerio industrial de cromatos; esta situación extrapolada al propio cementerio fundamenta la hipótesis de recarga vertical de lixiviados contaminados hacia el acuífero.

4. La convergencia de los flujos subterráneos hacia la zona de alta densidad de pozos de producción en San Francisco Chilpa, permite suponer que si los lixiviados alcanzan el acuífero, la nube de contaminación no puede disiparse (existe un "cono de abatimiento" zonal).

5. La sobre-explotación está acelerando la velocidad del movimiento de las aguas superficiales hacia los mantos acuíferos, y además provoca que las arcillas adquieran porosidad secundaria, lo que a su vez facilita aún más el proceso de infiltración. Este último fenómeno fué también observado por el Dr. Ramiro Rodríguez del Instituto de

Geofísica, quién midió la conductividad eléctrica del cementerio y sus zonas aledañas (comunicación personal).

6. En caso de no existir el mencionado "cono de abatimiento", la "nube" contaminante se dispersaría (y posiblemente tendería a diluirse). Una posibilidad para lograr aún más la localización de la nube sería poner a funcionar el pozo de Cromatos.

6.- CONCLUSIONES

El cromo confinado en el cementerio se lixivía hacia los acuíferos más cercanos a causa de la precipitación pluvial. Como lo demuestra el estudio piezométrico. Por esta razón las concentraciones de cromo en las aguas de los acuíferos contaminados lejos de indicar una disminución, fluctúan alrededor de niveles constantes o están aumentando en algunos casos a través del tiempo.

El alto gasto en el consumo de agua por parte de las industrias cercanas ha evitado la contaminación de mantos acuíferos más profundos que repercutirían en zonas más alejadas. Sin embargo, la heterogeneidad del sustrato geológico y la presencia de zonas de fractura y arenas-gravas, hace latente el peligro potencial de una rápida dispersión del cromo y el subsecuente crecimiento de la zona contaminada, en caso de que los lixiviados entrasen en contacto con estas zonas.

Por lo tanto, es necesario enfocar la solución del problema hacia la estabilización del material contaminante contenido en el cementerio, utilizando métodos químicos que insolubilicen al cromo. Este proceso debe considerar la composición total del material, ya que existen otros elementos (tales como el aluminio) potencialmente tóxicos que pueden entrar en solución.

R E F E R E N C I A S

REFERENCIAS

Referencias Bibliográficas

- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association & WPCF (Water Pollution Control Federation) (1979), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, Washington, 13th Ed. , pp. 155-157,426,429 .
- APHA, AWWA & WPCF (1981), Selected Analytical Methods Approved and Cited by the United States Environmental Protection Agency. (supplement to the fifteenth edition of "Standard methods for the examination of water and wastewater"), APHA, AWWA & WPCF, USA pp. S6, S17, S20.
- Aubert, Huguette & Pinta, Maurice (1980) Trace Elements in Soils, Elsevier Scientific, 1st edition, 2nd impression 395 pp. Amsterdam.
- Bartlett, R. J. & Kimble J. M. (1976a) "Behavior of Chromium in Soils: I.- Trivalent Forms", Journal of Environmental Quality. Vol 5 No. 4 pp. 379-382.
- Bartlett, R. J. & Kimble, J. M. (1976b) "Behavior of Chromium in Soils: II.- Hexavalent Forms", Journal of Environmental Quality. Vol. 5 No. 4 pp. 383-386.
- Bartlett, R. J. & James, Bruce (1979) "Behavior of Chromium in Soils: III.- Oxidation", Journal of Environmental Quality. Vol. 8 No. 1 pp. 31-35.
- Batley, G.E. & Gardner, D. (1977) "Sampling and Storage of Natural Waters for Trace Metal Analysis" Water Research vol.11 pp. 745-756.
- Bloomfield, C. & Pruden G. (1980) "The Behavior of Cr(VI) in Soil Under Aerobic and Anaerobic Conditions", Environ Pollut. Serv.(series A) 23, pp. 103-114.
- Cotton, Fay Wilkinson G. (1988), Química Inorgánica Avanzada. 4^a ed. Ed. Limusa, México 1670 pp.
- Chapman, Homer D.(Editor) (1965), Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Ed. Homer D. Chapman Riverside, California., 483 pp.
- Davids, H.W. & Lieber, M. (1951) "Underground water contamination by chromium wastes ", Water Sewage Works 98 : 528-534 pp.
- Deltombe, E.; De Zoubov N. y Pourbaix M. (1963) Atlas d'equilibres électrochimiques a 25°C. Gauthier-Villars, Paris. pp. 256-271.

- Duccing, Adriana y Trejo, Belem. (1987) "Análisis Estadístico de un Estudio de Contaminación", IIMAS-UNAM, Comunicaciones Técnicas México 68 pp.
- Environmental Protection Agency (1969), "Chromium-Ambient Water Quality Criteria", Criteria and Standards Division, Office of Water Planning and Standards U.S.-EPA, Washington, USA, 109 pp.
- Freeze, R. Allan & Cherry, John A. Groundwater. (1979), Prentice-Hall Inc. New Jersey, USA, 604 pp.
- Galvao, Luiz A.C. y Corey, Germán (1987) Cromo. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. Metepec, México 66 pp.
- García, Enriqueta (1973) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. (adaptado a las condiciones de la República Mexicana), 5ª edición, Instituto de Geografía (UNAM), México.
- Gutiérrez, M.E. (1982) Estudio del contenido de iones inorgánicos y sus interacciones en suelos y plantas de los distritos de riego 03 y 88. Tesis-maestría; Facultad de Química (UNAM), México, 251 pp.
- Gutiérrez, M.E. ; Castillo, S. y Bocco, G. (1985) Estudio de Monitoreo y Evaluación del Cementerio Industrial de Cromatos de México, S.A. en Tultitlán, Edo. de México, Primera Etapa. Instituto de Geografía-Facultad de Química (UNAM). México 134 pp.
- Gutiérrez, M.E.; Castillo, S. y Bocco, G. (1986) "Contaminación por Cromo en el Norte de la Ciudad de México. Un enfoque Interdisciplinario " Boletín del Instituto de Geografía (UNAM) No.16, pp. 77-125.
- Gutiérrez-Ruiz, Margarita; Ortiz, Laura; Muñiz, Liliana (1988) "Estudio sobre las alternativas de disposición de los lodos residuales procedentes de la planta de tratamiento de agua de la tenería Morelos, S.A.", Informe Interno Instituto de Geografía, UNAM-UAEM (Morelos).
- Hörmann H. (1974) "Complex Formation Between Metal Ions and Collagen" in Metal Ions in Biological Systems vol. 3, Edited by H. Sigel, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 106-111.
- Kirk & Othmer (1979) Encyclopedia of Chemical Technology 3rd Ed. John Wiley & Sons, New York, vol. 6, pp. 54-56, 82-120.

- Mackenzie, R.D.; Byerrum, R. U.; Decker, C.F.; Hoppert C.A. & Langham, R.F. (1958) "Chronic Toxicity Studies II: Cr(VI) and Cr(III) administered in drinking water to rats", A.M.A. Arch. Ind. Health, 18: 232-234 pp.
- Mertz, W.(1969) "Chromium occurrence and function in biological systems", Physiol. Rev., 49: 165-239 pp.
- National Research Council Canada (1976) Effects of Chromium in the Canadian Environment, Associate Committee on Scientific Criteria for Environmental Quality, NRCC No. 15017, Environmental Secretariat, 168 pp.
- Niedzielski, Henryk (1985) Geohidrología I (Reporte Interno), Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. UAM-Iztapalapa. 90 pp.
- Perkin-Elmer (1977) Analytical Methods for atomic absorption spectrometry manual U.S.A.
- Perry Robert H. & Chilton Cecil H. (1973) Chemical Engineers' Handbook. 5th Edition. Ed. McGraw-Hill Kogakusha. Tokyo.
- Pflaum, R.T. & Howick, L. C. (1956) "The chromium-diphenylcarbazine reaction" J. Am. Chem. Soc. 78: 4862-6 pp.
- Rodier, J.(1980) Análisis de las aguas. Ediciones Omega. Barcelona, España 1059 pp.
- Roginski, E.E. & Mertz, W. (1967) "An eye lesion in rats fed low chromium diets" J. Nutr. 93: 249-251 pp.
- Rosas, I.; Belmont, R.; Pedrajo, A.B. y Villalobos-Pietrini, R. (1977) "Cuantificación de cromo en suelo y vegetales de una zona contaminada por cromo residual de origen industrial", An. Instituto de Biología, UNAM, pp. 95-112.
- Schroeder, David C. & Lee, G. Fred (1975) "Potential Transformations of Chromium in Natural Waters" Water, Air & Soil Pollution 4: 355-365 pp.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1977) "Estudio de Monitoreo de Cromatos en aguas de pozo del Municipio de Tultitlán, Edo. de México". Comisión de Aguas del Valle de México. México, D.F.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1979) "Boletín de Mecánica de Suelos". Comisión de Aguas del Valle de México. No. 8. México, D.F.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1987) "Datos de Registros Piezométricos de la Zona de Tultitlán, Edo. de México". Comisión de Aguas del Valle de México (Información facilitada por el Ing. Horacio Arceo Tena-Dir. Gral. de Estudios y Evaluación).
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (1961) Hidrogeología del Valle de Cuautitlán. Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (SRH). 100 pp.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (1984) X Censo General de Población y Vivienda 1980, Estado de México. vol. I, tomo 15, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- Sullivan, R. J. (1969) "Air pollution aspects of chromium and its compounds", U.S. Clearinghouse for Fed. Sci. Tech. Info PB 188 075, September.
- Trabalka, J. R. & Gehrs, C. W. (1977) "An observation on the toxicity of hexavalent chromium to Daphnia magna" Toxicol. Letters 1:131.
- Trama, F.B. & Benoit, R. J. (1960) "Toxicity of Cr(VI) to blue-gills", J. Water Pollution Control Fed., 32: 868-877 pp.
- Tristán, L. A. (1984) Estudio general del proyecto : Sulfato de aluminio reciclado de los desechos de la planta Cromatos de México S.A. México: CINADI
- Valverde, C. et al. (1980) Geografía Urbana del Municipio de Tultitlán, Edo. de México. Inédito, Inst. de Geografía, UNAM: AURIS.
- Varian (1979) Analytical Methods for flame spectroscopy, Varian-Techtron, Springvale, Australia.
- Vennitt, S. & Levy, L. S. (1974) "Mutagenicity of chromates in bacteria and its relevance to chromate carcinogenesis", Nature, 250: 493-495 pp.
- Villalobos-Peñalosa, Mario (1987a) Métodos para Análisis de Cromo y su Aplicación en la Caracterización de Residuos Sólidos Industriales, Tesis-Licenciatura, Facultad de Química, UNAM, 115 pp.
- Villalobos-Peñalosa, M.; Gutiérrez-Ruiz, Margarita y Castillo-Blum, Silvia (1987b) "A study of the factors that influence the interference of Fe(III)

- in the analysis of Cr(VI) by the diphenylcarbazine method", Contamb., pp. 7-23.
- Villalobos-Pietrini, R. (1977) "Efectos biológicos del cromo", An. Instituto de Biología, UNAM, México, vol. 48, pp. 115-162.
- Willems, G. J. ; Blaton, N. M.; Peeters O.M. y De Ranter C. J. (1977) "The interaction of chromium (VI), chromium (III) and chromium (II) with diphenylcarbazine, diphenylcarbazono and diphenylcarbadiazono", Anal. Chim. Acta, 88: 345-52 pp.
- Yanagisawa M., Suzuki M. y Takeuchi T. (1970) "Cationic interferences in the atomic absorption spectrophotometry of chromium", Anal. Chim. Acta, 52: 386-9 pp.

Referencias Cartográficas

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1983). Carta de Curvas de Igual Elevación de Nivel Estático: Abril-Mayo 1983. Comisión de Aguas del Valle de México. México, D.F.
- Secretaría de la Presidencia (CETENAL) (1975). Carta Topográfica "Cuautitlán". (E-14-A-29). Escala 1:50,000 México. (Con base en fotografías de 1971).
- Secretaría de la Presidencia (CETENAL) (1976). Carta Geológica "Cuautitlán". (E-14-A-29). Escala 1:50,000 México. (Con base en fotografías de 1970).
- Secretaría de Programación y Presupuesto (DGG) (1982). Carta Edafológica "Cuautitlán". (E-14-A-29). Escala 1:50,000 México. (Con base en fotografías de 1971).

A P E N D I C E

APENDICE. Consideraciones hidrogeológicas

Dinámica del agua subterránea (Ley de Darcy).

El subsuelo es un medio poroso donde el agua fluye como consecuencia de dos factores:

- La diferencia de presión entre los estratos: el agua siempre viajará de mayor a menor presión.
- La naturaleza del material por donde el agua circula: el agua se desplaza con mayor facilidad por medios arenosos que por medios arcillosos.

La relación empírica fué encontrada por el investigador francés Henri Darcy en 1856; para propósitos de este análisis la relación se reduce a que el volumen de agua por unidad de tiempo que fluye a través del medio poroso es directamente proporcional a la permeabilidad del material y a la diferencia de presiones a que está sometido (Fig. 31).

Diferencias de presión:

Si se relaciona separadamente los esquemas A-C y B-D (Fig. 31), es evidente que aunque poseen el mismo material poroso, la diferencia de alturas que poseen los recipientes de origen causa que el flujo (Q) en litros por segundo se presente hacia abajo y éste se vea disminuido en la medida

en que se reduce la distancia vertical (A) entre los dos depósitos (en los niveles de agua).

En los esquemas estas presiones (presiones hidrostáticas) son representadas por el peso de las columnas de agua:

$$P_1 = h_1 \rho g ; P_2 = h_2 \rho g \qquad \Delta P = P_1 - P_2 = (h_1 - h_2) \rho g$$

Como: $h_1 = h_2 + A$ $\Delta P = A \rho g$

Donde:

ΔP = Diferencial de presiones

ρ = Densidad en g/ml.

h = Altura de nivel de agua en depósitos

g = aceleración de la gravedad (9.8 m s^{-2})

Permeabilidad de los materiales:

Si se observan ahora por pares los esquemas A-B y C-D de la Fig. 31, se puede concluir que las características de los contenidos en los cilindros influyen para que se observen diferencias en los caudales finales.

Se ha supuesto que la grava es dos veces más permeable que la arena; es decir, la permeabilidad de la grava es del doble que la de la arena.

Entonces la relación matemática que expresa la ley empírica de Darcy es :

$$Q \propto K \Delta P$$

Donde: K= Constante de permeabilidad

La gran diversidad de los materiales del subsuelo se manifiesta en una gran diversidad de permeabilidades, como se demuestra en las siguientes relaciones típicas (Freeze & Cherry, 1979, p. 29):

K(gravas)

$$=100,000,000,000$$

K(roca ígnea no fracturada)

K(gravas)

$$=1,000,000,000$$

K(arcillas)

K(gravas)

$$=10,000$$

K(limos)

K(gravas)

$$=10$$

K(arenas)

Conceptos básicos (Niedzielski 1985, p. 42).

Acuífero: Unidad geológica (estrato o conjunto de estratos) de permeabilidad grande (típicamente gravas y arenas), que permite el almacenamiento y movimiento del agua a través del material que lo constituye.

Acuitardo: Formación geológica de permeabilidad muy baja (típicamente arcillas o rocas no fracturadas), por lo que transmite muy lentamente el agua.

El subsuelo es un receptáculo donde el agua se almacena y fluye desde la superficie del suelo. El agua tiende a "absorberse" por gravedad hasta alcanzar una zona de saturación (fenómeno de recarga) que tiene, entonces, las características del medio poroso; allí el agua fluirá de acuerdo con la Ley de Darcy.

La frontera que separa la zona saturada de la no saturada se denomina "nivel freático".

Principios de análisis piezométrico.

De acuerdo con todo lo explicado hasta aquí, se puede tener una buena aproximación acerca del movimiento del agua subterránea si se cuenta con mediciones locales de presión del agua, y datos de composición granulométrica de los diferentes estratos del subsuelo; el primer parámetro se obtiene mediante la multipiezometría, técnica hidrogeológica

que permite, además, conocer la presión local, que es una medida importante en el conocimiento del ritmo de explotación de los acuíferos; la segunda característica (composición), se logra a partir de cortes geológicos o perfiles estratigráficos de perforaciones de pozos profundos, multipiezómetros o pozos de perforación para este fin.

El multipiezómetro (Fig. 32, material facilitado por Fís. Jaime Durazo-Inst. de Geofísica UNAM) es un dispositivo que consta de varios tubos que se colocan a diferentes profundidades en el subsuelo, con un filtro en su parte basal, contenido en un cilindro ranurado para permitir el paso del agua; este aparato facilita registrar niveles de agua en los tubos introduciendo una sonda (generalmente eléctrica) en su interior; así, entre mayor sea la profundidad a la que se encuentra el agua en el tubo, la presión de ese nivel en el acuífero es menor (el agua "levanta" menos el nivel).

A partir del análisis de las lecturas piezométricas es posible hacer estudios de los gradientes de presión vertical, o esquemas espaciales (horizontales) a diferentes niveles.

Los pozos de producción como piezómetros imperfectos

Otros dispositivos que juegan el papel de piezómetros son los propios pozos de producción (Fig. 33). Sin embargo los registros resultantes a partir de ellos son menos confiables que los de los multipiezómetros por dos factores principales:

-Los niveles del agua representan una situación promediada de las presiones del acuífero.

-Si los niveles de agua son medidos cuando el pozo está en funcionamiento, representan condiciones hidrodinámicas muy circunstanciales (formación de un "cono" de abatimiento por bombeo).

En general, a las medidas de niveles que se toman después de cierto tiempo en que el pozo está parado, se les llama "niveles estáticos", para diferenciarlas de las medidas que se toman cuando está funcionando, o "niveles dinámicos".

Los niveles estáticos de los pozos son una aproximación a los niveles piezométricos locales y han sido el parámetro tradicional de análisis del flujo horizontal en los estudios hidrogeológicos en México. Los análisis del flujo vertical son muy limitados con estos datos.

T A B L A S Y F I G U R A S

CUADRO 1

PROPIEDADES FISICAS DEL CROMO

Características:	color gris metálico
Gravedad específica:	7.1 (aire = 1)
Punto de fusión:	1615°C
Punto de ebullición:	2200°C
Solubilidad:	insoluble en H_2O y HNO_3 soluble en HCl (dil.) y H_2SO_4

Tomado de Perry & Chilton, 1973 p. 3-11.

CUADRO 2

VOLUMENES DE CROMO EMPLEADOS POR RAMA INDUSTRIAL EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA (AÑO: 1975).

USO:	Cantidad: (en miles de tons.)
Transportación -----	73
Construcción -----	86
Maquinaria -----	56
Fabricación de productos metálicos -----	24
Refractarios -----	39
Cromado de metales -----	13
Químicos de metales -----	34
Otros -----	47

Fuente: Kirk and Othmer (1979) p. 69.

C U A D R O

DESCRIPCION DEL MUESTREO DE AGUAS DE POZOS

GRUPO	NO. DE POZOS SELECCIONADOS	TECNICA DE SELECCION	FRECUENCIA 1 VEZ AL MES POR		
			una ocasión	6 meses	12 meses
FC-LOS REYES	10	9 muestreo aleatorio simple sin reemplazo	-	5	4
		1 a juicio (por su cercanía)	-	1	-
TEOLOYUCAN	5	5 muestreo aleatorio simple sin reemplazo	-	5	-
POZOS INDUSTRIALES Iniciales	20	20 a juicio, con base en la ubicación y facilidad de acceso	-	4	16
POZOS INDUSTRIALES Adicionales 2o. semestre	3	3 a juicio por su cercanía	-	3	-
POZOS DOMESTICOS	6	6 a juicio por solicitud de los vecinos	6	-	-
TOTALES	44		6	18	20

Cuadro 5 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 2

	No. Pozo	Conductividad (ms/cm)	Na ⁺ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI) (ppm) Clorim	Abs.At.	Fecha Muestreo
FC Los Reyes	15	1	0.67	87	7.71	0	0.13	0	0 3/XII/84
FC Los Reyes	14	2	--	--	--	--	--	--	--
FC Los Reyes	12	3	0.60	65	7.80	0	0.50	0	0 3/XII/84
FC Los Reyes	10	4	0.56	60	7.34	0	0.28	0	0 3/XII/84
FC Los Reyes	9	5	0.46	55	7.41	0	0.44	0	0 3/XII/84
F&B Los Reyes	8	6	0.52	58	7.36	0	0.22	0	0 3/XII/84
FC Los Reyes	6	7	0.52	58	7.02	0.13	0.53	0	0 3/XII/84
FC Los Reyes	4	8	0.42	53	7.34	0	0	0	0 3/XII/84,
FC Los Reyes	3	9	--	--	--	--	--	--	--
FC Los Reyes	2	10	--	--	--	--	--	--	--
Exhac. Porta	3	11	1.12	208	7.21	1.26	1.37	0	0 17/XII/84
Exhac. Porta	2	12	1.55	370	7.60	0	0.31	0	0 17/XII/84
Exhac. Porta	1	13	1.53	370	7.80	0.35	0.30	0	0 17/XII/84
Teoloyucan	6	14	0.29	25	7.36	0	0	0.006	0 3/XII/84
Teoloyucan	5	15	0.35	29	7.65	0	0	0.004	0 3/XII/84
Teoloyucan	4	16	0.35	35	7.18	0	0	0.004	0 3/XII/84
Teoloyucan	3	17	0.37	38	7.32	0	0	0.003	0 3/XII/84
Teoloyucan	2	18	0.50	55	7.21	0	0	0.002	0 3/XII/84
Camasa	2	19	0.51	101	7.34	0	0	0.002	0 17/XII/84
Camasa	1	20	3.22	174	7.04	0	0	0	0 17/XII/84
Fanal	2	21	0.60	101	7.55	0	0	0.004	0 17/XII/84
Fanal	1	22	0.49	93	7.18	0	0	0.002	0 17/XII/84
Becandi	1	23	0.51	49	7.48	0	0	0	0 17/XII/84
Conasupo	1	24	0.44	50	7.56	0	0	0.004	0 17/XII/84
Altos Hornos	1	25	0.44	155	6.99	0	0	0.008	0 17/XII/84
Altos Hornos	3	26	--	--	--	--	--	--	--
CFE	2	27	0.53	77	7.40	0	0	0.127	0.11 17/XII/84
CFE	1	28	0.62	68	6.88	0	0	0.405	0.37 17/XII/84
CFE	5	29	1.01	153	6.66	0	0	0.405	0.62 17/XII/84
CFE	8	30	0.99	131	6.88	3.44	0	0.270	0.41 17/XII/84
CFE	3	31	0.41	46	7.43	0	0	0.007	0 17/XII/84
CFE	7	32	0.40	41	7.34	0	0	0.013	0 17/XII/84
Good Year	2	33	0.53	--	7.50	0.32	0	2.972	4.11 17/XII/84
Good Year	1	34	0.48	48	7.06	0	0	0.039	0 17/XII/84
Good Year	3	35	0.58	51	7.14	0	0	0.316	0.31 17/XII/84
Lucava	1	36							
Resistol	1	37							
Resistol	2	38							

Cuadro 7 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 4

	No.	Conduct	Na+	pH	FeIII	MnII	Cr(VI)(ppm)	Clorita	Fecha
	Pozo	muebas	(ppm)		(ppm)	(ppm)	Alm.At.	Muestreo	
FC Los Reyes	15	1	0.69	85	7.60	0.10	0	0.008	0 6/11/85
FC Los Reyes	14	2	0.64	65	7.65	0.90	0	0.005	0 6/11/85
FC Los Reyes	12	3	0.57	54	7.25	0	0	0.003	0 6/11/85
FC Los Reyes	10	4	0.64	59	7.45	0	0	0.003	0 6/11/85
FC Los Reyes	9	5	0.46	50	7.15	0	0.40	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	8	6	0.33	57	7.80	0	0.30	0.003	0 6/11/85
FC Los Reyes	6	7	0.51	56	7.00	0	0.30	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	4	8	0.41	52	7.30	0	0.40	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	3	9	0.52	57	7.30	0	0.30	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	2	10	0.71	71	7.80	0	0	0	0 6/11/85
Eshac. Porta	3	11	1.04	227	7.50	0	1.20	0	0 27/11/85
Eshac. Porta	2	12	1.57	486	7.82	0	0.32	0	0 27/11/85
Eshac. Porta	1	13	1.76	389	7.61	0.11	0.76	0	0 27/11/85
Teoloyucan	6	14	--	--	--	--	--	--	--
Teoloyucan	5	15	0.64	70	7.65	0	0	0.003	0 6/11/85
Teoloyucan	4	16	0.35	41	7.15	0	0	0.005	0 6/11/85
Teoloyucan	3	17	0.38	43	7.20	0.10	0	0.003	0 6/11/85
Teoloyucan	2	18	0.53	58	7.50	0	0	0.007	0 6/11/85
Camasa	2	19	3.36	202	7.36	0	0	0	0 27/11/85
Camasa	1	20	0.58	98	7.86	0	0	0	0 27/11/85
Fanul	2	21	0.66	163	7.86	0	0	0	0 27/11/85
Fanul	1	22	0.50	236	7.69	0	0	0	0 27/11/85
Bacardi	1	23	0.54	64	7.99	0	0	0	0 6/11/85
Conesupo	1	24	0.43	50	7.25	0	0	0	0 27/11/85
Altos Hornos	1	25	0.63	137	7.52	0	0	0.005	0 27/11/85
Altos Hornos	3	26	0.56	98	7.60	0	0	0	0 27/11/85
CFE	2	27	0.43	67	7.85	0	0	0.531	0.45 27/11/85
CFE	1	28	0.74	108	7.15	0	0	0.985	0.90 27/11/85
CFE	5	29	1.01	139	6.70	0	0	0.955	0.77 27/11/85
CFE	8	30	0.70	120	7.23	0	0	0.633	0 27/11/85
CFE	3	31	0.54	77	7.39	0.50	0	0.191	0.20 27/11/85
CFE	7	32	0.41	58	7.77	0	0	0	0 27/11/85
Good Year	2	33	0.59	86	7.44	0	0	7.393	6.50 27/11/85
Good Year	1	34	0.49	.72	7.41	0	0	0.523	0 27/11/85
Good Year	3	35	0.58	98	7.37	0	0	0.309	0.30 27/11/85
Lucava	1	36							
Resistol	1	37							
Resistol	2	38							

Quadro 8 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 5

	No.	Conduct	Na+	pH	FeII	MnII	Cr(VI)		Fecha
	Pozo	mhos	(ppm)		(ppm)	(ppm)	Clorin	Abs.At.	Muestreo
FC Los Reyes	15	1	0.68	88	8.80	0	0.13	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	14	2	0.62	67	8.72	0	0	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	12	3	0.62	63	8.68	0	0.35	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	10	4	0.57	63	8.06	0	0.18	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	9	5	0.46	56	7.93	0	0.34	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	8	6	0.54	62	7.93	0	0.25	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	6	7	0.50	59	7.66	0	0.32	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	4	8	0.42	54	7.71	0	0	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	3	9	0.94	143	8.33	0	0	0	0 6/11/85
FC Los Reyes	2	10	0.71	60	8.15	0	0	0	0 6/11/85
Exhac. Porta	3	11	1.27	223	8.71	0	0.77	0.003	0 20/11/85
Exhac. Porta	2	12	1.72	344	8.90	0	0.29	0	0 20/11/85
Exhac. Porta	1	13	--	--	--	--	--	--	--
Teoloyucan	6	14	--	--	--	--	--	--	--
Teoloyucan	5	15	0.34	30	8.58	0	0	0.003	0 6/11/85
Teoloyucan	4	16	0.35	39	7.74	0	0	0.005	0 6/11/85
Teoloyucan	3	17	0.37	43	8.63	0	0	0.005	0 6/11/85
Teoloyucan	2	18	0.45	51	8.59	0	0	0	0 6/11/85
Canesa	2	19	0.57	43	7.58	0	0	0	0 10/11/85
Canesa	1	20	3.62	178	7.25	0	0	0	0 10/11/85
Fanal	2	21	0.67	90	8.78	0	0	0.002	0 20/11/85
Fanal	1	22	0.55	82	8.79	0	0	0	0 20/11/85
Bacardi	1	23	0.59	58	8.66	0	0	0	0 20/11/85
Conasupo	1	24	0.44	49	8.19	0	0	0	0 6/11/85
Altos Hornos	1	25	1.00	98	8.56	0.57	0	0	0 20/11/85
Altos Hornos	3	26	0.61	90	8.59	0	0	0	0 20/11/85
CFE	2	27	0.68	84	8.69	0	0	1.902	1.67 20/11/85
CFE	1	28	0.68	81	8.58	0	0	2.299	2.43 20/11/85
CFE	5	29	1.08	152	8.63	0	0	0.880	0.82 20/11/85
CFE	8	30	0.75	107	8.40	0	0	0.040	0 20/11/85
CFE	3	31	0.45	54	8.53	0	0	0.011	0 20/11/85
CFE	7	32	0.44	50	8.71	0	0	0.006	0 20/11/85
Good Year	2	33	0.64	62	8.60	0.14	0	6.495	7.37 20/11/85
Good Year	1	34	0.53	55	8.62	0	0.05	0.046	0 20/11/85
Good Year	3	35	0.64	63	8.61	0	0	0.340	0.26 20/11/85
Lucava	1	36							
Resistol	1	37							
Resistol	2	38							

Cuadro 9 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 6

	No. Pozo	Conduct cmhos	Na ⁺ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI)(ppm) Clorim	Abs.At.	Fecha Muestreo
FC Los Reyes	15	1	--	--	--	--	--	--	--
FC Los Reyes	14	2	--	--	--	--	--	--	--
FC Los Reyes	12	3	0.71	67	7.80	0	0.54	0	0 10/IV/85
FC Los Reyes	10	4	0.68	71	7.42	0	0.07	0	0 10/IV/85
FC Los Reyes	9	5	0.59	64	7.52	0	0.17	0	0 10/IV/85
FØ Los Reyes	8	6	0.85	91	7.32	0	0.28	0	0 10/IV/85
FC Los Reyes	6	7	1.00	130	7.37	0.14	0.53	0	0 10/IV/85
FC Los Reyes	4	8	0.58	64	7.34	0	0	0	0 10/IV/85
FC Los Reyes	3	9	0.41	42	7.42	0	0	0.003	0 10/IV/85
FC Los Reyes	2	10	1.26	115	7.27	0.14	0	0	0 10/IV/85
Exhac. Porta	3	11	1.23	182	7.35	1.07	1.40	0.010	0 24/IV/85
Exhac. Porta	2	12	1.70	331	7.77	0	0.25	0	0 24/IV/85
Exhac. Porta	1	13	1.92	318	7.35	6.83	1.10	0	0 24/IV/85
Teoloyucan	6	14	--	--	--	--	--	--	--
Teoloyucan	5	15	--	--	--	--	--	--	--
Teoloyucan	4	16	0.37	38	7.38	0	0	0.011	0 10/IV/85
Teoloyucan	3	17	0.40	42	7.47	0	0	0.003	0 10/IV/85
Teoloyucan	2	18	0.50	53	7.57	0	0	0.003	0 10/IV/85
Camasa	2	19	3.61	147	7.35	0	0	0.002	0 24/IV/85
Camasa	1	20	0.58	60	7.72	0	0	0	0 24/IV/85
Fanal	2	21	0.69	92	7.76	0	0	0.002	0 24/IV/85
Fanal	1	22	0.54	79	7.61	0	0	0.002	0 24/IV/85
Bacardi	1	23	0.59	55	7.53	0	0	0	0 24/IV/85
Conasupo	1	24	0.48	53	7.78	0	0	0	0 10/IV/85
Altos Hornos	1	25	1.07	98	7.05	0	0.05	0.003	0 24/IV/85
Altos Hornos	3	26	0.59	73	7.08	0	0	0.003	0 24/IV/85
CFE	2	27	0.46	54	7.69	0	0	0.262	0.20 24/IV/85
CFE	1	28	0.69	71	7.37	0	0	0.755	0.66 24/IV/85
CFE	5	29	1.07	139	6.58	0	0	1.008	0.78 24/IV/85
CFE	8	30	0.75	101	7.37	0	0	0.036	0 24/IV/85
CFE	3	31	0.45	51	7.53	0.65	0	0.008	0 24/IV/85
CFE	7	32	0.44	47	7.88	0	0	0.003	0 24/IV/85
Good Year	2	33	0.65	61	7.82	0.56	0	6.310	8.39 24/IV/85
Good Year	1	34	0.54	55	8.34	0	0.10	0.037	0 24/IV/85
Good Year	3	35	0.64	60	7.55	0	0	0.316	0.27 24/IV/85
Lucava	1	36							
Resistol	1	37							
Resistol	2	38							

**Cuadro 10 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 7**

	No.	Conduct	Na+	pH	FeIII	MnII	Cr(VI)(ppm)	Fecha	
	Pozo	mhos	(ppm)		(ppm)	(ppm)	Clorim Abs.At.	Muestreo	
FC Los Reyes	15	1							
FC Los Reyes	14	2							
FC Los Reyes	12	3							
FC Los Reyes	10	4							
FC Los Reyes	9	5							
FC Los Reyes	8	6							
FC Los Reyes	6	7	0.61	63	8.15	0.12	0.45	0	0 26/VI/85
FC Los Reyes	4	8	0.47	51	8.05	0	0	0	0 26/VI/85
FC Los Reyes	3	9	1.06	153	8.52	0	0	0	0 26/VI/85
FC Los Reyes	2	10	--	--	--	--	--	--	--
Exhac. Porta	3	11	1.22	199	8.42	0.88	1.25	0	0 26/VI/85
Exhac. Porta	2	12	1.62	337	8.57	0	0.27	0	0 26/VI/85
Exhac. Porta	1	13	1.65	325	8.64	0.70	0.43	0	0 26/VI/85
Teoloyucan	6	14							
Teoloyucan	5	15							
Teoloyucan	4	16							
Teoloyucan	3	17							
Teoloyucan	2	18							
Canesa	2	19							
Canesa	1	20							
Fanal	2	21							
Fanal	1	22							
Bacardi	1	23	0.55	56	8.53	0	0	0	0 26/VI/85
Conasupo	1	24	0.48	49	8.38	0	0	0	0 26/VI/85
Altos Hornos	1	25	1.39	102	8.36	5.35	0.21	0.008	0 26/VI/85
Altos Hornos	3	26	--	--	--	--	--	--	--
CFE	2	27	0.55	32	8.44	0	0	1.560	1.67 26/VI/85
CFE	1	28	0.64	84	8.33	0	0	2.048	2.38 26/VI/85
CFE	5	29	0.66	106	8.48	0	0	0.075	0 26/VI/85
CFE	8	30	0.69	111	8.44	0	0	0.033	0.09 26/VI/85
CFE	3	31	0.40	71	8.41	1.26	0	0.148	0 26/VI/85
CFE	7	32	0.41	44	8.45	0	0	0	0 26/VI/85
Good Year	2	33	0.58	62	8.41	0	0	6.681	8.73 26/VI/85
Good Year	1	34	0.50	57	8.38	0	0	0.042	0.07 26/VI/85
Good Year	3	35	0.60	59	8.32	0	0	0.271	0.24 26/VI/85
Lucena	1	36	0.44	57	8.56	0	0	0.123	0.08 26/VI/85
Resistol	1	37	0.42	61	8.34	0	0	0	0 26/VI/85
Resistol	2	38	0.54	77	8.33	0	0	0.328	0 26/VI/85

**Cuadro 11 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 8**

	No. Pozo	Conduct mmhos	Na+ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI)(ppm) Clorin	Abs.At.	Fecha Muestreo
FC Los Reyes	15	1							
FC Los Reyes	14	2							
FC Los Reyes	12	3							
FC Los Reyes	10	4							
FC Los Reyes	9	5							
FC Los Reyes	8	6							
FC Los Reyes	6	7	0.60	57	8.23	0	1.10	0	0 24/VIII/85
FC Los Reyes	4	8	0.46	53	8.19	0	0	0	0 24/VIII/85
FC Los Reyes	3	9	0.59	61	8.24	0	0	0	0 24/VIII/85
FC Los Reyes	2	10	--	--	--	--	--	--	--
Exhac. Porta	3	11	1.87	283	8.18	1.41	1.92	0	0 24/VIII/85
Exhac. Porta	2	12	1.62	356	8.61	0.19	0.71	0	0 24/VIII/85
Exhac. Porta	1	13	1.22	178	8.15	1.70	3.12	0.007	0 24/VIII/85
Teoloyucan	6	14							
Teoloyucan	5	15							
Teoloyucan	4	16							
Teoloyucan	3	17							
Teoloyucan	2	18							
Comesa	2	19							
Comesa	1	20							
Fanal	2	21							
Fanal	1	22							
Bacardi	1	23	0.59	59	8.32	0	0	0	0 24/VIII/85
Conasupo	1	24	0.46	54	8.46	0.19	0	0	0 24/VIII/85
Altos Hornos	1	25	1.51	108	8.00	5.05	0.29	0.015	0 24/VIII/85
Altos Hornos	3	26	0.59	88	7.65	0	0	0	0 24/VIII/85
CFE	2	27	0.58	78	7.90	0	0	1.590	1.90 24/VIII/85
CFE	1	28	0.65	84	7.68	0	0	1.788	2.20 24/VIII/85
CFE	5	29	1.05	108	7.28	0	0	0.819	0.98 24/VIII/85
CFE	8	30	0.72	123	8.04	0	0	0.033	0 24/VIII/85
CFE	3	31	0.44	53	8.27	1.60	0	0	0 24/VIII/85
CFE	7	32	--	--	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	0.63	58	7.93	0	0	8.951	12.81 24/VIII/85
Good Year	1	34	0.53	57	8.26	0	0.07	0.043	0 24/VIII/85
Good Year	3	35	0.63	61	8.19	0	0	0.230	0.39 24/VIII/85
Lucava	1	36	0.52	60	8.44	0.9%	0	0.034	0.15 24/VIII/85
Resistol	1	37	0.48	64	8.12	0	0	0	0 24/VIII/85
Resistol	2	38	0.53	81	8.08	0	0	0.040	0.11 24/VIII/85

Cuadro 12 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 9

	No.	Conduct	Na+	pH	FeIII	MnII	Cr(VI)(ppm)	Fecha	
	Pozo	mhos	(ppm)		(ppm)	(ppm)	Clorim Abs.At.	Muestreo	
FC Los Reyes	15	1							
FC Los Reyes	14	2							
FC Los Reyes	12	3							
FC Los Reyes	10	4							
FC Los Reyes	9	5							
FC Los Reyes	8	6							
FC Los Reyes	6	7	0.61	53	8.05	0	1.02	0	0 21/VIII/85
FC Los Reyes	4	8	0.46	46	8.00	0	0	0	0 21/VIII/85
FC Los Reyes	3	9	0.60	55	8.13	0	0	0	0 21/VIII/85
FC Los Reyes	2	10	0.75	64	8.20	0.51	0	0	0 21/VIII/85
Exhac. Porta	3	11	--	--	--	--	--	--	--
Exhac. Porta	2	12	1.65	189	8.51	0	0.52	0	0 21/VIII/85
Exhac. Porta	1	13	1.89	254	8.10	19.39	3.28	0	0 21/VIII/85
Teoloyucan	6	14							
Teoloyucan	5	15							
Teoloyucan	4	16							
Teoloyucan	3	17							
Teoloyucan	2	18							
Comesa	2	19							
Comesa	1	20							
Fanal	2	21							
Fanal	1	22							
Bacardi	1	23	0.58	53	8.35	0	0	0	0 21/VIII/85
Conasupo	1	24	0.47	46	8.26	0	0	0	0 21/VIII/85
Altos Hornos	1	25	1.27	82	7.93	0.45	0	0	0 21/VIII/85
Altos Hornos	3	26	0.61	92	8.05	0	0	0	0 21/VIII/85
CFE	2	27	0.80	98	7.75	0	0	1.064	1.17 21/VIII/85
CFE	1	28	0.64	74	8.08	0	0	2.368	2.70 21/VIII/85
CFE	5	29	1.04	121	7.44	0	0	2.200	1.23 21/VIII/85
CFE	8	30	0.74	99	7.68	0	0	0.034	0 21/VIII/85
CFE	3	31	0.43	48	8.19	0.85	0	0	0 21/VIII/85
CFE	7	32	--	--	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	0.63	49	8.35	1.58	0	6.716	9.60 21/VIII/85
Good Year	1	34	0.53	52	8.07	0	0.04	0.019	0 21/VIII/85
Good Year	3	35	0.64	53	8.06	0	0	0.287	0.44 21/VIII/85
Luca	1	36	0.46	50	8.33	0	0	0	0 21/VIII/85
Resistol	1	37	0.46	59	8.06	0	0	0	0 21/VIII/85
Resistol	2	38	0.53	73	8.19	0	0	0.047	0.15 21/VIII/85

**Cuadro 13 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 10**

	No. Pozo	Conduct mshos	Na+ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI)(ppm) Clorim	Abs.At.	Fecha Muestreo
FC Los Reyes	15	1							
FC Los Reyes	14	2							
FC Los Reyes	12	3							
FC Los Reyes	10	4							
FC Los Reyes	9	5							
FC Los Reyes	8	6							
FC Los Reyes	6	7	0.58	65	7.18	0	0.74	0	0 18/IX/85
FC Los Reyes	4	8	0.47	62	7.40	0	0	0	0 18/IX/85
FC Los Reyes	3	9	0.61	68	7.45	0	0	0	0 18/IX/85
FC Los Reyes	2	10	0.86	90	7.46	0	0	0	0 18/IX/85
Ehac. Porta	3	11	1.30	190	7.34	3.59	3.46	0.007	0 18/IX/85
Ehac. Porta	2	12	1.74	344	7.89	0	0.73	0	0 18/IX/85
Ehac. Porta	1	13	1.74	328	7.87	0	0.45	0	0 18/IX/85
Teoloyucan	6	14							
Teoloyucan	5	15							
Teoloyucan	4	16							
Teoloyucan	3	17							
Teoloyucan	2	18							
Camesa	2	19							
Camesa	1	20							
Fanal	2	21							
Fanal	1	22							
Bacardi	1	23	0.60	67	7.93	0	0	0	0 18/IX/85
Conasupo	1	24	0.49	53	7.86	0	0	0	0 18/IX/85
Altos Hornos	1	25	1.40	128	7.56	1.43	0.12	0	0 18/IX/85
Altos Hornos	3	26	0.64	90	7.61	0	0	0	0 18/IX/85
CFE	2	27	0.60	81	7.48	0	0	1.551	1.71 18/IX/85
CFE	1	28	0.65	92	7.42	0	0	1.848	2.36 18/IX/85
CFE	5	29	1.08	136	7.03	0	0	0.905	1.14 18/IX/85
CFE	8	30	0.77	114	7.85	0	0	0.030	0 18/IX/85
CFE	3	31	0.46	57	7.77	0	0	0	0 18/IX/85
CFE	7	32	--	--	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	0.65	68	7.88	0	0	7.907	12.12 18/IX/85
Good Year	1	34	0.66	85	8.06	0.38	0	2.300	2.32 18/IX/85
Good Year	3	35	0.65	68	7.69	0	0	0.249	0.39 18/IX/85
Lucava	1	36	0.49	61	8.19	0	0	0.167	0.12 18/IX/85
Resistol	1	37	0.55	68	7.89	0	0	0	0 18/IX/85
Resistol	2	38	0.53	90	7.95	0	0	0.044	0 18/IX/85

Cuadro 14 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 11

	No. Pozo	Conduct mmhos	Na+ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI)(ppm) Clorita	Abs.At.	Fecha Muestreo	
FC Los Reyes	15	1								
FC Los Reyes	14	2								
FC Los Reyes	12	3								
FC Los Reyes	10	4								
FC Los Reyes	9	5								
FC Los Reyes	8	6								
FC Los Reyes	6	7	0.58	58	8.72	0	0.53	0	0	16/X/85
FC Los Reyes	4	8	0.47	51	8.71	0	0	0	0	16/X/85
FC Los Reyes	3	9	0.61	64	8.70	0	0	0	0	16/X/85
FC Los Reyes	2	10	0.74	80	8.78	0	0	0	0	16/X/85
Exhac. Porta	3	11	--	--	--	--	--	--	--	
Exhac. Porta	2	12	1.71	356	8.84	0	0.37	0	0	16/X/85
Exhac. Porta	1	13	1.91	334	8.87	0	1.13	0	0	16/X/85
Teoloyucan	6	14								
Teoloyucan	5	15								
Teoloyucan	4	16								
Teoloyucan	3	17								
Teoloyucan	2	18								
Camesa	2	19								
Camesa	1	20								
Fanal	2	21								
Fanal	1	22								
Bacardi	1	23	0.61	62	8.75	0	0	0	0	16/X/85
Conasupo	1	24	0.49	54	8.71	0	0	0	0	16/X/85
Altos Hornos	1	25	1.19	109	8.50	4.7	0.06	0	0	16/X/85
Altos Hornos	3	26	--	--	--	--	--	--	--	
CFE	2	27	0.85	120	8.35	0	0	0.630	0.86	16/X/85
CFE	1	28	0.90	124	8.52	0	0	0.440	0.70	16/X/85
CFE	5	29	1.06	282	8.25	0	0	1.085	1.50	16/X/85
CFE	8	30	0.78	115	8.66	0	0	0	0	16/X/85
CFE	3	31	0.46	56	8.64	0	0	0.006	0	16/X/85
CFE	7	32	--	--	--	--	--	--	--	
Good Year	2	33	0.63	62	8.73	0	0	5.572	8.40	16/X/85
Good Year	1	34	0.64	62	8.68	0	0	0.308	0.63	16/X/85
Good Year	3	35	0.63	71	8.63	0	0	0.389	0.43	16/X/85
Lucava	1	36	0.47	60	8.74	0	0	0.057	0	16/X/85
Resi-tol	1	37	0.46	69	8.68	0	0	0	0	16/X/85
Resi-tol	2	38	0.65	87	8.66	0	0	0.040	0	16/X/85

**Cuadro 15 Resultados de Análisis Químicos de Pozos
Muestreo 12**

	No. Pozo	Conduct mohos	Na+ (ppm)	pH	FeIII (ppm)	MnII (ppm)	Cr(VI)(ppm) Clorim	Abn.At.	Fecha Muestreo
FC Los Reyes	15	1							
FC Los Reyes	14	2							
FC Los Reyes	12	3							
FC Los Reyes	10	4							
FC Los Reyes	9	5							
FO Los Reyes	8	6							
FC Los Reyes	6	7	0.60	66	7.62	0	0.50	0	0 13/XI/85
FC Los Reyes	4	8	0.48	55	7.65	0	0	0	0 13/XI/85
FC Los Reyes	3	9	0.62	70	7.68	0	0	0	0 13/XI/85
FC Los Reyes	2	10	0.87	88	7.93	0	0	0	0 13/XI/85
Exhac. Porta	3	11	1.28	174	8.78	3.90	1.70	0	0 13/XI/85
Exhac. Porta	2	12	1.72	370	8.05	0	0.36	0	0 13/XI/85
Exhac. Porta	1	13	1.95	305	7.80	0.10	0.65	0	0 13/XI/85
Teoloyucan	6	14							
Teoloyucan	5	15							
Teoloyucan	4	16							
Teoloyucan	3	17							
Teoloyucan	2	18							
Canesa	2	19							
Canesa	1	20							
Fanal	2	21							
Fanal	1	22							
Bacardi	1	23	0.61	66	8.17	0	0	0	0 13/XI/85
Conasupo	1	24	0.50	59	8.07	0	0	0	0 13/XI/85
Altos Hornos	1	25	0.83	103	8.71	0	0	0.005	0 13/XI/85
Altos Hornos	3	26	0.62	104	8.33	0	0	0	0 13/XI/85
CFE	2	27	0.78	111	7.77	0	0	1.464	1.41 13/XI/85
CFE	1	28	0.66	98	7.91	0	0	2.630	2.70 13/XI/85
CFE	5	29	1.04	136	6.83	0	0	1.237	1.12 13/XI/85
CFE	8	30	0.78	123	7.65	0	0	0.036	0 13/XI/85
CFE	3	31	0.46	61	8.20	0	0	0.017	0 13/XI/85
CFE	7	32	--	--	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	0.65	70	7.93	0	0	5.687	6.62 13/XI/85
Good Year	1	34	0.56	74	7.90	0.75	0	0	0 13/XI/85
Good Year	3	35	0.67	65	7.69	0	0	0.271	0.27 13/XI/85
Lucava	1	36	0.48	60	8.31	0	0	0.046	0 13/XI/85
Resistol	1	37	0.48	71	7.95	0	0	0	0 13/XI/85
Resistol	2	38	0.66	78	7.86	0	0	0.046	0 13/XI/85

CUADRO 16 Medias y Desviaciones Estandar de pH, Conductividad Eléctrica y Sodio Soluble (12 muestreos)

muestreo	Fecha	pH			C. E. (mmhos/cm)			Sodio (ppm)		
		X	s(n)	s(n-1)	X	s(n)	s(n-1)	X	s(n)	s(n-1)
1	Noviembre-84	7.42	0.30	0.30	0.69	0.56	0.57	98.9	83	84.5
2	Diciembre-84	7.31	0.27	0.27	0.70	0.55	0.56	96.7	85.5	87
3	Enero-85	7.70	0.35	0.36	0.69	0.53	0.53	83.6	79.9	81.4
4	Febrero-85	7.48	0.28	0.29	0.73	0.54	0.55	111.5	96.1	97.6
5	Marzo-85	8.39	0.42	0.42	0.74	0.58	0.59	86.1	61.3	62.3
6	Abril-85	7.50	0.30	0.31	0.84	0.62	0.63	92.7	69.3	70.5
7	Junio-85	8.40	0.13	0.13	0.74	0.39	0.40	102.7	83.4	85.4
8	Julio-85	8.11	0.29	0.30	0.77	0.41	0.42	101.1	77.6	79.6
9	Agosto-85	8.08	0.24	0.24	0.75	0.39	0.40	81.4	50.8	52.1
10	Septiembre-85	7.67	0.29	0.30	0.80	0.39	0.40	109.3	78.2	80.0
11	Octubre-85	8.66	0.15	0.15	0.79	0.39	0.40	117.8	91.8	94.2
12	Noviembre-85	7.94	0.40	0.40	0.79	0.38	0.39	106.4	78.3	80.1

**Cuadro 17 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Octubre/76 a Mayo/80**

OCT/76 (SARH)

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lpe)	
CFE	1	28					
CFE	2	27	0.615	--	92705	51.38	
CFE	3	31					
CFE	4	39	0.15	33.5	40.5	31599	16.93
CFE	5	29					
CFE	6	40	0	--	--	39417	14.72
CFE	7	32					
CFE	8	30					
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

JUL/78 (SARH)

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lpe)	
CFE	1	28					
CFE	2	27	0.700	39.0	53.4	24944	48.12
CFE	3	31					
CFE	4	39	0.145	34.5	48.5	8738	32.80
CFE	5	29					
CFE	6	40	0	--	--	30776	12.35
CFE	7	32					
CFE	8	30					
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

SEP/78

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lpe)	
CFE	1	28	3.40	38.20	46.20		84.65
CFE	2	27	1.20	38.28	46.35	10693	39.55
CFE	3	31	0.03	38.50	46.50	65874	26.37
CFE	4	39	0.18	35.00	49.50	8733	43.32
CFE	5	29	0.72	37.90	53.20	9112	26.37
CFE	6	40	0	55.60	90.60	45189	18.83
CFE	7	32	0	38.00	71.00	--	40.62
CFE	8	30	0	--	--	94349	45.5
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

MAY/80

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lpe)	
CFE	1	28	3.100	48.80	50.88	1990.4	55.29
CFE	2	27	1.210	43.32	57.17	22093	26.92
CFE	3	31	0.056	44.65	52.65	54606	27.88
CFE	4	39	0.271	52.72	57.20	45112	18.99
CFE	5	29	1.100	50.00	64.20	98819	40.97
CFE	6	40	0	72.60	95.60	10713	12.61
CFE	7	32	0	46.68	76.88	53523	19.98
CFE	8	30	0.243	--	--	117367	43.82
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

**Cuadro 18 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Agosto/80 a Octubre/81**

AGO/80							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	(lps)	
CFE	1	28	3.000	44.3	50.32	124135	52.83
CFE	2	27	0.700	44.9	50.20	40589	30.83
CFE	3	31	0.020	44.8	50.00	52933	28.95
CFE	4	39	0.290	51.2	54.00	37923	18.80
CFE	5	29	0.520	51.8	63.00	87674	37.60
CFE	6	40	0.009	72.5	95.10	34592	13.16
CFE	7	32	0	44.1	69.70	47318	17.67
CFE	8	30	--	--	--	--	--
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

JUN/81							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.20	48.00	54.60	108461.6	49.47
CFE	2	27	1.10	46.80	62.24	106426.9	45.55
CFE	3	31	0.04	48.15	52.15	44573.7	17.86
CFE	4	39	0.80	50.10	53.50	27912.2	11.91
CFE	5	29	0.50	40.28	62.08	107847.8	43.48
CFE	6	40	0.06	--	--	--	--
CFE	7	32	0.04	36.40	57.40	47576.1	18.35
CFE	8	30	0.30	46.00	111.00	148977.6	63.08
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

AGO/81							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.10	48.34	54.56		48.550
CFE	2	27	1.10	48.28	61.56		48.750
CFE	3	31	0.03	48.00	52.92		25.616
CFE	4	39	0.90	50.66	53.84		11.140
CFE	5	29	0.60	49.36	71.76		45.160
CFE	6	40	0.06	--	--		--
CFE	7	32	0.04	49.90	75.80		19.300
CFE	8	30	0.30	54.00	111.00		67.530
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

OCT/81							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.90	50.23	56.83		60.15
CFE	2	27	1.70	50.88	63.78		55.28
CFE	3	31	0.02	49.50	52.30		19.30
CFE	4	39	0.50	51.20	54.50		22.47
CFE	5	29	0.80	50.00	68.62		52.85
CFE	6	40	0.06	--	--		--
CFE	7	32	0.03	49.90	75.80		19.30
CFE	8	30	0.03	51.00	106.20		64.69
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

**Cuadro 19 Datos quimicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Noviembre/81 a Febrero/82**

NOV/81

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	2.10	48.00	59.60	145298	60.15
CFE	2	27	1.80	46.80	62.24	120512	58.02
CFE	3	31	0.01	48.00	52.00	50469	20.62
CFE	4	39	0.50	50.10	53.50	41087	17.75
CFE	5	29	1.00	49.12	66.88	136339	52.60
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.01	49.90	75.80	50025	19.30
CFE	8	30	0.04	48.80	103.10	173837	67.07
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

DIC/81

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.40	48.16	54.56	112976	60.57
CFE	2	27	1.80	47.10	61.40	73728	58.02
CFE	3	31	0.03	48.20	51.90	43716	20.62
CFE	4	39	0.60	50.56	53.20	34570	17.75
CFE	5	29	1.20	48.24	67.30	139009	51.90
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.02	53.30	84.80	54391	23.07
CFE	8	30	0.30	48.80	103.10	179631	67.07
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

ENE/82

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.80	48.93	55.43	128401	61.45
CFE	2	27	1.30	51.28	65.28	91748	58.25
CFE	3	31	0.02	49.60	51.10	73423	30.08
CFE	4	39	0.40	51.30	55.50	58343	19.08
CFE	5	29	1.30	50.12	69.12	133875	49.98
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	62.90	88.80	54176	25.75
CFE	8	30	0.20	54.70	106.30	145248	63.28
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

FEB/82

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.60	48.20	52.43	140892	60.58
CFE	2	27	1.20	51.28	62.00	138193	59.70
CFE	3	31	0.20	48.60	51.20	62519	28.52
CFE	4	39	0.40	53.60	54.80	27652	11.53
CFE	5	29	1.50	49.62	68.80	119609	49.47
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.01	53.80	93.80	8136	28.25
CFE	8	30	0.30	61.20	107.00	162046	66.98
Good Year	1	34					
Good Year	2	33					
Good Year	3	35					

**Cuadro 20 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Julio/82 a Abril/83**

JUL/82							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	2.00	48.00	58.00	81949	39.88
CFE	2	27	1.50	48.60	61.00	65175	32.56
CFE	3	31	0.02	50.44	52.00	60443	29.72
CFE	4	39	--	55.20	60.20	23141	15.72
CFE	5	29	1.00	50.39	69.70	85397	41.18
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	--	--	--	--
CFE	8	30	0.02	51.50	109.30	124450	60.02
Good Year	1	34	--	--	--	42220	22.09
Good Year	2	33	--	--	--	8972	24.92
Good Year	3	35	--	--	--	51086	26.72
ENE/83							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	46.43	53.43	165569	61.82	
CFE	2	27	--	--	--	--	
CFE	3	31	50.50	54.50	104198	40.20	
CFE	4	39	56.20	62.20	64035	25.27	
CFE	5	29	56.12	77.12	130690	51.57	
CFE	6	40	--	--	--	--	
CFE	7	32	60.80	95.80	80150	30.25	
CFE	8	30	52.80	112.00	159141	59.42	
Good Year	1	34	--	--	39880	22.02	
Good Year	2	33	0.491	--	2656	23.06	
Good Year	3	35	--	--	51927	26.66	
MAR/83							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	--	--	--	--	
CFE	2	27	--	--	--	--	
CFE	3	31	--	--	--	--	
CFE	4	39	--	--	--	--	
CFE	5	29	--	--	--	--	
CFE	6	40	--	--	--	--	
CFE	7	32	--	--	--	--	
CFE	8	30	--	--	--	--	
Good Year	1	34	0.044	--	39090	22.30	
Good Year	2	33	0.28	--	3709	20.61	
Good Year	3	35	0.071	--	46923	25.91	
ABR/83							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	50.80	58.43	160617	61.97	
CFE	2	27	--	--	--	--	
CFE	3	31	50.77	54.50	74433	28.72	
CFE	4	39	59.20	68.13	46393	23.52	
CFE	5	29	48.56	75.32	140832	54.33	
CFE	6	40	--	--	--	--	
CFE	7	32	56.73	91.68	68947	26.60	
CFE	8	30	52.08	105.80	162518	62.70	
Good Year	1	34	0.0362	--	32670	21.66	
Good Year	2	33	0.0050	--	13741	26.00	
Good Year	3	35	0.0460	--	50269	26.75	

**Cuadro 21 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Mayo/83 a Septiembre/83**

MAY/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28	52.00	58.20	124070	59.83
CFE	2	27	54.10	84.30	50584	50.18
CFE	3	31	48.50	53.50	33799	16.30
CFE	4	39	49.00	56.00	37562	17.87
CFE	5	29	51.04	72.80	110394	54.08
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	57.50	91.30	51979	25.78
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	0	--	45400	22.24
Good Year	2	33	4.00	--	7050	24.79
Good Year	3	35	0.24	--	53247	26.65

JUN/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28	51.20	58.03	160401	61.88
CFE	2	27	--	--	--	--
CFE	3	31	50.30	54.00	73920	29.17
CFE	4	39	54.00	55.00	44252	17.87
CFE	5	29	54.00	74.00	137975	55.07
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	65.50	96.12	48871	19.28
CFE	8	30	62.10	111.00	30635	64.00
Good Year	1	34	--	--	42510	22.15
Good Year	2	33	--	--	8205	22.57
Good Year	3	35	--	--	47873	26.65

AGO/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28				
CFE	2	27				
CFE	3	31				
CFE	4	39				
CFE	5	29				
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32				
CFE	8	30				
Good Year	1	34	0	--	39800	25.24
Good Year	2	33	2	--	6602	24.13
Good Year	3	35	0	--	59540	22.94

SEP/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28				
CFE	2	27				
CFE	3	31				
CFE	4	39				
CFE	5	29				
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32				
CFE	8	30				
Good Year	1	34	0.042	--	--	--
Good Year	2	33	0.270	--	--	--
Good Year	3	35	0.256	--	--	--

**Cuadro 21 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Mayo/83 a Septiembre/83**

MAY/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28	52.00	58.20	124070	59.83
CFE	2	27	54.10	84.30	50584	50.18
CFE	3	31	48.50	53.50	33799	16.30
CFE	4	39	49.00	56.00	37562	17.87
CFE	5	29	51.04	72.80	110394	54.08
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	57.50	91.30	51979	25.78
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	0	--	45400	22.24
Good Year	2	33	4.00	--	7050	24.79
Good Year	3	35	0.24	--	53247	26.65

JUN/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28	51.20	58.03	160401	61.88
CFE	2	27	--	--	--	--
CFE	3	31	50.30	54.00	73920	29.17
CFE	4	39	54.00	55.00	44252	17.87
CFE	5	29	54.00	74.00	137975	55.07
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	65.50	96.12	48871	19.28
CFE	8	30	62.10	111.00	30635	64.00
Good Year	1	34	--	--	42510	22.15
Good Year	2	33	--	--	8205	22.57
Good Year	3	35	--	--	47873	26.65

AGO/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28				
CFE	2	27				
CFE	3	31				
CFE	4	39				
CFE	5	29				
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32				
CFE	8	30				
Good Year	1	34	0	--	39800	25.24
Good Year	2	33	2	--	6602	24.13
Good Year	3	35	0	--	59540	22.94

SEP/83						
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1	28				
CFE	2	27				
CFE	3	31				
CFE	4	39				
CFE	5	29				
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32				
CFE	8	30				
Good Year	1	34	0.042	--	--	--
Good Year	2	33	0.270	--	--	--
Good Year	3	35	0.256	--	--	--

Cuadro 22 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.

Octubre/83 a Enero/84

OCT/83

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)
CFE	1	28	50.80	55.08	104313	60.37
CFE	2	27	52.07	64.40	100	62.03
CFE	3	31	50.00	52.40	95776	36.47
CFE	4	39	54.92	56.30	24570	14.22
CFE	5	29	50.00	71.40	97634	56.50
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	60.00	91.60	4631	26.80
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	--	--	39590	22.13
Good Year	2	33	--	--	5455	19.94
Good Year	3	35	--	--	53277	26.01

NOV/83

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)
CFE	1	28	1.700			
CFE	2	27	--	--	--	--
CFE	3	31	0.050			
CFE	4	39	0.600			
CFE	5	29	2.300			
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	1.300			
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	0.032	--	32670	21.76
Good Year	2	33	3.710	--	1578	23.07
Good Year	3	35	0.132	--	47873	26.65

DIC/83

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)
CFE	1	28	1.60			
CFE	2	27				
CFE	3	31	0.03			
CFE	4	39	0.60			
CFE	5	29	0.40			
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	0.01			
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	--	--	35620	20.03
Good Year	2	33	--	--	--	--
Good Year	3	35	--	--	37867	22.92

ENE/84

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)
CFE	1	28	2.100			
CFE	2	27	1.800			
CFE	3	31	0.010			
CFE	4	39	0.600			
CFE	5	29	1.400			
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	0.020			
CFE	8	30	--	--	--	--
Good Year	1	34	0.000	--	38170	21.64
Good Year	2	33	1.800	--	--	--
Good Year	3	35	0.113	--	50366	24.25

**Cuadro 23 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Febrero/84 a Julio/84**

FEB/84							
	No. POZO	Cr. (ppm)	HE (m)	MD (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	2.000				
CFE	2	27	1.700				
CFE	3	31	0.040				
CFE	4	39	0.700				
CFE	5	29	1.600				
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.030				
CFE	8	30	--	--	--	--	--
Good Year	1	34	0.000	--	39070	22.06	
Good Year	2	33	0.530	--	1577	25.77	
Good Year	3	35	0.177	--	49655	25.98	
MAR/84							
	No. POZO	Cr. (ppm)	HE (m)	MD (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.50	51.00	57.20	102816	57.17
CFE	2	27	--	--	--	--	--
CFE	3	31	0.03	48.00	53.00	30318	16.30
CFE	4	39	0.60	45.00	51.30	22512	17.87
CFE	5	29	1.20	56.12	68.62	93562	51.57
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	--	--	--	--
CFE	8	30	0.03	58.00	110.00	100806	58.28
Good Year	1	34	--	--	--	41430	22.05
Good Year	2	33	--	--	--	1418	26.26
Good Year	3	35	--	--	--	54002	25.95
JUN/84							
	No. POZO	Cr. (ppm)	HE (m)	MD (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.70	53.32	59.70	151443	59.25
CFE	2	27	1.10	36.49	57.72	148929	58.28
CFE	3	31	0.05	53.28	60.12	76850	30.07
CFE	4	39	0.90	51.60	56.60	67222	26.30
CFE	5	29	1.20	46.80	65.52	135511	54.08
CFE	6	40	--	60.00	108.00	132379	52.83
CFE	7	32	0.70	61.30	78.20	50668	24.18
CFE	8	30	--	--	--	--	--
Good Year	1	34	--	--	--	41550	22.11
Good Year	2	33	--	--	--	1435	24.91
Good Year	3	35	--	--	--	40746	22.28
JUL/84							
	No. POZO	Cr. (ppm)	HE (m)	MD (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.80	53.52	59.14	154640	61.02
CFE	2	27	1.20	54.80	61.80	70178	30.08
CFE	3	31	0.04	--	--	--	--
CFE	4	39	1.20	--	--	--	--
CFE	5	29	0.20	52.90	75.90	140843	52.60
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.60	62.18	79.10	79664	30.07
CFE	8	30	--	58.89	106.00	148387	58.38
Good Year	1	34	--	--	--	39210	22.05
Good Year	2	33	--	--	--	1542	25.20
Good Year	3	35	--	--	--	48762	24.58

**Cuadro 24 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Agosto/84 a Noviembre/84**

AGO/84

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.90	53.52	59.14	154640	61.02
CFE	2	27	1.10	54.80	61.80	70178	30.08
CFE	3	31	0.04	--	--	--	--
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.20	54.76	71.84	122001	45.55
CFE	6	40	--	--	--	--	--

SEP/84

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.10	52.50	58.70	78343	60.00
CFE	2	27	0.80	54.28	63.27	88437	35.28
CFE	3	31	0.05	51.84	59.74	5934	36.55
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	1.40	52.00	77.84	100267	38.68
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.02	57.74	90.70	91454	35.28
CFE	8	30	--	--	--	--	--
Good Year	1	34	--	--	--	40020	21.97
Good Year	2	33	--	--	--	639	25.36
Good Year	3	35	--	--	--	48216	24.31

OCT/84

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.80	50.80	55.08	104313	60.37
CFE	2	27	1.20	52.07	64.40	100	62.03
CFE	3	31	0.03	50.00	52.40	95776	36.47
CFE	4	39	--	54.92	56.30	24570	14.22
CFE	5	29	1.40	50.00	71.40	97634	56.50
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.02	60.00	91.60	4631	26.80
CFE	8	30	--	--	--	--	--
Good Year	1	34	--	--	--	38150	22.00
Good Year	2	33	--	--	--	1563	16.50
Good Year	3	35	--	--	--	46923	26.44

NOV/84

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	--	52.10	57.30	30330	55.07
CFE	2	27	1.500	56.30	67.20	185777	52.38
CFE	3	31	0.010	51.00	58.00	6414	15.47
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.200	52.10	77.20	174676	66.65
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.005	59.40	94.50	56678	21.87
CFE	8	30	0.200	72.30	97.00	20841	72.37
Good Year	1	34	--	--	--	37200	22.03
Good Year	2	33	--	--	--	2135	25.79
Good Year	3	35	--	--	--	38212	24.57

**Cuadro 25 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Diciembre/84 a Marzo/85**

DIC/84							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	52.0	57.4	13789	34.20	
CFE	2	27	56.0	67.5	87467	54.23	
CFE	3	31	--	--	--	--	
CFE	4	39	--	--	--	--	
CFE	5	29	51.0	78.3	122515	47.27	
CFE	6	40	--	--	--	--	
CFE	7	32	60.0	94.0	84547	32.62	
CFE	8	30	72.5	97.3	--	70.00	
Good Year	1	34	--	--	33820	22.00	
Good Year	2	33	--	--	2038	25.73	
Good Year	3	35	--	--	40027	25.86	
ENE/85							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.40	51.20	56.80	62380	34.20
CFE	2	27	1.20	55.04	65.20	11089	54.23
CFE	3	31	0.01	54.10	57.22	23608	15.47
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.60	53.10	78.30	119792	47.27
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.20	58.30	93.06	45089	32.62
CFE	8	30	0.10	74.50	97.30	141120	70.00
Good Year	1	34	--	--	39260	22.03	
Good Year	2	33	--	--	6636	25.95	
Good Year	3	35	--	--	54795	26.66	
FEB/85							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.300	51.70	56.90	51618	59.25
CFE	2	27	1.500	58.50	76.20	63528	68.93
CFE	5	31	0.020	52.24	59.51	131796	61.02
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.900	58.20	78.00	153561	66.65
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.001	57.56	92.40	176256	76.50
CFE	8	30	0.040	97.80	102.70	144513	65.17
Good Year	1	34	--	--	34950	22.06	
Good Year	2	33	--	--	10790	24.98	
Good Year	3	35	--	--	47573	24.38	
MAR/85							
	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.30	47.5	58.4	105796	59.25
CFE	2	27	1.60	52.2	66.3	119510	70.33
CFE	3	31	0.02	53.2	58.5	191332	61.02
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.70	54.1	78.0	147490	55.07
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.01	66.7	93.6	56304	21.25
CFE	8	30	0.30	94.5	103.0	130927	58.28
Good Year	1	34	--	--	43950	22.12	
Good Year	2	33	--	--	10790	24.98	
Good Year	3	35	--	--	53814	26.65	

**Cuadro 26 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Abril/85 a Julio/85**

ABR/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.40	48.30	58.24	27241	32.62
CFE	2	27	1.70	56.30	62.30	42283	31.92
CFE	3	31	0.01	52.80	55.28	89743	39.95
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.60	51.12	75.10	57795	23.07
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.02	69.80	89.80	70716	27.28
CFE	8	30	0.30	95.20	104.50	115772	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	37920	22.04
Good Year	2	33	--	--	--	5031	25.88
Good Year	3	35	--	--	--	46200	26.03

MAY/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.50	48.30	58.10	28180	32.62
CFE	2	27	0.90	53.30	63.28	46149	33.38
CFE	3	31	0.02	55.10	57.60	94222	44.82
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.70	53.15	75.10	133920	50.00
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.02	70.70	88.80	72775	27.47
CFE	8	30	0.03	90.20	105.00	134803	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	26540	22.01
Good Year	2	33	--	--	--	2621	26.00
Good Year	3	35	--	--	--	19483	26.02

JUN/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.00	44.40	54.42	66160	51.05
CFE	2	27	1.30	52.28	65.28	119951	56.28
CFE	3	31	0.02	54.50	57.80	60889	25.78
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.50	--	--	--	--
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	71.50	87.70	61020	28.25
CFE	8	30	0.03	91.30	105.00	137975	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	31360	22.00
Good Year	2	33	--	--	--	7411	26.06
Good Year	3	35	--	--	--	33790	26.00

JUL/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lps)	
CFE	1	28	1.60	46.40	49.40	50756	32.00
CFE	2	27	1.30	54.28	61.28	18445	59.78
CFE	3	31	0.03	50.40	53.60	65088	28.25
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.70	54.12	73.12	106829	42.52
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	--	--	--	--
CFE	8	30	0	85.00	107.00	143922	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	50720	22.01
Good Year	2	33	--	--	--	4948	26.16
Good Year	3	35	--	--	--	41502	26.02

Cuadro 27 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados. Agosto/85 a Noviembre/85

AGO/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1 28	1.30	43.40	49.38	37808	36.47
CFE	2 27	1.60	54.30	61.30	65862	53.18
CFE	3 31	0.03	50.40	53.50	65809	30.07
CFE	4 39	--	--	--	--	--
CFE	5 29	0.40	56.20	73.10	115876	42.52
CFE	6 40	--	--	--	--	--
CFE	7 32	--	--	--	--	--
CFE	8 30	0.02	80.00	110.00	147490	55.07
Good Year	1 34	--	--	--	42470	22.01
Good Year	2 33	--	--	--	14420	25.03
Good Year	3 35	--	--	--	48678	26.00

SEP/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1 28	1.90	51.45	57.92	20583	51.05
CFE	2 27	0.90	51.30	59.30	88364	52.90
CFE	3 31	0.02	51.50	57.10	65992	34.20
CFE	4 39	--	--	--	--	--
CFE	5 29	0.40	47.10	57.20	118160	52.60
CFE	6 40	--	--	--	--	--
CFE	7 32	--	--	--	--	--
CFE	8 30	0.03	80.50	111.00	139360	55.07
Good Year	1 34	--	--	--	42320	22.01
Good Year	2 33	--	--	--	12053	25.95
Good Year	3 35	--	--	--	17784	26.00

OCT/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1 28	1.70	51.40	57.30	24288	36.67
CFE	2 27	1.80	--	--	--	--
CFE	3 31	0.03	53.40	56.30	64064	36.47
CFE	4 39	--	--	--	--	--
CFE	5 29	0.70	54.15	71.20	93729	47.17
CFE	6 40	--	--	--	--	--
CFE	7 32	--	--	--	--	--
CFE	8 30	0.04	83.50	110.00	137776	55.07
Good Year	1 34	--	--	--	40490	21.92
Good Year	2 33	--	--	--	14622	24.92
Good Year	3 35	--	--	--	12453	25.81

NOV/85

	No. POZO	Cr. (ppm)	NE (m)	ND (m)	Consumo (m(3))	Gasto (lps)
CFE	1 28	1.800	52.3	56.2	59097	34.20
CFE	2 27	--	--	--	--	--
CFE	3 31	0.002	51.9	55.2	82968	36.46
CFE	4 39	--	--	--	--	--
CFE	5 29	0.400	55.0	70.5	87696	33.83
CFE	6 40	--	--	--	--	--
CFE	7 32	--	--	--	--	--
CFE	8 30	0.004	84.5	112.0	141146	55.07
Good Year	1 34	--	--	--	38900	21.96
Good Year	2 33	--	--	--	8616	24.93
Good Year	3 35	--	--	--	16077	24.95

**Cuadro 28 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados.
Diciembre/85 a Marzo/86**

DIC/85							
	No.	Cr.	HE	MD	Consumo	Gasto	
	POZO	(ppm)	(m)	(m)	(m ³)	(lps)	
CFE	1	28	1.200	53.3	55.4	58080	36.67
CFE	2	27	1.800	--	--	--	--
CFE	3	31	0.003	52.5	56.3	65871	31.77
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.400	57.5	72.3	100098	39.95
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	--	--	--	--	--
CFE	8	30	0.004	85.0	112.0	147490	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	41840	23.01
Good Year	2	33	--	--	--	13704	25.04
Good Year	3	35	--	--	--	30084	27.00
ENE/86							
	No.	Cr.	HE	MD	Consumo	Gasto	
	POZO	(ppm)	(m)	(m)	(m ³)	(lps)	
CFE	1	28	1.40	51.20	57.20	91601	34.20
CFE	2	27	--	--	--	--	--
CFE	3	31	0.03	56.50	60.00	81312	36.67
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.70	62.10	79.12	90619	33.83
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.20	--	--	--	--
CFE	8	30	0.05	82.50	110.50	147490	55.07
Good Year	1	34	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	--	--	--	--	--
Good Year	3	35	--	--	--	--	--
FEB/86							
	No.	Cr.	HE	MD	Consumo	Gasto	
	POZO	(ppm)	(m)	(m)	(m ³)	(lps)	
CFE	1	28	1.40	51.30	58.00	69804	35.00
CFE	2	27	--	--	--	--	--
CFE	3	31	0.03	53.20	56.00	51256	28.25
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.30	54.30	71.90	116930	48.92
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.20	57.50	81.50	43878	24.18
CFE	8	30	0.04	54.50	89.10	144220	60.33
Good Year	1	34	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	--	--	--	--	--
Good Year	3	35	--	--	--	--	--
MAR/86							
	No.	Cr.	HE	MD	Consumo	Gasto	
	POZO	(ppm)	(m)	(m)	(m ³)	(lps)	
CFE	1	28	1.30	52.10	57.50	59415	35.42
CFE	2	27	--	--	--	--	--
CFE	3	31	0.02	52.20	58.50	83424	36.67
CFE	4	39	--	--	--	--	--
CFE	5	29	0.80	56.10	75.00	132437	50.53
CFE	6	40	--	--	--	--	--
CFE	7	32	0.03	58.10	82.30	64728	24.17
CFE	8	30	0.04	64.60	97.30	158562	63.28
Good Year	1	34	--	--	--	--	--
Good Year	2	33	--	--	--	--	--
Good Year	3	35	--	--	--	--	--

**Cuadro 29 Datos químicos e hidrológicos de pozos contaminados
Abril/86**

ABR/86						
	No. POZO	Cr. (ppm)	ME (m)	ND (m)	Consumo (m ³)	Gasto (lpe)
CFE	1	28	53.2	56.6	66238	34.20
CFE	2	27	49.3	61.4	46905	52.12
CFE	3	31	50.3	57.4	67967	34.20
CFE	4	39	--	--	--	--
CFE	5	29	52.1	67.1	84278	39.95
CFE	6	40	--	--	--	--
CFE	7	32	67.0	96.4	65987	26.30
CFE	8	30	55.2	85.1	99840	53.33
Good Year	1	34	--	--		
Good Year	2	33	--	--		
Good Year	3	35	--	--		

Quadro 30

Evolución de las presiones piezométricas en el tiempo
(Período Junio de 1973 - Dic. 1977)

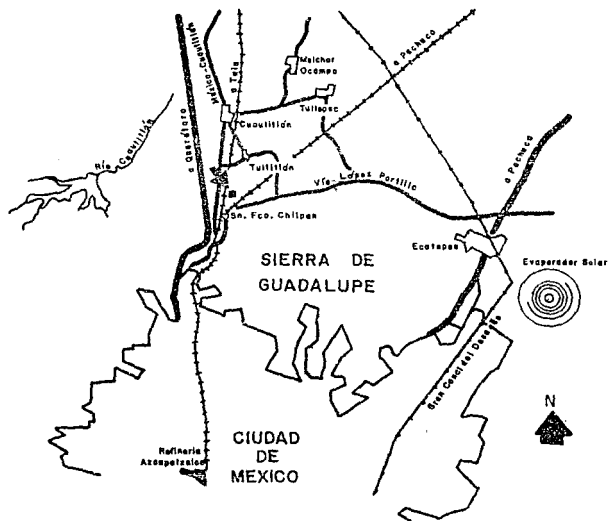
Piezómetro	Evolución de la presión en el nivel freático.	Evolución de la presión a 50 m. de profundidad.	Evolución de la presión a profundidades cercanas a 100 m
P-551	Abatimiento 0.4 m por año.	Abatimiento de 0.4 m por año	Abatimiento de 3.8 m por año
P-438-1	No hay información	No hay información	Tendencia estable
P-508-1	Se secó (abatimiento no cuantificable)	Se secó (abatimiento no cuantificable)	El piezometro no alcanza esa profundidad
P-532	Tendencia estable (posible recuperación en temporada de lluvias)	Tendencia estable (posible recuperación en temporada de lluvias)	Abatimiento y recuperación sistemática
P-411	Se secó (abatimiento no cuantificable)	Abatimiento y recuperación sistemática.	Abatimiento y recuperación sistemática
P-552	Abatimiento de 0.3 m por año	Abatimiento de 1.1 m por año	No hay información
P-516	Se secó (abatimiento no cuantificable)	Posible alteración artificial	El piezometro no alcanza esa profundidad

Cuadro No. 31






Evolución general del nivel estático de los pozos

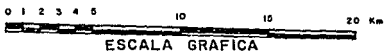
Población	Elevación del Nivel Estático (m.s.n.m.)		Abatimiento por año (m)
	1961	1983	
San Fco Chilpa	2240	2205	1.6
Tultepec	2239	2210	1.3
Cuautitlán	2245	2205	1.8
Coacalco	2236	2205	1.4

FIG. 1
LOCALIZACION ZONA DE ESTUDIO



REFERENCIAS

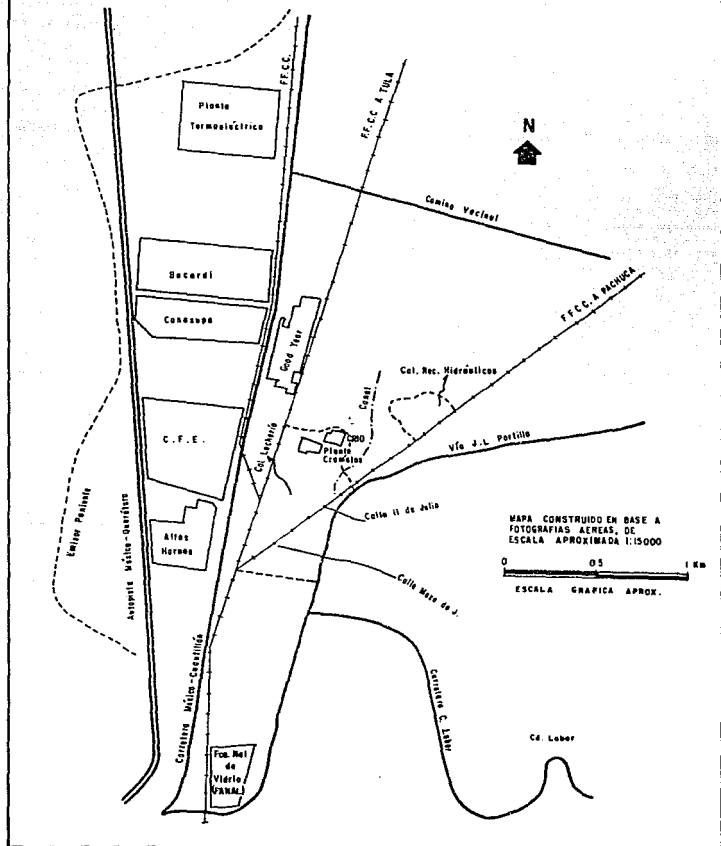
- Centro de la zona de estudio
-  Asentamiento de población
-  Vía de Ferrocarril
-  Autopista
-  Carretera
-  Curso fluvial



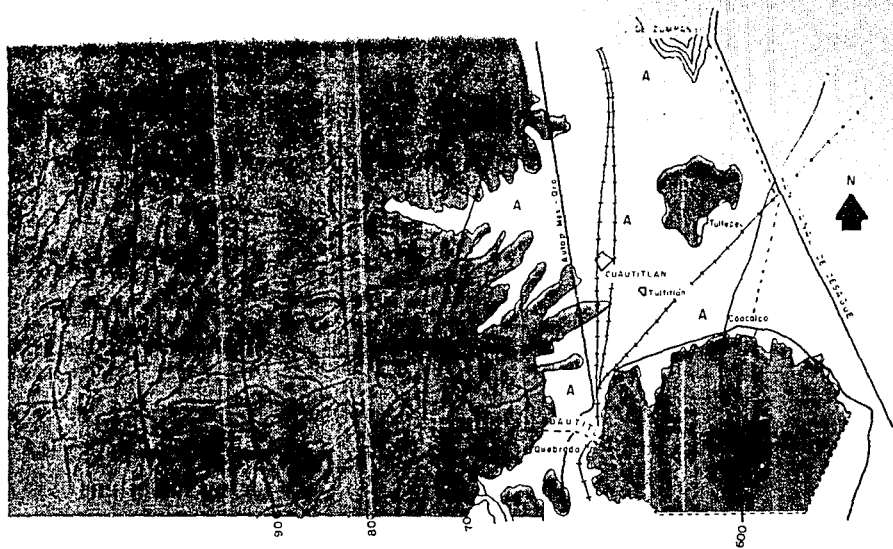
FUENTE: Carta Ciudad de México, 1:250,000. INEGI-SPP.

FIG. 2

AREA DE ESTUDIO



CARTA SINTETICA DEL MEDIO NATURAL



A Planicie (valle de Cuautitlán)

ZONA MONTAÑOSA

Con relativamente poca caudal de recarga

Con alta caudal de recarga

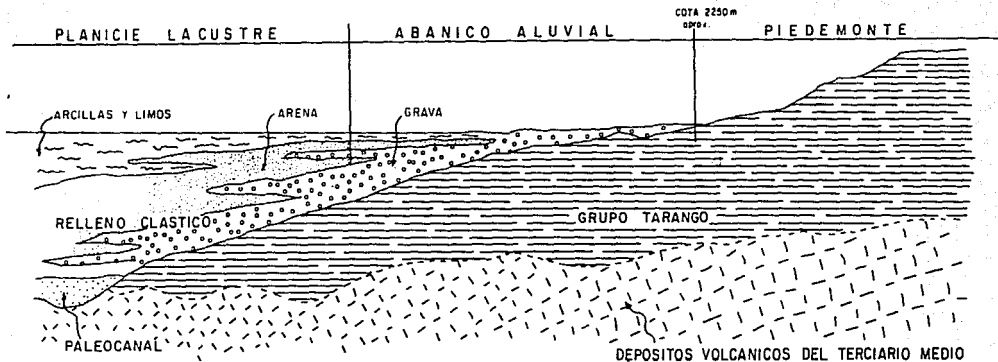
700 isoyeta
 Ferrocarril
 Carretera
 Curso fluvial

0 2 4 6 8 10 km
 ESCALA GRAFICA

FUENTE SRH Plano geológico y de isoyetas medias

FIG. 4

CORTE TRANSVERSAL GENERAL INDICANDO LA TRANSICION ENTRE PIEDEMONTE Y EL
RELLENO DE LA PLANICIE



FUENTE : SRH Hidrogeología del valle de Cuautitlán p.117

dibujó: juan carlos del olmo merates

FIG. 5

CICLO BIOGEOQUIMICO DEL CROMO

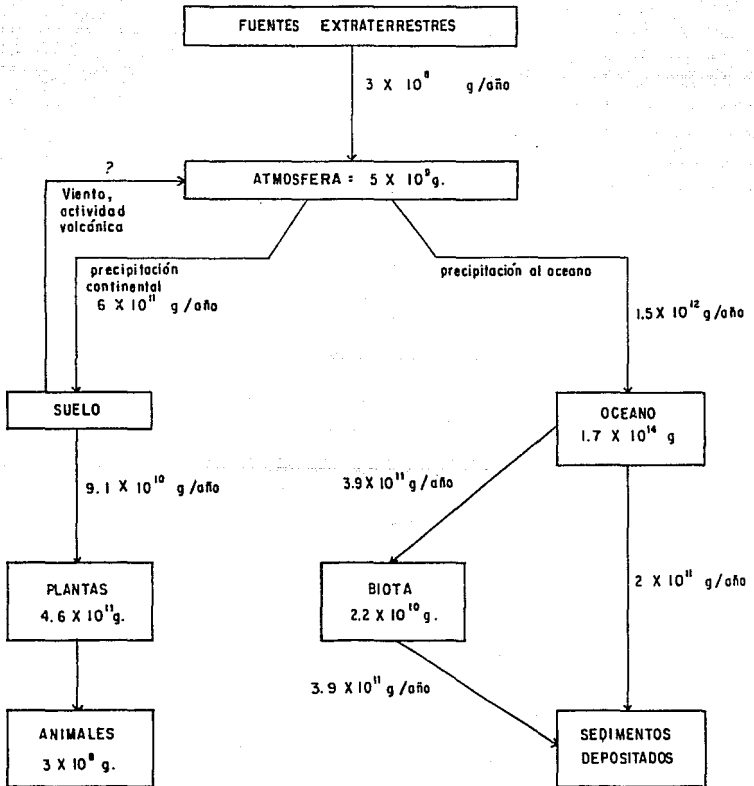
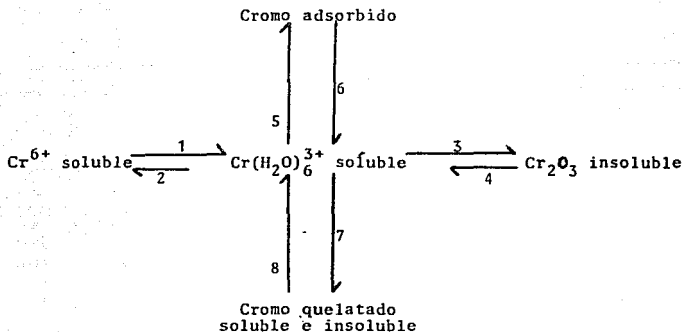


Fig. 6

EQUILIBRIO DEL CROMO EN SUELOS NO CONTAMINADOS



* El Cr^{6+} puede estar como HCrO_4^- o $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dependiendo del pH

(1) $\text{pH} > 3$

(2) $\text{pH} < 3$

(3) $\text{pH} > 5$

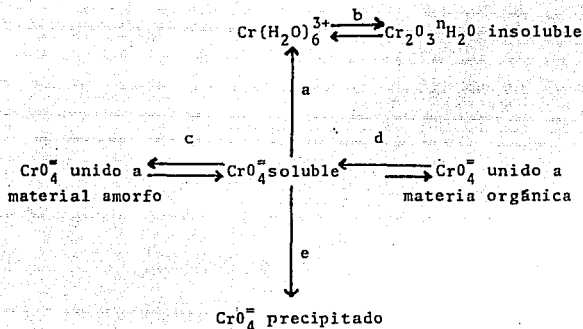
(4) $\text{pH} < 5$

(5) y (6) Equilibrio controlado por la presencia de arcillas y el pH.

(7) y (8) Equilibrio controlado por la presencia de material orgánico principalmente ácidos húmicos y fúlvicos.

Fig. 7

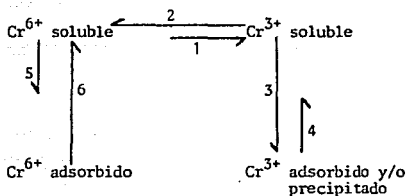
EQUILIBRIO DEL CROMO VI SUELOS CONTAMINADOS



- a) pH ácido y material oxidable.
- b) Equilibrio determinado por el pH
- c) Suelos ricos en material amorfo
- d) No se conoce mucho acerca de la unión con materia orgánica.
- e) En presencia de iones bario II, plomo II o plata I.

Fig. 8

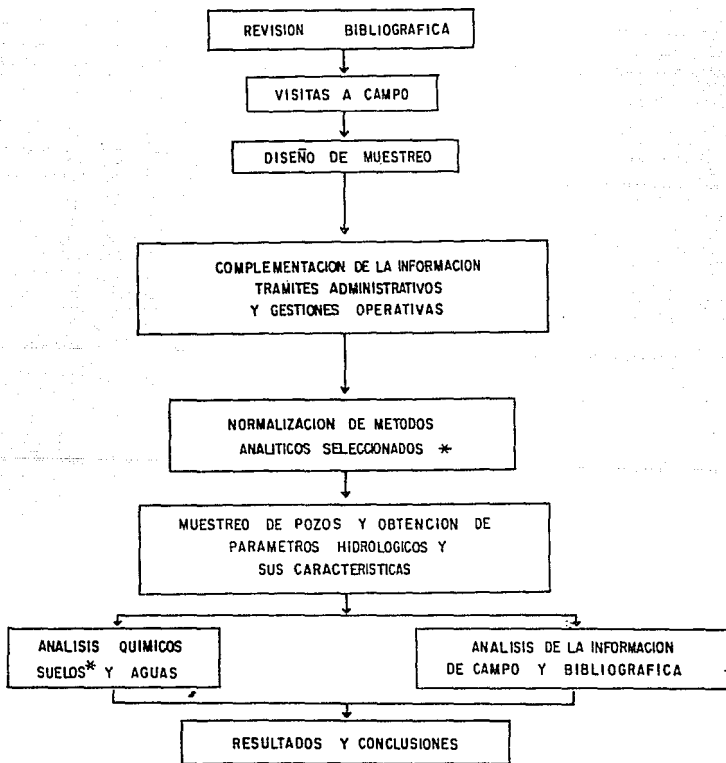
EQUILIBRIO DEL CROMO EN AGUA



- (1) pH ácido y material oxidable.
- (2) Presencia de oxígeno u otro agente oxidante (proceso lento).
- (3) $\text{pH} > 5$ o presencia de ligantes orgánicos de alto peso molecular o alto contenido de arcillas.
- (4) $\text{pH} < 5$
- (5) y (6) Equilibrio controlado por la presencia de material amorfo y el pH.

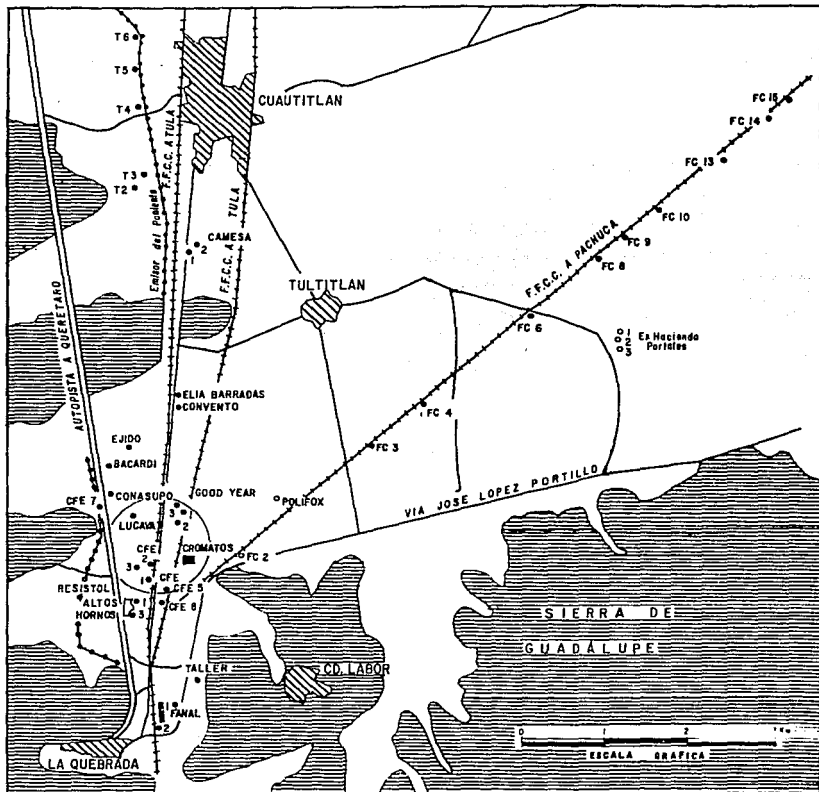
FIG. 9

METODOLOGIA Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES



(* Realizado por Villalobos Peñalosa M. (1987).

FIG. 10 LOCALIZACION DE LOS POZOS DE AGUA SUBTERRANEA MUESTREADA



SIMBOLOGIA



ELEVACIONES



PLANICIE



POBLACION

FC - RAMAL FC - LOS REYES (CAVM)

T - RAMAL TELOYUCAN (CAVM)

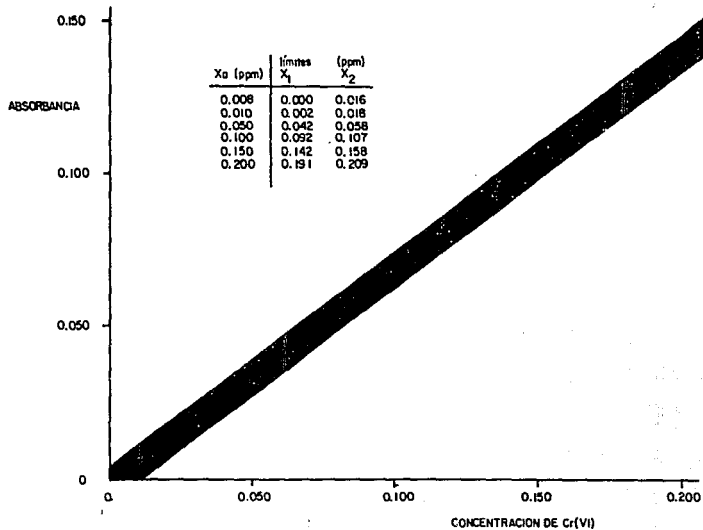


FIG. 1.1 BANDA DE CONFIANZA PARA LA REGRESION DE 0-0.2ppm EN LA DETERMINACION DE

Cr(VI) POR ESPECTROFOMETRIA

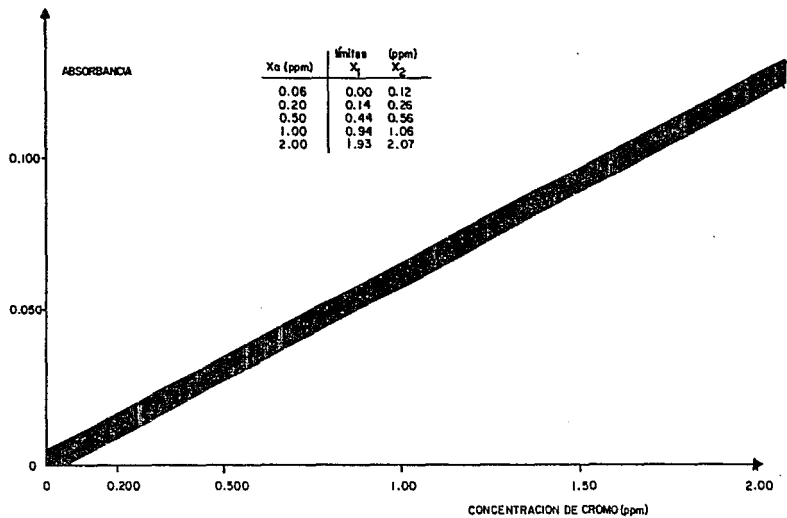


FIG. 12 BANDA DE CONFIANZA PARA LA REGRESION DE 0-2ppm EN LA DETERMINACION DE CROMO
POR ABSORCION ATOMICA

FIG. 13: GRAFICA DE CONCENTRACION MENSUAL DE CROMO EN EL POZO 2 DE GOOD YEAR-OXO CONTRA PRECIPITACION PLUVIAL

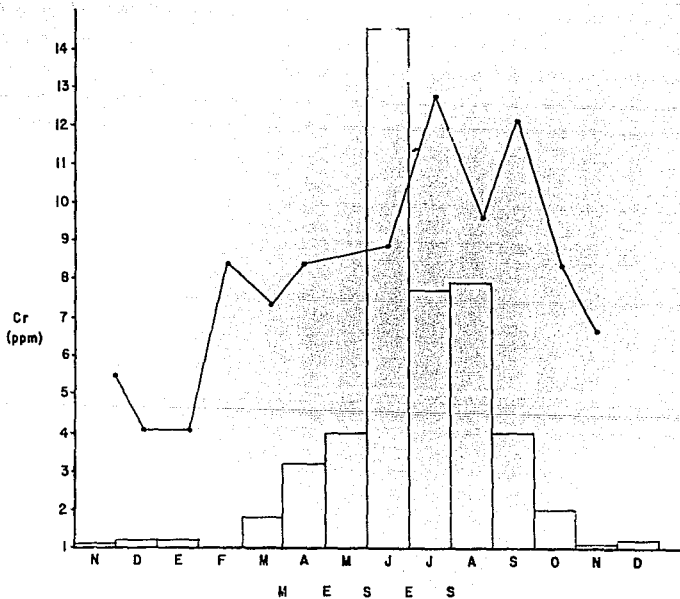


FIG. 14 DIFERENCIAS ENTRE LAS MEDIAS DE CONCENTRACION DE CROMO VI EN EPOCA SECA Y HUMEDA
EN POZOS CONTAMINADOS

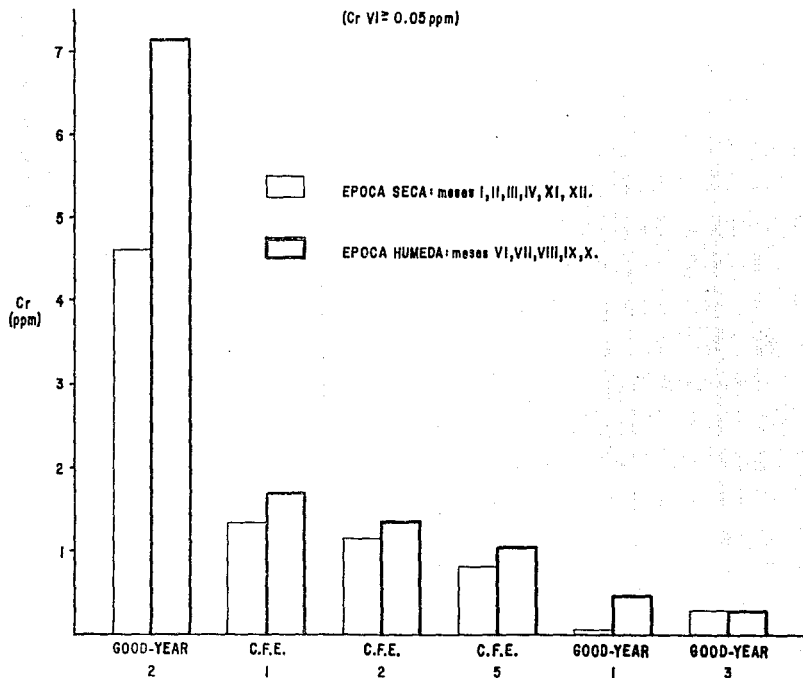
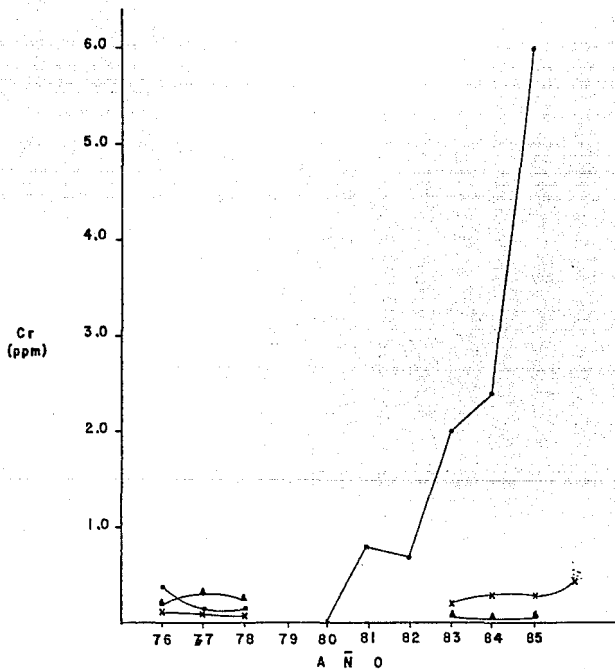


FIG. 15 POZOS CONTAMINADOS DE GOOD YEAR-OXO

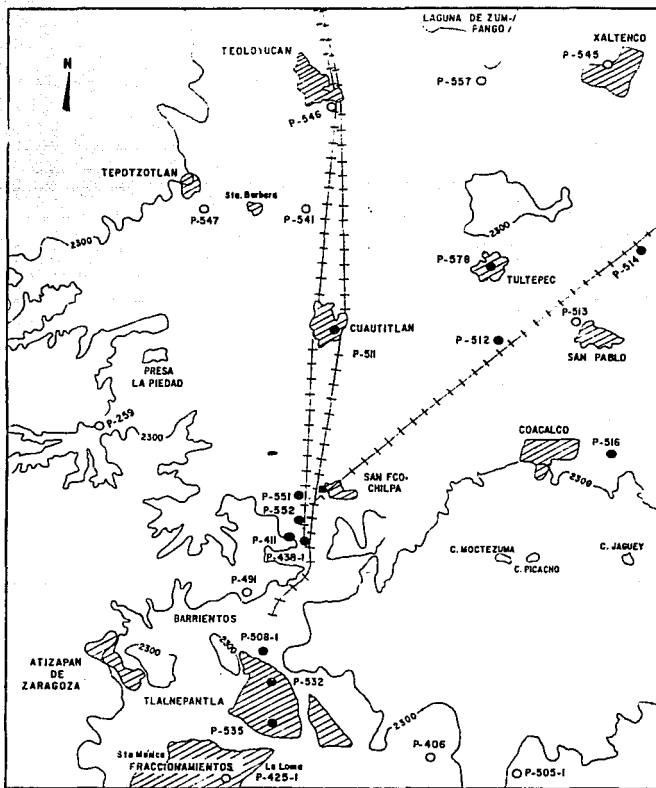
Contenido de cromo en diferentes años
(concentraciones medias)



- ▲ — ▲ — ▲ Pozo 1
- — ● — ● Pozo 2
- × — × — × Pozo 3

Datos de: Good Year-Oxo (1980-84), SARH (1976-78), UNAM (1984-85).

FIG. 16 LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES PIEZOMETRICAS ANALIZADAS



SIMBOLOGIA

- | | | | | | |
|------|-----------------------|---|---------------------------------|---|------------------------------------|
| ■ | Cementerio Industrial | ● | Estación Piezométrica Analizada | ○ | Estación Piezométrica No Analizada |
| 2300 | Curva de Nivel | + | Ferrocarril | ▨ | Población |

Fig. 17 Comportamiento piezométrico de la Estación P-411.

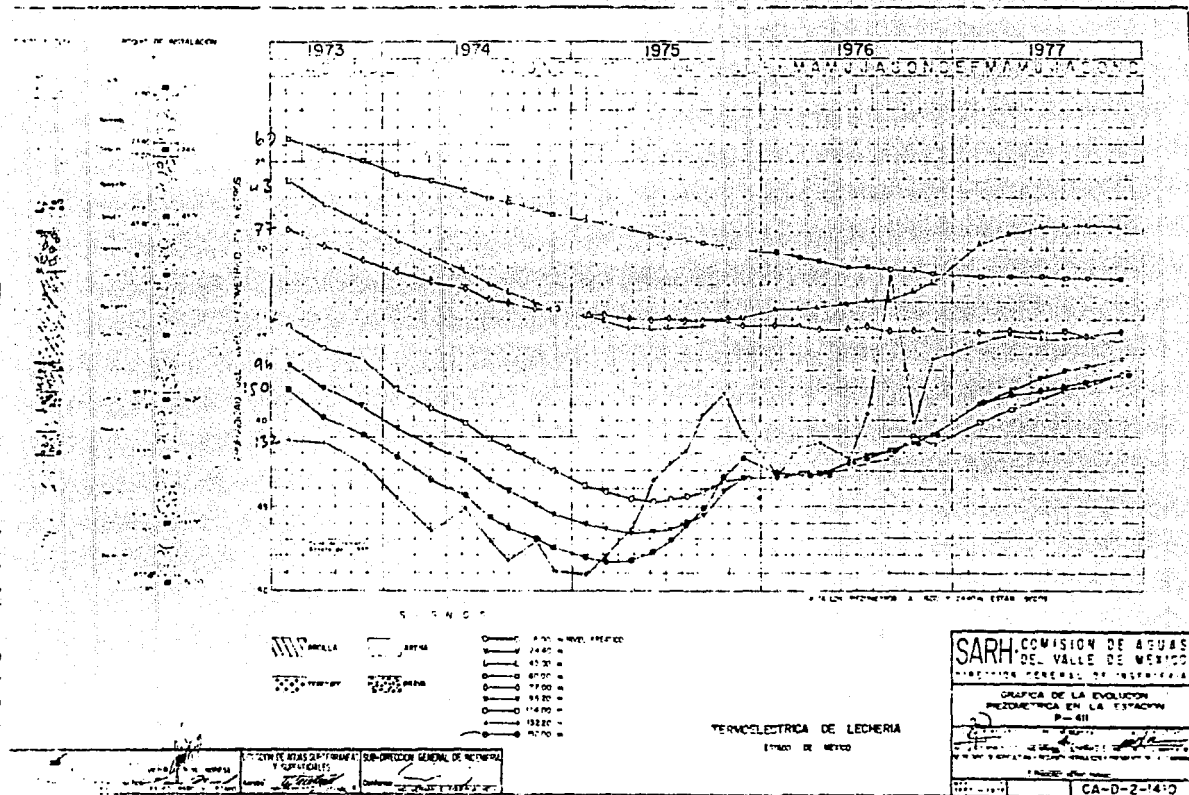


Fig. 18 Comportamiento piezométrico de la Estación P-438-1

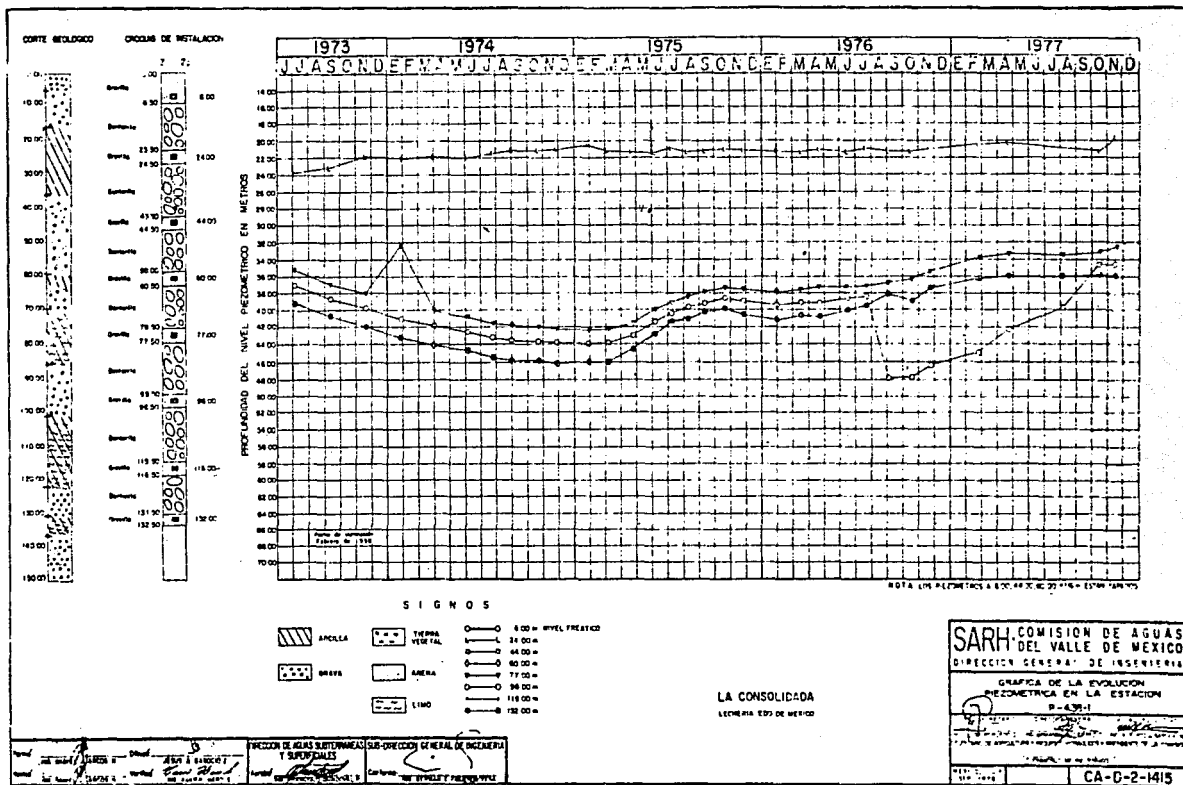


Fig. 20 Comportamiento piezométrico de la Estación P-511.

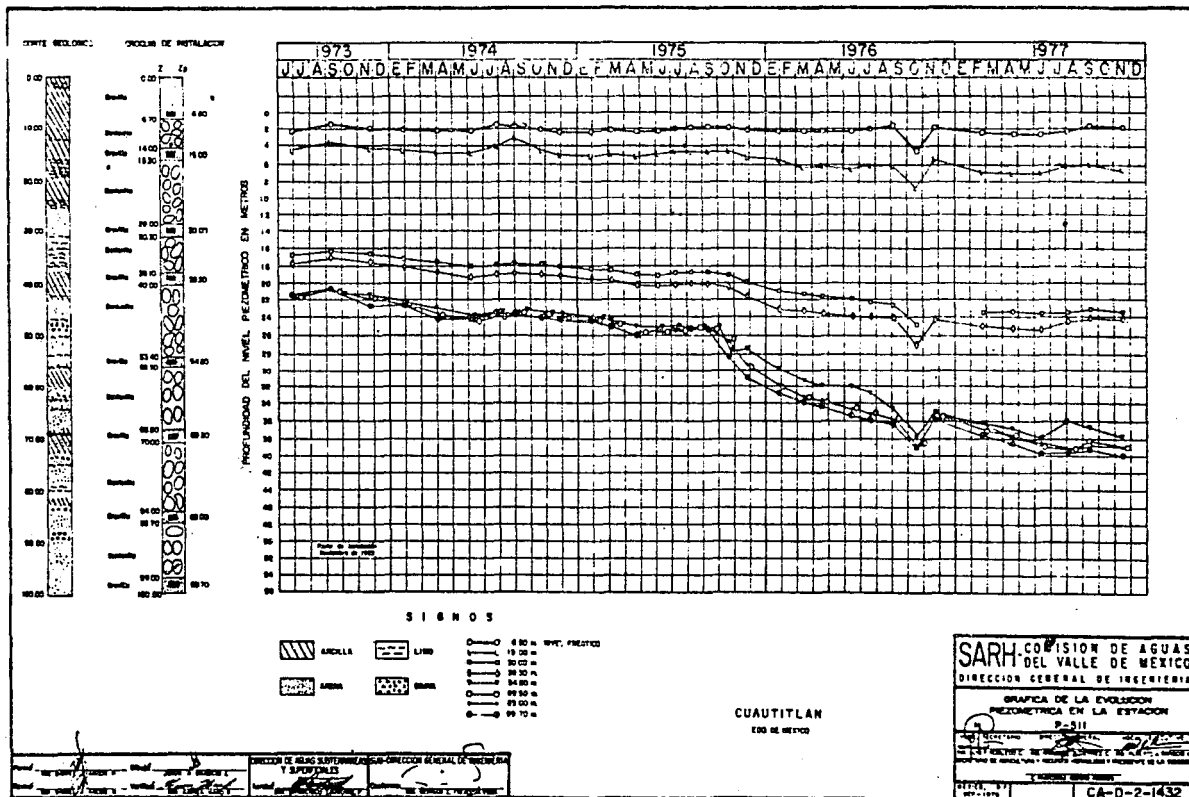


Fig. 22 Comportamiento piezométrico de la Estación P-514.

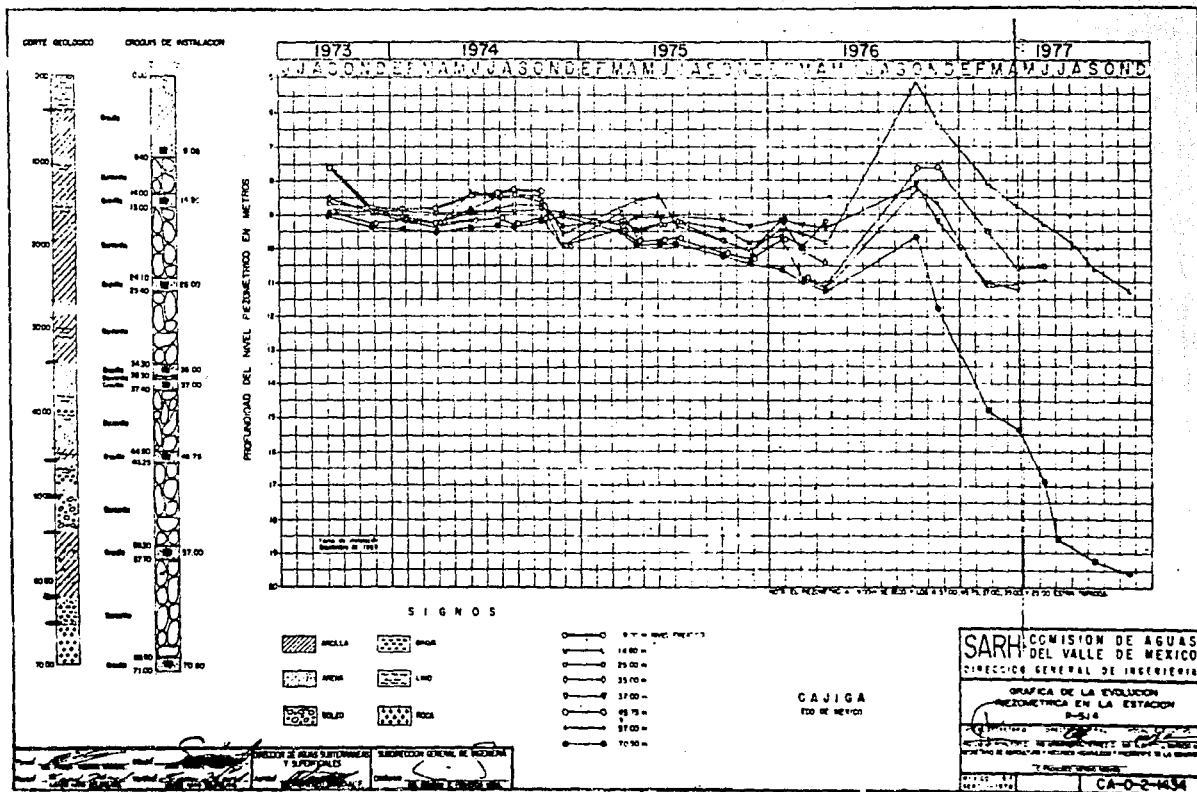


Fig. 23 Comportamiento piezométrico de la Estación P-516.

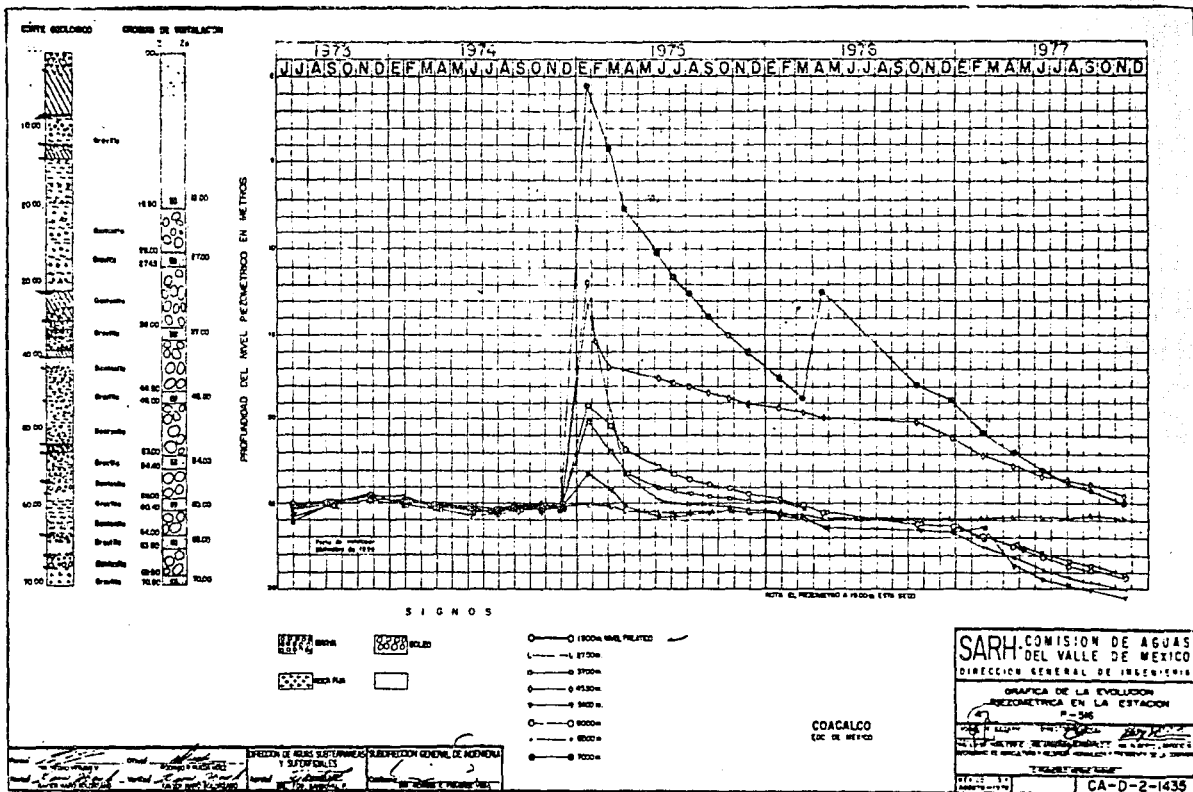


Fig. 26 Comportamiento piezométrico de la Estación P-552.

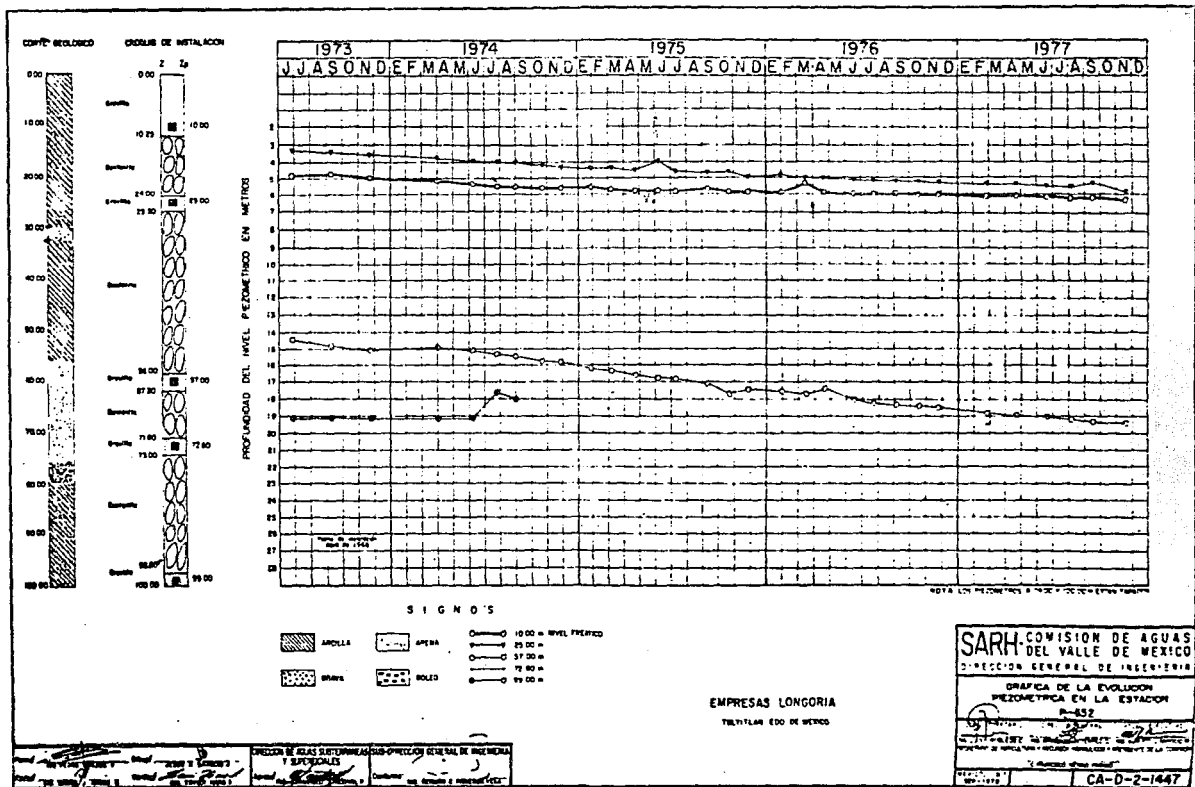


Fig. 27 Comportamiento piezométrico de la Estación P-578.

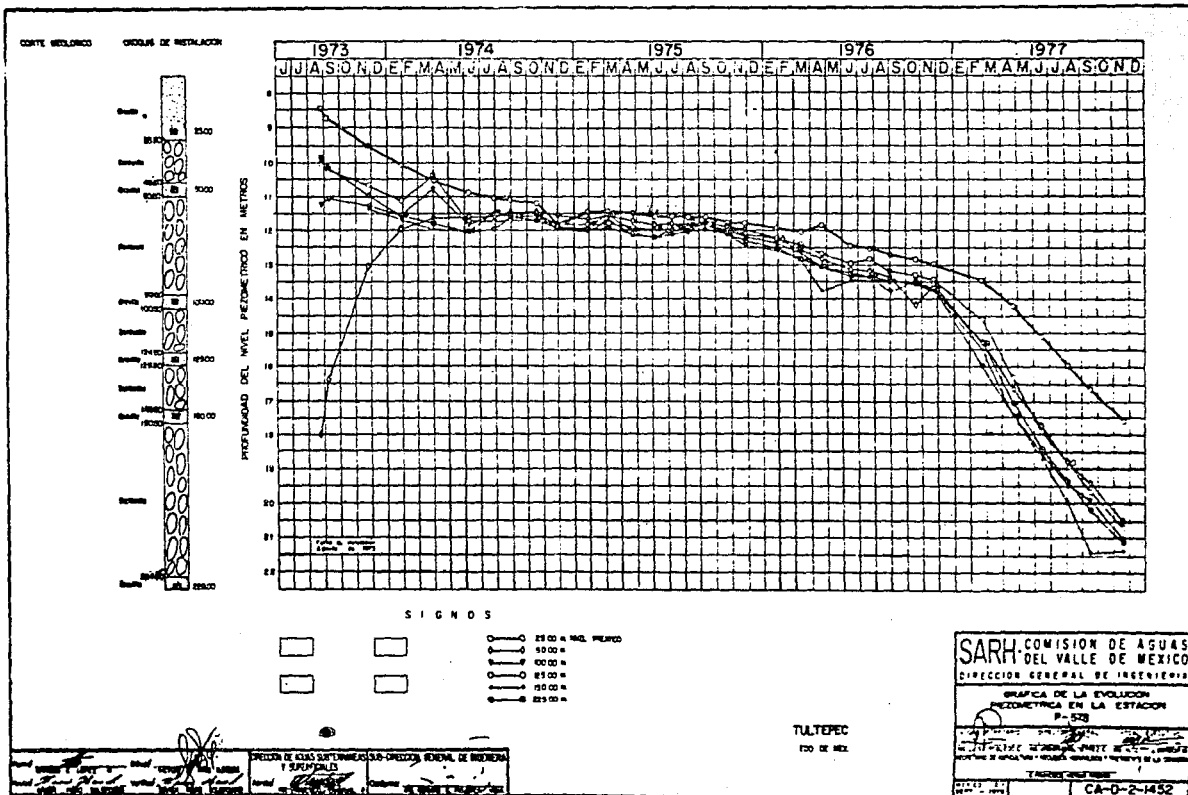


FIG. 28 EVOLUCION PIEZOMETRICA DE LA ESTACION P-55f (The Sydney Rose). UBICADA EN TULTITLAN, EDO. DE MEXICO (de septiembre 1968 a marzo 1987)

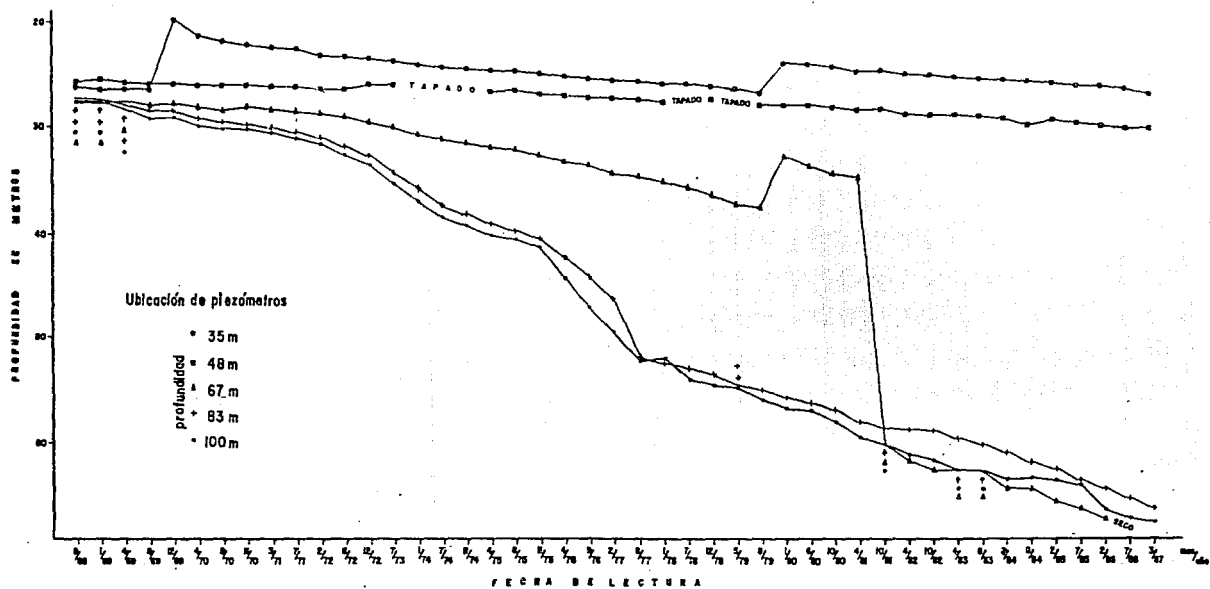
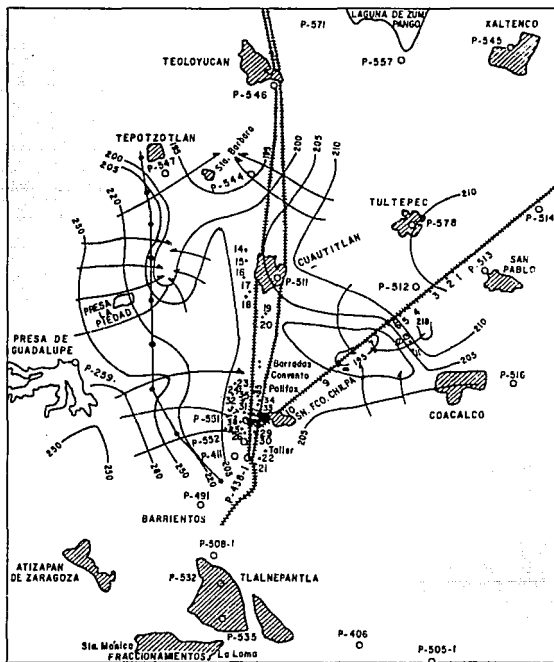


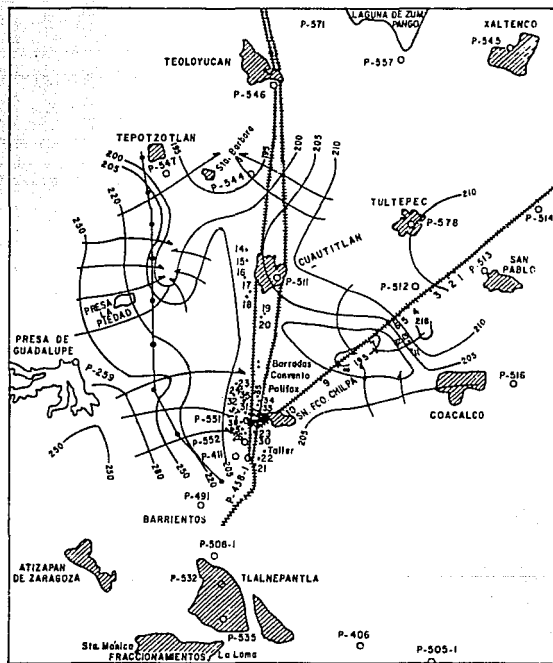
FIG. 30 RED DE FLUJO DE AGUAS SUBTERRANEAS (1983)



SIMBOLOGIA

CEMENTERIO INDUSTRIAL	■	EQUIPOTENCIAL (+2000m. altura sobre el nivel del mar del nivel estático)	— 210	FERROCARRIL	— · — · — ·
POZO	23	LINEA DE CORRIENTE	↘	POBLACION	◐
PIEZOMETRO	P-512	SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO	— ● —	PRESA O LAGO	—

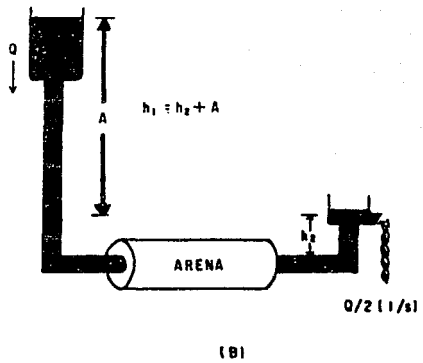
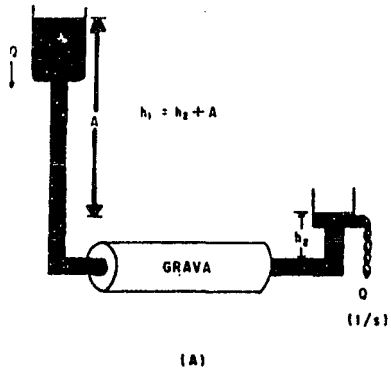
FIG. 30 RED DE FLUJO DE AGUAS SUBTERRANEAS (1983)



SIMBOLOGIA

- | | | | | | |
|-----------------------|------------|--|-------|--------------|-------------|
| CEMENTERIO INDUSTRIAL | ■ | EQUIPOTENCIAL (+2000m. altura sobre el nivel del mar del nivel estático) | — 210 | FERROCARRIL | — · — · — · |
| POZO | 23 | LÍNEA DE CORRIENTE | → | POBLACION | ▨ |
| PIEZOMETRO | P-512
○ | SISTEMA DE DRENAJE PROFUNDO | → | PRESA O LAGO | ▭ |

Figura. 31 EXPERIMENTO DE DARCY



Q OC KA

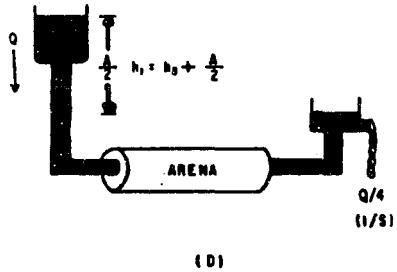
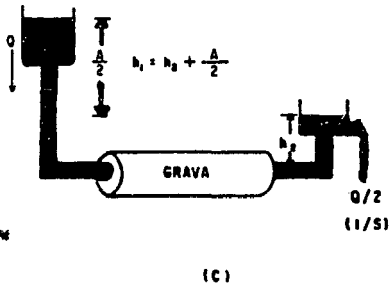
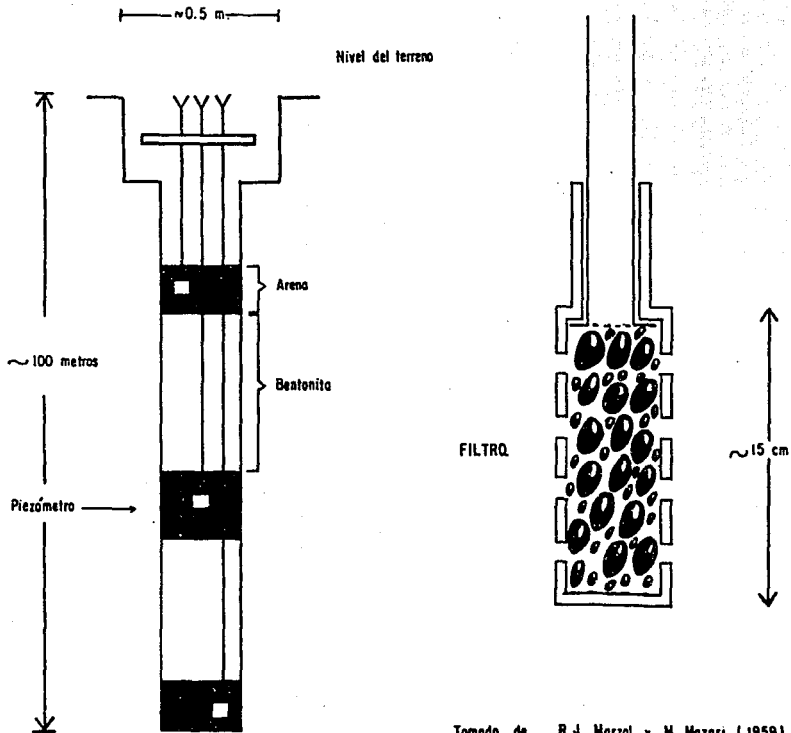


Figura. 32: Descripción de una Estación Piezométrica.



Tomado de . R.J. Marzol y M. Mazari, (1959)

Figura 33

ESQUEMA DE POZO DE PRODUCCION
CORTE GEOLOGICO Y CARACTERISTICAS

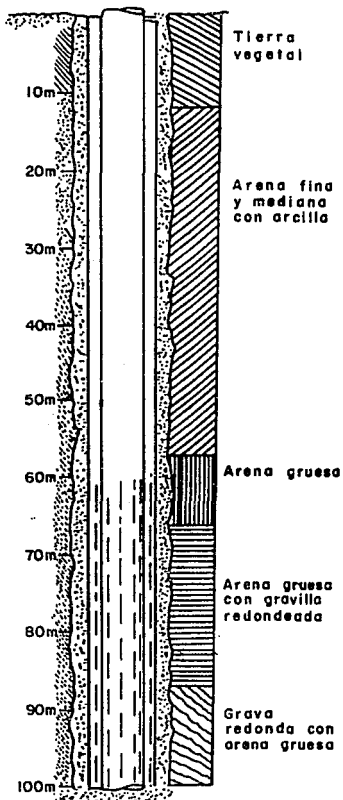
Diámetro de la perforación:
16"

Tubo de protección de 12"
de diámetro, de los 0m a los
100m, de los cuales 61m son
ciegos y 39m ranurados.

Tubo de ademe de 8" de diá-
metro, de los 0m a los 100
m, de los cuales 61m son
ciegos y 39m son ranurados.

Cementado de la sección
ciega con grava triturada
y sellos de bentonita.

Engravado de la sección
ranurada con grava lava-
da de río, diámetro máxi-
mo de 3/4"



SIN ESCALA