

01177
23



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**"ESTUDIO GEOQUIMICO DE LA CIUDAD DE ZACATECAS
Y ZONAS CONURBADAS"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERIA (AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

■ ANA ALEJANDRINA CASTRO RODRIGUEZ



DIRECTOR: ROSARIO ITURBE ARGUELLES

MEXICO, D.F. 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Ingeniería Ambiental del Instituto de Ingeniería, donde se realizó este estudio. A la Dra. Rosario Iturbe por todo el apoyo recibido y por sus múltiples enseñanzas en más de un aspecto, a lo largo de la realización de este trabajo. Al Dr. Luis E. Marín por su confianza en mí. A los más de un amigo que me brindaron su amistad durante todo este tiempo. A todas las personas que de una u otra manera participaron en la realización de este trabajo. A mis padres y hermanos con mi infinito cariño y por supuesto, a José, con todo mi amor.

ÍNDICE

	PÁG.
Resumen	
CAPÍTULO UNO. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 LOCALIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
1.3 CLIMA Y PRECIPITACIÓN	7
1.4 HIDROGEOLOGÍA	9
1.4.1 Fuentes de abastecimiento	13
1.4.2 Jales	20
2.6 OBJETIVOS	21
CAPÍTULO DOS. METODOLOGÍA	22
CAPÍTULO TRES. RESULTADOS	26
3.1 GEOQUÍMICA	26
3.2 HIDROGEOLOGÍA	44
CAPÍTULO CUATRO. DISCUSIÓN	49
4.1 GEOQUÍMICA	49
4.1.1 Sólidos disueltos totales vs conductividad eléctrica	53
4.1.2 Índice de saturación	54
4.1.3 Jales	55
4.2 HIDROGEOLOGÍA	56
4.2.1 Evolución piezométrica	56
CAPÍTULO CINCO. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1 CONCLUSIONES	61
5.2 RECOMENDACIONES	63

CAPÍTULO SEIS. BIBLIOGRAFÍA

65

ANEXO

RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

Tabla 1	Resumen de aprovechamientos, Tomado de CNA, 1996	15
Tabla 2	Relación de aprovechamientos (CNA, 1993)	17
Tabla 3	Resultados de análisis fisicoquímicos de agua en fuentes de abastecimiento de agua potable y riego de la cd. de Zacatecas y zona conurbada	27
Tabla 4	Información de profundidad, niveles estáticos, elevación de brocal (1995-1996) y coordenadas geográficas.	45
Tabla 5	Resultados de muestras de jales	44

Figuras

No. 1	Diagrama de Stiff modificado	5
No. 2	Diagrama Piper	6
No. 3	Plano de localización	8
No. 4	Sistemas generales de abastecimiento	14
No. 5	Ubicación de aprovechamientos	24
No. 6	Isocontenido de fluoruros	30
No. 7	Isocontenido de fosfatos	32
No. 8	Diagramas de Stiff modificado	34

No. 9 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Chupaderos	36
No. 10 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Calera	37
No. 11 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Benito Juárez	38
No. 12 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Guadalupe Bañuelos	39
No. 13 Relación de sólidos disueltos totales (SDT) vs conductividad eléctrica (CE) de la zona de Chupaderos	40
No. 14 Relación de SDT vs CE de la zona de Calera	41
No. 15 Índice de saturación	43
No. 16 Elevación de niveles estáticos	47
No. 17 Evolución de niveles estáticos en Chupaderos	57
No. 18 Evolución de niveles estáticos en Calera	58
No. 19 Evolución de niveles estáticos en Guadalupe Bañuelos y Benito Juárez	59

RESUMEN

La contribución de la presente investigación es básicamente mostrar un sistema para monitorear la calidad inorgánica del agua sin tener que hacer una campaña de muestreo intensiva, principalmente por el alto costo que esto representa. Para ello se realizaron curvas de sólidos disueltos totales contra conductividad eléctrica donde se plotearon todos los pozos muestreados en este estudio y se obtuvo el intervalo donde caen la mayoría de ellos. Esto se hizo por separado para dos de las principales cuencas hidrogeológicas estudiadas, Calera y Chupaderos. Para las otras dos zonas, Benito Juárez y Guadalupe Bañuelos, no se contó con datos suficientes para realizar la curva. Algunos de los pozos que cayeron fuera de la curva presentaron altas concentraciones en alguno o algunos de los parámetros analizados, lo que permitió ubicar localmente zonas problema, como lo es la presencia de presas de jales.

Por otro lado, la obtención del índice de saturación con respecto al carbonato de calcio permitió definir dos familias de agua, corrosiva e incrustante. La primera se presenta en la zona oeste (Calera y Benito Juárez) y la otra en la zona este (Chupaderos y Guadalupe Bañuelos). Esto sugiere que la zona oeste puede ser una zona muy susceptible a la movilización de los metales pesados provenientes de los jales. La agresividad de un agua también puede resultar en que la tubería del sistema de distribución se esté disolviendo o picando. En el área este probablemente pase lo contrario ya que son aguas sobresaturadas, lo que hace que haya incrustaciones en la tubería.

Para diferenciar mejor las familias de agua en la zona de estudio se utilizaron los diagramas de Stiff modificado y de Piper, coincidiendo ambos en forma general en los resultados. En la zona de Calera se tienen aguas mixtas-cálcicas-bicarbonatadas, en Chupaderos mixta-sódica-bicarbonatada y cálcica-bicarbonatada en Benito Juárez y Guadalupe Bañuelos.

En general, la calidad del agua subterránea de la ciudad de Zacatecas y zonas conurbadas es buena. Los parámetros que rebasan la norma oficial mexicana

para agua potable (NOM-127-SSA1-1994), son fluoruros y arsénico. El fluoruro es superior a la norma en todas las regiones estudiadas pero es en Guadalupe Bañuelos donde se presentan las concentraciones más altas. En este sitio se encuentra mejor expuesto el sistema fluorita, uno de los tres sistemas de vetas que conforman las estructuras mineralizadas del distrito minero de Zacatecas. Por otra parte, estos pozos son los únicos que presentan valores altos de arsénico, cuyas aguas registran las mayores temperaturas, sugiriendo ésto un origen termal para estos parámetros. Los fosfatos no se contemplan en la norma de agua potable pero para su interpretación se utilizó el límite permisible reportado en el anteproyecto de esta norma (0.1 mg/l), con el fin de localizar zonas anómalas ya que la mayoría de los pozos muestreados rebasan el límite. Esto probablemente es debido a que los pozos se encuentran en zonas agrícolas.

La información histórica y actual de la profundidad de niveles estáticos permite conocer la evolución que éstos han tenido a través del tiempo. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, donde se contribuyó con los datos del año de 1996, es muy factible que algunas de las mediciones no correspondan a un mismo pozo ya que no son congruentes los datos, en el último año se muestran abatimientos muy grandes, que no son normales. Por lo anterior, es necesario ser cuidadoso con la obtención de niveles estáticos así como también incrementar el número de pozos con registro piezométrico y gastos de extracción, a fin de obtener un registro confiable de la evolución de los niveles con respecto al tiempo.

CAPITULO

UNO: **INTRODUCCIÓN**

1.1 ANTECEDENTES

Gran cantidad de centros urbanos y rurales obtienen su suministro de agua de las aguas subterráneas, debido principalmente a su común bajo costo y excelente calidad natural; de ahí la necesidad de mantener la cantidad y calidad del agua subterránea dentro de las normas de calidad establecidas. Se estima que las necesidades totales del país son de 174 mil millones de m³/año y se calcula que la aportación de los acuíferos es aproximadamente del 68.2% (INE, 1993). En nuestro país, ciudades como Guadalajara, Chihuahua, Toluca, San Luis Potosí y Veracruz, entre otras, obtienen su agua hasta en un 90% por medio de este recurso; mientras que para Puebla, Querétaro, Mazatlán y Zacatecas, éste es el único medio de abastecimiento (CNA, 1995). A pesar de ello, se conoce deficientemente el estado actual de los cuerpos de agua del país, en cuanto a sus características hidrogeológicas y condiciones de contaminación.

La composición química del agua subterránea es resultado tanto de la composición del agua que entra al acuífero por precipitación, como de las reacciones del agua con los minerales presentes en las rocas por las que circula. Además de los procesos naturales que controlan la calidad del agua, hay causas debidas a actividades humanas que provocan la introducción de sustancias y/o microorganismos inadecuados. En el caso de la ciudad de Zacatecas y áreas circunvecinas, el crecimiento urbano e incluso siglos de actividades minero-metalúrgicas, han creado condiciones propicias para deteriorar la calidad del agua subterránea. Actualmente, en el área de Zacatecas hay sitios donde se dispusieron los desechos resultado de esta actividad (depósito de jales), con espesores que varían de unos cuantos milímetros hasta varios metros, cubriendo extensiones considerables de tierras dedicadas a labores agrícolas. Así mismo, las aguas residuales provenientes de los centros urbanos mezcladas con las descargas industriales asentadas en

el corredor de Guadalupe, ubicado a aproximadamente 7 km al suroeste de la ciudad de Zacatecas, y los rellenos sanitarios con residuos sólidos pueden estar contribuyendo de manera decisiva en la degradación de la calidad del agua.

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), con el propósito de conocer la magnitud del problema de la contaminación del agua subterránea en América Latina, inició en 1984 un Programa Regional de Control y Prevención de la Contaminación de Aguas Subterráneas como parte de un plan a mediano plazo de esta institución, adoptado por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para la región de América Latina y el Caribe para el período 1984 - 1989. La meta principal de este programa fue que, para el año de 1989, los países más desarrollados de la región hubieran iniciado programas nacionales de control de contaminación de las aguas subterráneas (Foster y Caminero, 1989). Sin embargo, aún cuando en México se considera prioritario el establecimiento de programas para la evaluación de la carga contaminante al subsuelo debido a la industria minera y petrolera, no se cuenta aún con un programa a largo plazo con un procedimiento establecido.

Las primeras acciones encaminadas a determinar la presencia de elementos tóxicos en el agua que consume la población de la ciudad de Zacatecas y poblaciones aledañas, se iniciaron en 1989 por la Comisión Nacional del Agua (CNA), encontrándose que sólo un análisis de mercurio (Hg) excedía los límites que marcaban las normas de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (S.S.A.) (CNA, 1995). Las actividades de muestreo se efectuaron en 66 sitios, abarcando aprovechamientos subterráneos, depósitos y estaciones de rebombeo, así como almacenamientos y corrientes superficiales. Por su parte, la S.S.A. realizó entre la población estudios para determinar la presencia de metales pesados en la sangre, con resultados negativos (CNA, 1995). Desde 1989 hasta 1995 se han realizado 17 etapas de muestreo, en las cuales se han analizado los siguientes metales pesados: cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), hierro (Fe), zinc (Zn), níquel (Ni), plata (Ag) y arsénico (As). Estos muestreos fueron más continuos a partir de 1994 ya que

solamente en ese año se realizaron nueve y en 1995, cinco. Los resultados de estos análisis se muestran en el anexo (Tabla A).

La contaminación del agua subterránea por estos metales se ha atribuido en gran medida a la actividad minera (CNA, 1995), debido a que en el estado de Zacatecas la explotación minero metalúrgica ha sido desarrollada por más de 400 años, siendo esta actividad una de las más importantes en la entidad. Este sector representa el 4% de las 215 industrias establecidas en la ciudad, correspondiendo el 23% a la industria manufacturera (Mercamétrica de 80 ciudades mexicanas, 1995). La presencia de arsénico en el agua subterránea ha sido el problema principal que ha hecho que la población demande una mejor calidad del agua, sin embargo, aún cuando esta presencia ha sido atribuida a la actividad minera no hay estudios concluyentes que así lo certifiquen.

La caracterización del agua se hace con base en sus elementos bacteriológicos, físicos y químicos como lo especifica la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996). Dentro de las características químicas se contemplan algunos compuestos orgánicos como los pesticidas e inorgánicos como los metales pesados. En muchos casos es necesario racionalizar el programa analítico de muestreo de aguas subterráneas a través de la utilización de parámetros indicadores, debido al alto costo de los análisis. Como consecuencia, de los 600 acuíferos que están siendo actualmente explotados en México, aproximadamente 10 están siendo monitoreados regularmente y el resto sólo esporádicamente. Marín et al (en arbitraje), han propuesto que se pueden implementar sistemas de monitoreo basados en curvas de sólidos disueltos totales (SDT) contra conductividad eléctrica (CE). Su propuesta consiste en establecer una curva de conductividad eléctrica contra sólidos disueltos totales para una cuenca hidrogeológica en particular. Si los valores de conductividad eléctrica caen dentro de la curva (o dentro de un intervalo pre-establecido), no sería necesario el análisis de ningún otro parámetro, pero si no es así, un muestreo geoquímico adicional puede ser requerido para identificar la anomalía. De esta manera se podría establecer un sistema mínimo de monitoreo de calidad del agua.

La determinación del índice de saturación con respecto al carbonato de calcio ha sido de interés para la ingeniería sanitaria, ya que si el agua que circula por una tubería de metal se encuentra sobresaturada con respecto al carbonato de calcio, se formarán capas que la irán sellando (Marín y Prieto, 1994). Esto tiene repercusiones económicas ya que conforme disminuye el diámetro de la tubería en cuestión, es necesario aplicar más presión para bombear la misma cantidad de agua con el consecuente gasto económico adicional. Por otro lado, si el agua está subsaturada con respecto al carbonato de calcio, esta tendrá la capacidad de disolver la tubería de metal, lo que puede tener consecuencias importantes para la salud ya que esta agua puede disolver los metales con los que entre en contacto. En particular, esto es importante ya que la soldadura utilizada para unir la tubería de metal contiene zinc y plomo, los cuales al ser disueltos, pueden ser ingeridos por la población. Un método confiable para la determinación del índice de saturación del carbonato de calcio es la modelación utilizando el programa WATEQ (Truesdell y Jones, 1974), debido a que toma en cuenta todas las especies disueltas en el agua. El programa para la determinación de los índices de saturación, calcula la distribución de las especies en el equilibrio en una solución acuosa y el estado de saturación para minerales importantes.

Las especificaciones para el cálculo son las siguientes (Appelo y Postma, 1993):

El programa usa iteraciones y se detiene cuando el error del balance de masa total (para la suma de todos los elementos) es menor que 0.05%.

La densidad de la solución se supone que es 1 kg/l

Los coeficientes de actividad son calculados con la ecuación de Debye-Huckel

El programa no calcula el equilibrio redox. Diferentes niveles de oxidación del mismo elemento deben ser alimentados en la forma de especies separadas.

El programa WATEQ requiere un archivo de entrada en el que se alimentan las concentraciones de las especies. Para correrlo es necesario introducir el nombre del archivo de entrada y también uno de salida donde los resultados son escritos. El programa presenta en la pantalla las muestras identificadas y el balance de electroneutralidad de las mismas. El archivo de salida puede ser leído con un editor o impreso con un comando de DOS. El archivo de salida contiene las concentraciones analizadas en mmol/l, meq/l y mg/l. Posteriormente se tiene un bloque con las actividades calculadas, el logaritmo de la actividad y los coeficientes de actividad para los elementos y complejos. El programa termina con un bloque de información de índices de saturación. Estos modelos pueden ser utilizados para caracterizar cualquier tipo de agua. En el caso de Zacatecas esto es particularmente importante porque puede ayudar a determinar si metales pesados proveniente de los jales pueden ser movilizados o no.

Con respecto a los diagramas de Stiff es necesario establecer cuatro rectas paralelas igualmente espaciadas, cortadas centralmente por una recta vertical; a la izquierda se disponen los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio y en la derecha los aniones cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos y nitratos. En este trabajo se utiliza el diagrama de Stiff modificado ya que no se incluyeron potasio y nitratos por considerar que típicamente ocurren en bajas concentraciones y a que no se obtienen en gran proporción del terreno por el que circula el agua sino que su presencia es debida a contaminación antropogénica principalmente. Sobre cada recta se toma un segmento proporcional al porcentaje de la concentración en meq/l, obteniéndose un polígono con la unión de todos los segmentos (Figura 1). Esta representación es útil porque a simple vista puede distinguirse si hay diferentes tipos de agua.

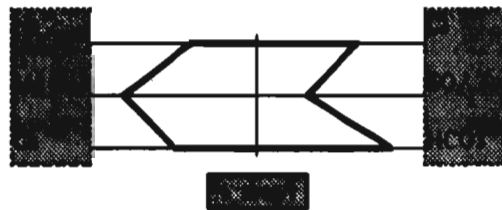


Figura 1. Diagrama de Stiff modificado

En cuanto al diagrama de Piper es muy útil para realizar una clasificación de las distintas familias de aguas. Estos diagramas constan de dos triángulos combinados con un rombo. En un triángulo se representan los cationes y en otros los aniones, los mismos que se utilizan en el diagrama de Stiff (Figura 2) (Pulido, 1978).

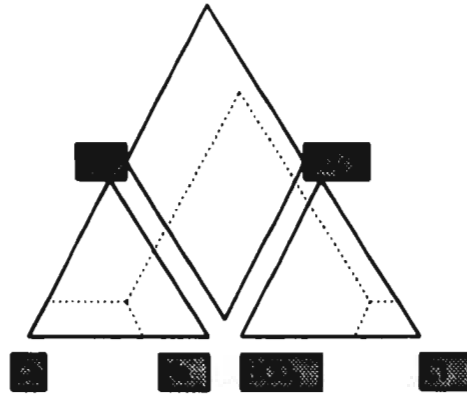


Figura 2. Diagrama de Piper

Cada uno de los vértices representa un elemento. Para conocer cuantitativamente la composición de la muestra, basta trazar paralelas a los lados opuestos de los vértices que representa ese elemento.

Para este estudio se tomó como base el informe final del proyecto realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para la Comisión Nacional del Agua, titulado "Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico en la zona de Zacatecas, Zac.", el cual contiene información acerca de la hidrogeología y geoquímica del área de estudio (Iturbe *et al*, 1996).

1.2 LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

La región se encuentra ubicada entre las coordenadas $102^{\circ}12'30''$ y $102^{\circ}55'00''$ de longitud oeste, y $22^{\circ}37'30''$ y $23^{\circ}15'00''$ de latitud norte (Figura 3).

En la misma figura se muestran las zonas hidrogeológicas que conforman la zona de estudio que son cuatro: Calera, Benito Juárez, Chupaderos y Guadalupe Bañuelos, las cuales forman un mosaico de aproximadamente 3,800 km² al centro oeste del estado de Zacatecas. La zona de Benito Juárez pertenece a la cuenca hidrológica Río Juchipila de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago (No. 12). Las tres zonas restantes corresponden a la cuenca hidrológica Fresnillo Yesca de la región hidrológica El Salado (No. 37). El área incluye los municipios de Calera, Gral. Enrique Estrada, Morelos, Pánuco, Zacatecas, Vetagrande, Guadalupe y parte de los municipios de Fresnillo y Villa de Cos (CRM, 1991).

1.3 CLIMA Y PRECIPITACIÓN

El clima que prevalece en la zona de estudio es semiseco, templado, con lluvias en verano (SPP, 1981). La precipitación pluvial media anual es del orden de 510 mm la cual ocurre en su mayor parte durante los meses de mayo a octubre (SARH, 1982).

La temperatura media anual es del orden de 18°C, pero disminuye hacia la porción de la ciudad de Zacatecas, a aproximadamente 14 °C.

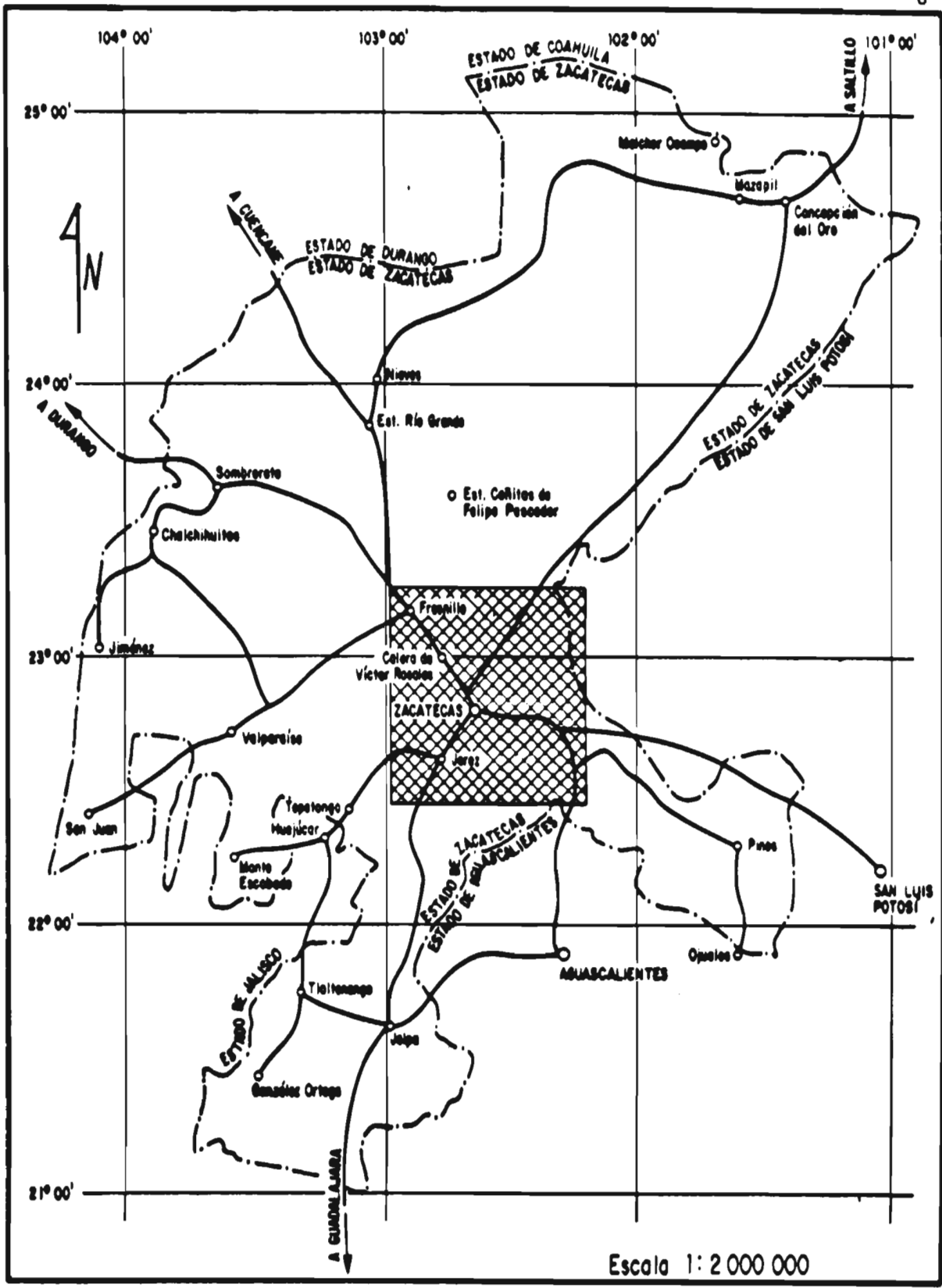


Figura 3. Localización de la zona de estudio

1.4 HIDROGEOLOGÍA

Las rocas que componen las unidades geológicas en el área de estudio, conforman una columna estratigráfica que comprende del Mesozoico al Reciente (Ponce y Clark, 1988; Monod y Calvet, 1992). Las rocas más antiguas que afloran en el área es la Formación Zacatecas, rocas metamórficas pertenecientes al Triásico. En el Jurásico se depositaron la Formación Nazas, secuencia de sedimentos continentales que alternan con rocas volcánicas; la Formación Caliza Zuloaga consistente en calizas, calizas dolomíticas y dolomías; y dos unidades no definidas formalmente; una unidad sedimentaria y otra metasedimentaria. El Cretácico está representado por la Formación Indidura formada por calizas y lutitas y la Formación Caracol, constituida por tobas devitrificadas intercaladas con lutitas y calizas. Del Terciario afloran rocas intrusivas principalmente granitos, granodioritas, monzonitas, tonalitas, sienitas y dioritas; y rocas volcánicas como andesitas, traquitas, riolitas y basaltos, así como el Conglomerado Rojo de Zacatecas formado de fragmentos de tamaño de arena y gravas cementados en una matriz arcillo calcárea. Por último, el Cuaternario está constituido por basalto, aluvión y depósitos residuales que cubren a las unidades anteriores.

Las unidades impermeables las constituyen las formaciones Zacatecas, Nazas, Indidura, Caracol, Conglomerado Rojo Zacatecas, el Jurásico inferior y Jurásico superior metasedimentario, rocas terciarias intrusivas y volcánicas. Las bases fundamentales por las que se clasifican como impermeables son sus características físicas adversas a las condiciones de infiltración y almacenamiento de agua, por presentar afloramientos reducidos y además, debido a que en algunos sitios actúan como barreras tanto horizontales como verticales al flujo del agua subterránea.

Las unidades permeables están constituidas por la Formación Caliza Zuloaga y los depósitos aluviales de relleno de las cuencas representados por arenas, gravas, arcillas y limos. Estos materiales granulares son el receptáculo más importante de agua subterránea en la región, pero debido a su granulometría variable, existen zonas tanto horizontales como verticales donde las permeabilidades son mayores que otras. En lo que respecta a la Formación Caliza Zuloaga, sus características de fracturamiento y

conducta de disolución, presentan condiciones buenas de permeabilidad y almacenamiento de agua, pero sus posibilidades hidrogeológicas se reducen por su posición estratigráfica y a los escasos afloramientos existentes.

La dirección del flujo subterráneo es de sur a norte con excepción de la zona de Benito Juárez, donde el flujo es de norte a sur (SEDUE, 1986). Desde un punto de vista regional, los acuíferos son de tipo libre. Lateralmente los valles se encuentran limitados por estructuras impermeables como son el macizo rocoso de la sierra de Zacatecas y rocas volcánicas extrusivas e intrusivas, ampliamente expuestas en el área. El agua que se precipita sobre las montañas se infiltra o escurre superficialmente hacia las partes bajas, alimentando los acuíferos, en donde las características de permeabilidad y porosidad lo permiten, o bien continúa su curso subterráneo aguas abajo a lo largo del valle. Los sedimentos que conforman los acuíferos son granulares de tamaño variable, finos (arcillas y limos) a gruesos (arenas y gravas), presentándose intercalaciones de material volcánico. En algunos de los cortes litológicos se observa que la graduación de los materiales que conforman los acuíferos, no únicamente varían verticalmente sino también en forma lateral, lo que produce que el o los acuíferos sean heterogéneos. Esto se corrobora con los caudales registrados para algunos de los pozos donde el rendimiento de los mismos varía significativamente ya que algunos con profundidades de 200 m pueden producir 10 l/s mientras que otros pueden llegar hasta 45 l/s en una misma zona. Lo mismo sucede con pozos en Calera donde, en una distancia de 3.5 km se tiene un pozo de 160 m con un gasto de 15 l/s y el otro de 100 m de profundidad, tiene un caudal de 40 l/s. En Calera la mayoría de las intercalaciones son de riolita y en Chupaderos de andesitas; estas capas o lentes de material fino definen en el área un acuífero libre de espesor de 100 a 150 m aproximadamente, conformando sistemas locales de flujo semiconfinado. Aunque no se contó con los cortes litológicos de la zona de Benito Juárez, informes anteriores aseguran este comportamiento hidrogeológico, sin especificar qué tipo de intercalaciones de material fino se observan; los sedimentos varían de 30 a 400 m (TEGMIN, 1988). Ésto no se muestra en los cortes litológicos de la zona de Guadalupe Bañuelos, donde los pozos que conforman la batería del sistema Bañuelos muestran en la parte somera espesores de 15 a 40 m de toba arcillosa y posteriormente grandes paquetes de conglomerado de riolita y andesita

cementados en material arcilloso, la profundidad de al menos tres de los pozos es de 300 m; con respecto a la zona del sistema de San Ramón uno de los pozos muestra 90 metros de aluvión y los otros dos, aparte de un espesor pequeño, aproximadamente 15 m de riolitas, el resto está conformado por aglomerado y conglomerado; este último en espesores mayores y cementado en un material arenoso, llegando hasta una profundidad de 300 m. Es posible que este acuífero también tenga un comportamiento local de semiconfinamiento, principalmente hacia la parte cercana a la sierra de Zacatecas, ya que hacia los valles no se reportaron intercalaciones de material fino.

La profundidad aproximada del nivel estático en el valle de Calera es 15 m al N, al centro varía de 35 a 40 m y en los flancos llega a ser hasta de 60 m. En Benito Juárez se tiene una profundidad de 5 m al sur, cerca de Calerilla, y de 90 m al noreste. En Chupaderos varía de 60 a 200 m al norte y en el centro sur es de 20 a 60 m. Por último en Guadalupe Bañuelos se tiene una variación al norte de 20 a 40 m, de 50 a 70 m al oeste de Bañuelos y de 80 a 90 m al sur (CNA, 1993).

La recarga en la zona de Calera y Benito Juárez ocurre por precipitación de agua de lluvia que se infiltra directamente, y por el escurrimiento que se lleve a cabo entre el contacto de los materiales granulares con los afloramientos de las rocas ígneas, metamórficas y piroclásticas que limitan lateralmente las cuencas de estas zonas hidrogeológicas (CNA, 1993). La sierra de Zacatecas, la de Fresnillo, junto con la de Cerro Blanco al sur de la zona de Benito Juárez, es por donde escurre principalmente el agua de lluvia que drena hacia el valle de Calera y Benito Juárez. Estas sierras están formadas principalmente de rocas ígneas, metamórficas y piroclásticas.

La recarga en la zona de Chupaderos se obtiene además de la infiltración del agua de lluvia sobre el valle, por alimentación de otras cuencas ya que existe comunicación hidrogeológica entre Guadalupe Bañuelos (SARH, 1982) y Trancoso (SEDUE, 1986) con esta zona, así como con la zona de Calera, al norte de la sierra de Zacatecas. El valle de Chupaderos se encuentra limitado por rocas ígneas y metamórficas en cuyos contactos con los materiales granulares se llevan a cabo los escurrimientos; existe además una aportación de agua procedente del riego a cultivos.

En la zona de Guadalupe Bañuelos la recarga proviene de las infiltraciones de la lluvia en las estribaciones montañosas de la porción sur de la sierra de Zacatecas. El número de norias en Guadalupe Bañuelos es elevado y aunque el estudio no contempló el muestreo de éstas, los niveles freáticos se encuentran cercanos a la superficie del terreno, por lo que, aunque en menor grado, los retornos de riego son otro posible mecanismo de recarga. De acuerdo con el informe de SARH (1982), se piensa que existe comunicación subterránea entre el acuífero de Guadalupe Bañuelos y el situado al sur, probablemente hacia Viboritas y Perales; ésto es sugerido por los resultados obtenidos en algunos pozos perforados en esta zona, que son semejantes a los de la zona de Guadalupe Bañuelos, infiriéndose una interdependencia entre ambos acuíferos.

En condiciones naturales, la descarga se efectuaba a través de manantiales, por flujo horizontal y por evaporación. Actualmente la descarga en la zona de Calera es principalmente por bombeo y un volumen poco significativo por evaporación de algunos cuerpos superficiales como es el caso de la laguna de Santa Ana. Además, existe en esta zona la descarga que se efectúa hacia la cuenca de Chupaderos y Aguanaval (CNA, 1993).

La descarga que se hace en la cuenca de Benito Juárez está representada por la extracción que ejercen los pozos perforados para bombeo y posiblemente por evapotranspiración en la cercanía del vaso de la presa Malpaso (TEGMIN, 1988).

La descarga que se efectúa en la zona de Chupaderos es por bombeo; anteriormente la salida del acuífero también era a través de salidas subterráneas hacia acuíferos vecinos pero debido a la intensidad del bombeo es posible que los aportes a otras cuencas hayan disminuido (SARH, 1981).

En la zona de Guadalupe Bañuelos, al igual que en las anteriores, la descarga del acuífero se lleva a cabo por el bombeo de los pozos y por evapotranspiración, principalmente de las lagunas La Zacatecana y Bañuelos. La otra descarga es el drenaje subterráneo que comunica esta zona con la de Chupaderos (SARH, 1982). La extracción aproximada en estas cuatro zonas es de $272 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

1.4.1 Fuentes de abastecimiento

Sistema de Abastecimiento

Los sistemas de abastecimiento que suministran agua potable a la ciudad de Zacatecas y zonas conurbadas son cinco (Figura 4): sistema La Joya compuesto por once pozos profundos y dos pozos de rebombeo. Se encuentra ubicado en la zona de Calera; los pozos Pimienta son cuatro y también se localizan en la zona de Calera; el sistema Benito Juárez lo componen seis pozos profundos, uno de rebombeo y un tanque estación, como su nombre lo indica se encuentra en el valle de Benito Juárez; el sistema San Ramón consiste en cinco pozos profundos y un pozo de rebombeo; y por último el sistema Bañuelos con siete pozos profundos y uno de rebombeo. Estos dos últimos sistemas se ubican en la zona de Guadalupe Bañuelos. Además se cuenta con una galería filtrante, La Zacatecana y diez pozos en el área de Chupaderos, que si bien no conforman una batería conjunta sí dan en forma aislada suministro de agua potable a varias localidades. Estos pozos se identifican con el nombre del poblado al que abastecen: La Fe (pozo profundo y de rebombeo), uno en Osiris, El Bordo, Lampotal, San José de la Era, Tacoaleche (dos pozos), Santa Mónica y Zoquite. En total son cincuenta pozos los que conforman el sistema de abastecimiento para la ciudad de Zacatecas y algunas zonas conurbadas. La zona de estudio contempla más área al norte de lo que se denomina "zona conurbada". El límite aproximado de esta última es, hacia el norte, los poblados de Víctor Rosales y El Bordo Buenavista; la zona de estudio se alarga aproximadamente hasta la ciudad de Fresnillo. Los poblados de esta zona son abastecidos de agua potable por una serie de pozos que no entran en el programa de monitoreo llevado a cabo por CNA. Por ello la calidad del agua descrita posteriormente en este capítulo, hace referencia únicamente a los sistemas de abastecimiento de la ciudad de Zacatecas y zonas conurbadas, donde algunos de los pozos son monitoreados con análisis fisicoquímicos, coliformes y/o metales pesados. En la Tabla B del anexo se muestran los análisis de fisicoquímicos y coliformes de los años de 1994 y 1995 proporcionados por CNA.

En la Tabla 1 se muestra la relación de aprovechamientos clasificados según su uso. Esta tabla se obtuvo del censo de aprovechamientos que se tiene

SISTEMAS GENERALES DE ABASTECIMIENTO

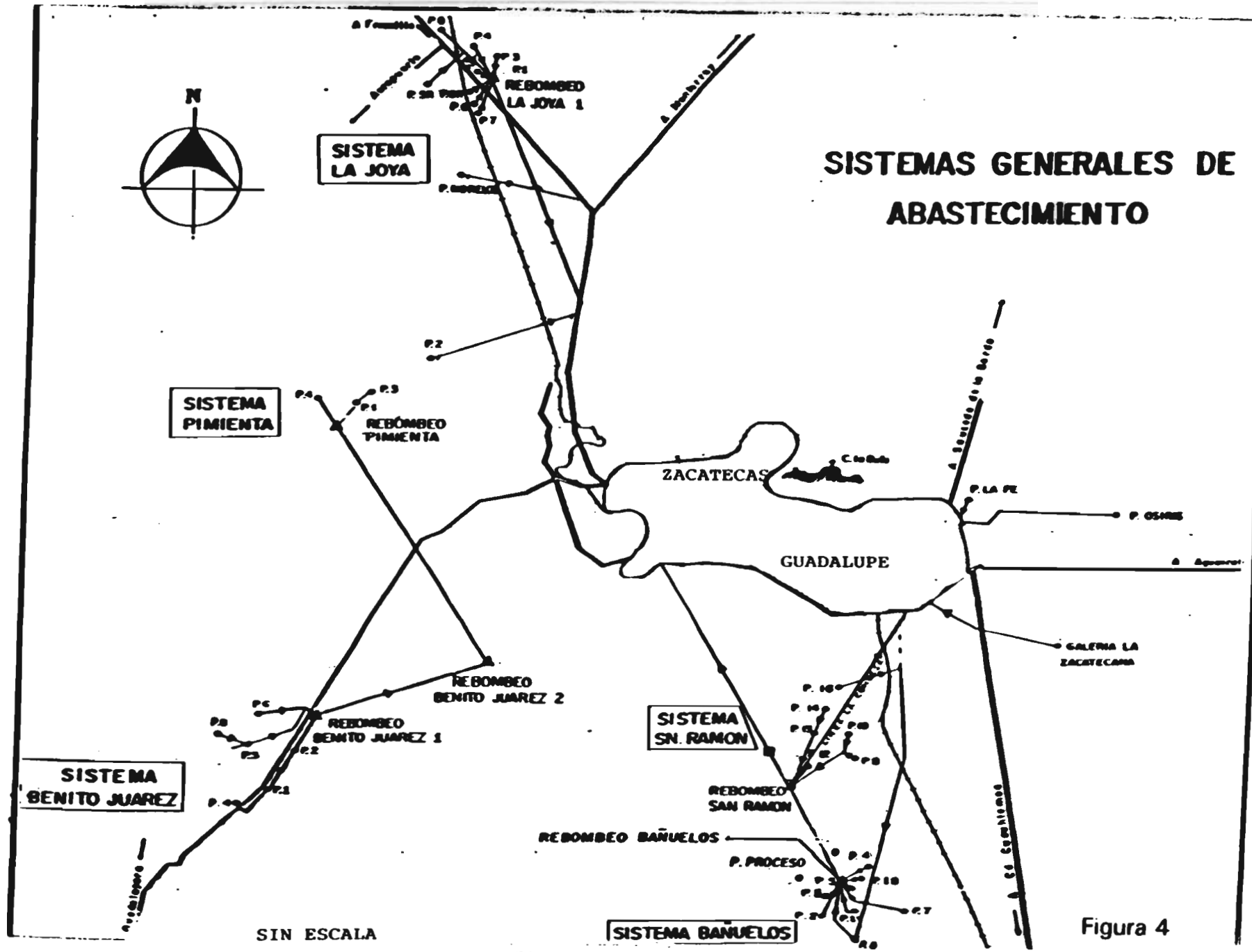


Figura 4

Tabla 1 Resumen de aprovechamientos, tomado de CNA (1996)

ZONA DE CHUPADEROS

TIPO DE OBRA	USO						TOTAL
	AGRICOLA	A.POTABLE	INDUSTRIA	ABREVADERO	DOMESTICO	S/CLASIFICAR	
POZO	482	19				1	502
NORIA	48	1		6	2		57
TAJO							
MANANTIAL	1						1
GAL.FILTRANTE							
TOTAL	531	20		6	2	1	560

FUENTE: Subgerencia Técnica de CNA (Cd. de Zacatecas).

ZONA DE GUADALUPE BAÑUELOS

TIPO DE OBRA	USO						TOTAL
	AGRICOLA	A.POTABLE	INDUSTRIA	ABREVADERO	DOMESTICO	S/CLASIFICAR	
POZO	16	16		5	2		39
NORIA	53	2		12	6		73
TAJO	1						1
MANANTIAL							
GAL.FILTRANTE		1					1
TOTAL	70	19		17	8		114

FUENTE: Subgerencia Técnica de CNA (Cd. de Zacatecas).

ZONAS DE CALERA Y BENITO JUAREZ

TIPO DE OBRA	USO						TOTAL
	AGRICOLA	A.POTABLE	INDUSTRIA	ABREVADERO	DOMESTICO	S/CLASIFICAR	
POZO	734	51	5	10	4		804
NORIA	210	18	4	8	5	2	247
TAJO	16	1					17
MANANTIAL							
GAL.FILTRANTE							
TOTAL	960	70	9	18	9	2	1068

FUENTE: Subgerencia Técnica de CNA (Cd. de Zacatecas).

TOTAL 1742

registrado en la Subgerencia Técnica de la Gerencia Estatal de Zacatecas de la Comisión Nacional del Agua. En dicha tabla, hay un solo censo de aprovechamientos para Calera y Benito Juárez, sin embargo en el estudio Informe Técnico de CNA (1993) se reporta una tabla en donde se relacionan por separado las obras de estas dos zonas (Tabla 2). Al comparar el censo de Calera y Benito Juárez se nota una diferencia de 214 obras, ya que en la Tabla 2 se reportan 22 galerías filtrantes mientras que en la Subgerencia Técnica no se reporta ninguna en estas zonas. Para este trabajo se utilizó el censo de aprovechamientos de la Subgerencia Técnica de CNA.

La importancia de la zona de estudio como región agrícola se muestra por la gran cantidad de pozos y norias que se utilizan con este fin, 91.6% de pozos y 82.5% de norias. Se desconoce el volumen que representa este porcentaje ya que la información sobre caudales es incompleta. De hecho, las fuentes de agua potable únicamente representan el 6.4% de pozos y el 5.6% de norias. El número de norias utilizadas para abrevadero es significativo comparado con los otros usos excepto el de riego. La demanda del agua subterránea para uso industrial es bajo, solamente son cinco pozos y cuatro norias las que se destinan a este uso y todos se encuentran registrados en el censo de aprovechamientos de Calera y Benito Juárez (no se sabe su ubicación exacta). El único manantial que subsiste en la región se localiza en la zona de Chupaderos, tiene siete metros de profundidad y su nivel estático está a cuatro metros; su uso es para riego.

Según el Informe Técnico realizado por CNA (1993), las obras de Calera extraen un volumen anual de 147.95 Mm³ del cual 105.70 Mm³/año es utilizado para uso agrícola, 25.08 Mm³/año para agua potable, 0.42 Mm³/año en abrevadero y doméstico y 16.75 Mm³/año se destina a la industria; demanda muy elevada esta última ya que no es posible que los nueve aprovechamientos mencionados (cinco pozos y cuatro norias) sean responsables de ese gasto. En Guadalupe Bañuelos se extrae un volumen de 4.3 Mm³/año (SARH, 1982), en Chupaderos 110 Mm³/año (SARH, 1981) y en Benito Juárez 10 Mm³/año (TEGMIN, 1988).

TABLA No. 2 Relación de aprovechamientos

BENITO JUAREZ

TIPO DE OBRA	USO						TOTAL
	AGRICOLA	A.POTABLE	INDUSTRIAL	ABREVADERO	DOMESTICO	INACTIVO	
POZO	67	16	1	2		15	101
NORIA	1			1	1	1	4
TAJO						1	1
MANANTIAL							
GAL.FILTRANTE	1			2			3
TOTAL	69	16	1	5	1	17	109

FUENTE: CNA (1983)

CALERA

TIPO DE OBRA	USO						TOTAL
	AGRICOLA	A.POTABLE	INDUSTRIAL	ABREVADERO	DOMESTICO	INACTIVO	
POZO	804	26	14	14	10	120	988
NORIA	254	1		20	20	70	365
TAJO	13					3	16
MANANTIAL							
GAL.FILTRANTE	10			2	2	5	19
TOTAL	1081	27	14	36	32	198	1388

FUENTE: CNA (1983)

Calidad del agua

El monitoreo de la calidad del agua subterránea que lleva a cabo CNA se realiza únicamente en los pozos pertenecientes a los sistemas de abastecimiento. En 28 pozos profundos, siete rebombeos, una galería filtrante y un tanque estación se realizan análisis de fisicoquímicos y de metales pesados y en otros nueve pozos profundos sólo de metales pesados. Estos datos, proporcionados por CNA, se muestran en las tablas A y B del anexo. De acuerdo a estos análisis la calidad del agua en general es buena, aunque las concentraciones de flúor son altas, principalmente en el sistema San Ramón. Con relación a los metales pesados el problema mayor es de el plomo y el arsénico. Existe un comportamiento variable durante el año, ya que se observa un cambio en las concentraciones, principalmente de los metales pesados. Ésto podría deberse al efecto de dilución en la época de lluvias aunque no debe descartarse la posibilidad de variaciones analíticas. No se contó con la información necesaria para poder discriminar el origen de dicho comportamiento temporal. Por ejemplo, el plomo fue alto en 38 sitios en los muestreos realizados el 26-27 de julio y el 26 de agosto de 1994; después se hicieron muestreos en noviembre, enero, mayo, otra vez julio del siguiente año, agosto y noviembre y nunca las concentraciones estuvieron por arriba de la norma ni cercana a ella. En el siguiente muestreo realizado en noviembre, las muestras fueron enviadas a tres laboratorios diferentes, el Regional Norte de CNA, el laboratorio del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y el de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Los resultados con concentraciones mayores fueron los de este último. No se cuenta con la información de los métodos analíticos utilizados por cada laboratorio pero los límites de detección son diferentes; el del laboratorio de CNA es 0.05, el del IMTA es 0.01 y la Universidad Autónoma de Zacatecas reportó valores de cero. Los datos son poco confiables ya que se desconoce el procedimiento de muestreo y análisis utilizado.

En relación al selenio éste apareció en el muestreo del 31 agosto al 1 de septiembre de 1994 en diez sitios, con concentraciones mayores al criterio ecológico publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989 (0.001 mg/l). Aunque es un parámetro que no se contempla en la norma de agua potable y que la máxima concentración observada en el área

es de 0.024 mg/l, es importante tenerlo presente en los muestreos ya que se considera carcinógeno (Ramos, 1991). En los muestreos posteriores al de la fecha mencionada, este parámetro no fue incluido en los análisis.

El cadmio es otro parámetro que debe ser tomado en cuenta en los siguientes muestreos ya que se observó por primera vez en septiembre de 1994 en tres de las fuentes del sistema San Ramón y en los muestreos de julio y agosto de 1995, apareció en una fuente del sistema Bañuelos, cercano al anterior aunque en las fuentes de éste (San Ramón) ya no se volvió a observar.

El hierro parece estar en los sistemas de Bañuelos y San Ramón además de dos pozos pertenecientes a Chupaderos, pero su aparición es muy errática. Niveles superiores a la norma se obtuvieron en el muestreo de julio de 1994 en cinco de los 12 sitios que han reportado hierro y en el muestreo siguiente (agosto 1994) únicamente el pozo Morelos lo volvió a reportar. En el muestreo de junio-julio de 1995, tres pozos presentaron valores altos pero únicamente uno de éstos presentó nivel similar en el muestreo de julio del año anterior.

El mercurio sólo se ha reportado en cuatro sitios, en los pozos Bañuelos primario, San Ramón 13, Osiris y Rebombeco La Fe; los dos primeros se obtuvieron en 1995 y los otros en 1994. Estos dos últimos no volvieron a presentar niveles altos en los muestreos posteriores; sin embargo, es importante incluir este parámetro en los muestreos futuros ya que algunas muestras de la Laguna La Zacatecana presentan concentraciones altas.

El arsénico ha sido el metal más persistente. Las fuentes donde se observó en un principio han seguido reportándolo en los muestreos consiguientes, principalmente en los pozos San Ramón 13, 14 y 16, La Fe y Osiris.

Escurrecimientos superficiales

El agua proveniente de ríos, riachuelos y arroyos, no es constante a lo largo de todo el año y por lo tanto su uso se ve reducido a ciertas épocas del año (excepto cuando es posible almacenarla por medio de presas). La mayor

parte del área de estudio queda comprendida en la región hidrológica "El Salado" (No. 37), cuenca Fresnillo-Yesca que no tiene corrientes de importancia, y una muy pequeña porción del sur corresponde a la región hidrológica "Lerma-Chapala-Santiago" (No. 12) (SPP, 1981). La cuenca de esta región hidrológica es Río Verde Grande. Aunque dentro de esta región (No. 12) se localiza un gran número de aprovechamientos superficiales, en el área de estudio solamente se tienen las presas de Malpaso y Chilitas. En la región No. 37 se localizan almacenamientos de poca capacidad, pero dada su escasez, son de gran importancia. Entre estos están las presas de Calera, La Bomba y Arroyo de Enmedio, con una capacidad promedio de dos millones de metros cúbicos; el resto son pequeñas obras o bordos para uso doméstico y en la mayoría de los casos son usados como abrevaderos. Solamente se tiene referencia de seis sitios de aguas superficiales que han sido muestreados a partir del año de 1989, pero se desconocen los resultados y la ubicación de los mismos.

1.4.2 Jales

Las presas de jales son el punto final de almacenamiento de los desechos y el lugar final de retención de las aguas utilizadas en el proceso de beneficio. En estos procesos de beneficio, se somete el mineral extraído de la mina, a un proceso de concentración de los minerales con valor económico. La ganga (mineral sin valor económico), se envía a la presa de jales.

El llamar a un mineral "ganga" es muy subjetivo, esto depende de la utilidad en el momento actual de dicho mineral, y de su demanda en el mercado internacional. A principios de la explotación minera en México, sólo de muy pocos minerales se conocía su utilidad (oro, plata, cobre, plomo, mercurio), por lo tanto, por desconocimiento, el resto iba a dar a los jales. Con el paso del tiempo, se descubrió para qué servían algunos minerales (metálicos y no metálicos) y se procedió a desarrollar técnicas de beneficio de los mismos. En jales antiguos, como los que existen en la zona del distrito minero de Zacatecas, hay minerales que no fueron beneficiados en su momento por lo anteriormente expuesto, y que hoy, pueden formar un depósito mineral. La

importancia de estos depósitos minerales será de acuerdo a la cantidad y tipo de mineral que se encuentre depositado y de las técnicas de beneficio desarrolladas para dicho mineral, ya que puede haber poca cantidad de mineral pero el beneficio del mismo no ser muy costoso o problemático, o, por el contrario, puede haber mayor cantidad de mineral pero su recuperación no ser remunerable.

Los procesos de beneficio que se utilizaron en el distrito minero de Zacatecas fueron los de amalgamación, flotación y cianuración, procesos que hasta el momento se siguen utilizando, además del beneficio por lixiviación, método que apenas se empieza a usar en México.

El área del distrito minero de Zacatecas posee gran cantidad de presas de jales, y el beneficio de los mismos inició a partir de la década de los 20's continuando hasta nuestros días, ya sea su beneficio o su explotación por algunas compañías mineras como Servicios de Exploración Peñoles, S.A. de C.V., Comisión de Fomento Minero y Mineral Real de Angeles, S.A. de C.V., entre otras (Yussim, S., 1996, comunicación oral). Básicamente la recuperación de estos jales es de plata y mercurio, con pequeñas cantidades de oro.

1.5 OBJETIVOS

Los objetivos del trabajo son:

Determinar la presencia de contaminación del agua subterránea respecto a los parámetros analizados y con base en curvas de sólidos disueltos totales contra conductividad eléctrica, realizadas para la ciudad de Zacatecas y zonas conurbadas.

Determinar la agresividad del agua utilizada como suministro de Zacatecas con base en el índice de saturación con respecto al carbonato de calcio.

Determinar la evolución piezométrica de los pozos que cuenten con información histórica y actual de niveles estáticos.

CAPITULO DOS: **METODOLOGIA**

Dentro del estudio se hizo una recopilación de la información hidrogeológica de la zona, se realizó una campaña de muestreo de agua subterránea, se hizo la interpretación geoquímica y se estableció la evolución de los niveles estáticos.

En el presente estudio se hizo un sólo muestreo, en el mes de mayo, y se obtuvo una sola muestra por pozo. Las muestras fueron analizadas en los Laboratorios ABC de la ciudad de México, a donde fueron transportadas por personal del Instituto de Ingeniería, UNAM. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

La selección de los pozos a muestrear se hizo con base en la información recopilada, pretendiendo en primer término que los pozos estuvieran activos y que de preferencia, contaran con datos de corte litológico, nivelación de brocal, nivel estático y profundidad del pozo.

Debido a que se requería cumplir con una red de pozos más o menos equidistante a través de la zona de estudio, la selección final de los pozos dependió también de su ubicación; en ocasiones, el pozo seleccionado en gabinete por contar con los datos previstos, en realidad no estaba en operación por lo que se seleccionaba el más cercano que contara con algunas de las características buscadas.

Para la selección de los pozos también se pidió la opinión del personal de la Subgerencia Técnica de CNA. Aún así, la ubicación en el campo no fue fácil ya que en muchos casos el inventario y la numeración de algunos de los pozos no estaban actualizados o no correspondían al sitio.

Se seleccionaron 63 pozos de muestreo, distribuidos en las cuatro zonas hidrogeológicas: 31 en Calera, 5 en Benito Juárez, 5 en Guadalupe Bañuelos y 22 en Chupaderos. De éstos únicamente 27 cuentan con datos de elevación

de brocal, 29 con datos de nivel estático obtenido en este estudio y 36 con datos de profundidad del pozo. Únicamente siete pozos de 63 muestreados contienen los tres datos (Tabla 4).

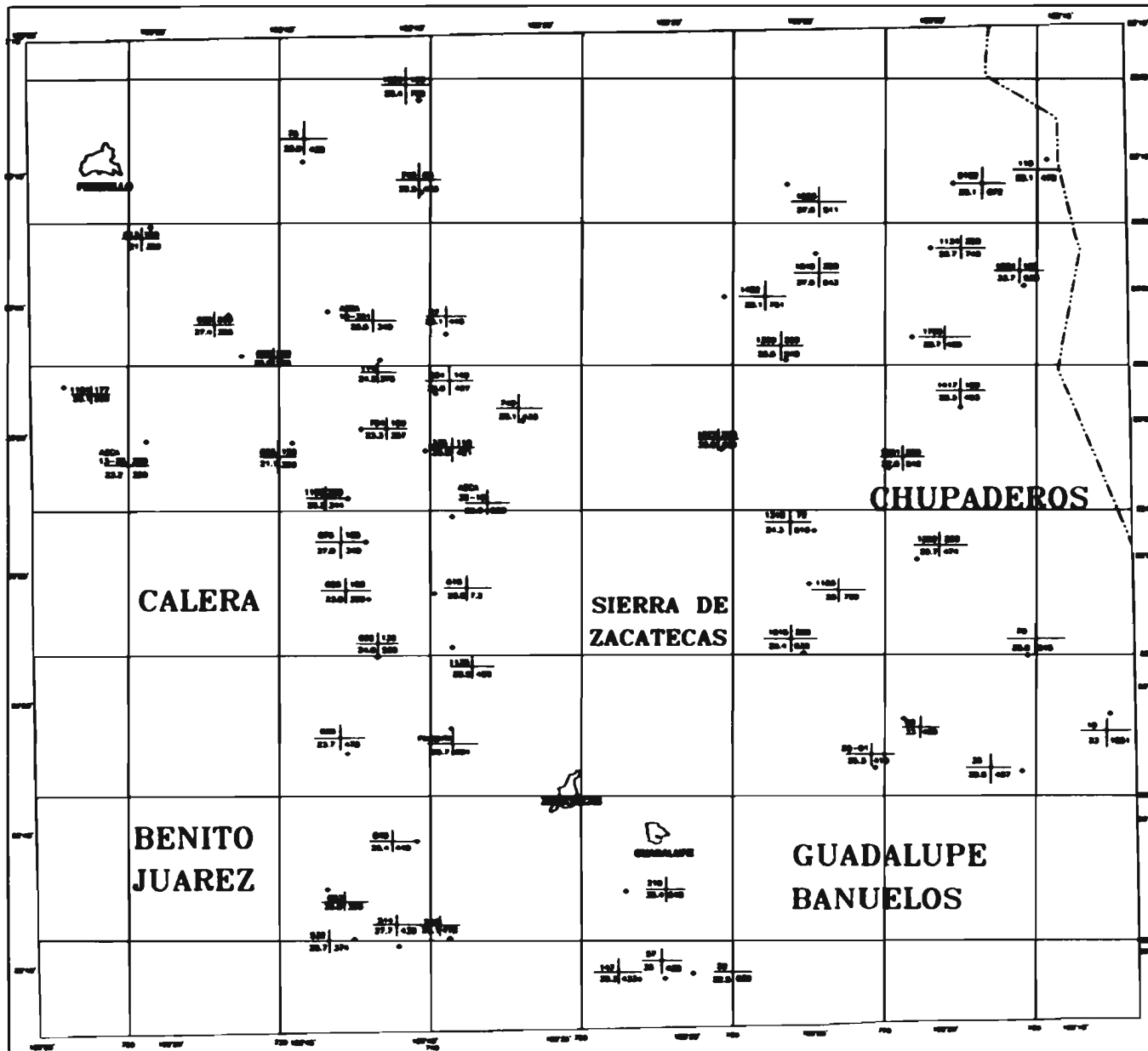
La posición de los pozos se hizo con un indicador de posición portátil por medio de satélite marca Garmin, modelo GPS 45, la cual se realizó al momento de hacer el muestreo de agua del pozo. El error de este aparato en la nivelación es de ± 50 metros en X y Y, en Z es ± 100 metros. Las coordenadas geográficas de cada pozo se muestran en la Tabla 4 y la ubicación de los pozos en la figura 5.

El muestreo se llevó a cabo durante cuatro semanas en 63 pozos que cubrieron un área de aproximadamente 3000 Km².

Las determinaciones que se le hicieron al agua subterránea en campo fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica y alcalinidad. Las tres primeras se realizaron con un potenciómetro marca Conductronic, y la alcalinidad se determinó por el método potenciométrico titulando con ácido sulfúrico (0.02 normal), se acidificó la muestra a pH de 4.5 para determinar la alcalinidad total. Muestras de agua fueron tomadas para realizar los análisis de aniones y cationes mayoritarios así como los de hierro, fluoruros y fosfatos, dureza y sólidos disueltos totales en el laboratorio.

El muestreo del agua de los pozos se realizó directamente de la fuente, recolectando dos litros de agua de cada pozo, en botellas de polietileno como se especifica en APHA-AWWA-WPCF (1989).


Para los análisis en laboratorio se preservó un volumen de 250 ml de la muestra, con 0.6 ml de ácido nítrico suprapuro, para hacer análisis de metales como sodio, calcio, magnesio y potasio, y así evitar la adsorción de estas sustancias durante el transporte. Un litro se mantuvo sin ácido, solamente se le preservó a 4°C para análisis de cloruros, sulfatos, nitratos, fluoruros y fosfatos.





SIMBOLOGIA

TOPOGRAFIA

LINEA ESTATAL 

POBLACION 

HIDROGEOLOGIA

PISO  PROFUNDIDAD (m)
 TEMPERATURA (°C)  COND. ELECTRICA (μmhos)




GOBIERNO FEDERAL, INSTITUTO DE PUERTOS
 FACULTAD DE INGENIERIA
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POZOS

ESTUDIO GEOLÓGICO
 DE LA CI. DE ZACATECAS
 Y ZONAS CONFINADAS

UBICACION DE APROVECHAMIENTOS

FOLIO N.º. 15 DE FOLIOS **5**

Las muestras de agua para determinar arsénico se colocaron en frascos de polietileno de 250 ml, que se preservaron también con ácido nítrico suprapuro. El análisis se hizo por espectrofotometría de absorción atómica (generación de hidruros) en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Durante el muestreo se determinó también la profundidad del nivel estático en los pozos donde las condiciones de construcción del mismo lo permitieron. Ésto se hizo con una sonda eléctrica.

Como control de calidad en los análisis químicos, se llevó a cabo un balance iónico con lo que determinó el porcentaje de error. Este fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación (Freeze y Cherry, 1979):

$$e = \frac{\Sigma \text{aniones} - \Sigma \text{cationes}}{\Sigma \text{aniones} + \Sigma \text{cationes}} \times 100 \quad (1)$$

Cuando los análisis químicos son reportados en mg/l o en ppm es necesario primero convertirlos a meq/l. En la literatura consultada los balances iónicos deben tener una diferencia máxima del 5% para ser aceptables.

De acuerdo con lo anterior, de los 63 pozos muestreados, ocho tuvieron un error mayor al permitido por lo que solamente se incluyeron 55 para la interpretación geoquímica.

Para dar una interpretación sobre las características del agua subterránea, se formaron las curvas de isoconcentraciones de los parámetros químicos más representativos y se utilizaron los diagramas de Stiff modificado y de Piper (Pulido, 1978). Se utilizó el modelo geoquímico WATEQ (Truesdell y Jones, 1974), para la determinación de los índices de saturación.

Por otro lado, para cada una de las cuencas hidrogeológicas se realizó una gráfica de sólidos disueltos totales contra conductividad eléctrica que permitieron conocer la relación entre estos parámetros.

CAPITULO

TRES: **RESULTADOS**

3.1 GEOQUÍMICA

En la Tabla 3 se muestran los resultados de iones mayoritarios y los resultados de análisis in situ. De acuerdo con ellos, los parámetros que se salen de norma son fluoruros y fosfatos.

Fluoruros

El nivel de concentración permitido por la norma NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996) es de 1.5 mg/l. En la Figura 6 se puede observar que en la porción sureste de la zona de Chupaderos, los pozos de los poblados de San Ignacio (pozo 70), El Porvenir (pozo 10) y El Carmen (pozo 36), tienen concentraciones mayores a la recomendada por la norma de agua potable, 2.11, 1.68 y 2.08 mg/l, respectivamente. Los valores del resto de la zona fluctúan en su mayoría entre 0.6 a 1 mg/l. La mayoría de las concentraciones en la zona de Calera están en un rango de 0.9 a 1.2 mg/l, hay un sólo valor que rebasa la norma, el pozo 1222 con un nivel de 2.07 mg/l. El valor promedio tanto para esta zona como para la de Chupaderos es muy semejante, aproximadamente 1 mg/l. Cuatro de los cinco pozos muestreados en la zona de Benito Juárez presentan valores significativos de fluoruros, dos de ellos fuera de norma; éstos últimos son los pozos 516 con 1.8 mg/l y el pozo 532 con 1.71 mg/l. Con respecto a la zona de Guadalupe Bañuelos, todas las obras presentan valores altos; los pozos 219 y 57 tienen valores de 3.15 y 2.09 mg/l, respectivamente, sobrepasando la norma de agua potable. Los otros dos pozos tienen 1.5 mg/l (pozo 22) y 1.3 mg/l (pozo 147).

TABLA No.3 Resultados de análisis fisicoquímicos de agua en fuentes de abastecimiento de agua potable y riego de la ciudad de Zacatecas y áreas circunvecinas

NUMERO DE POZO	pH	T (°C)	SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ total mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe ⁺⁺ total TOTAL mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	DUREZA TOTAL mg/l CaCO ₃	SDT mg/l	Alcalinidad mg/l como CaCO ₃	CE S/cm
CALERA																	
27	7.6	25.1	52.27	13.00	1.23	0.75	8.26	46.92	16.12	33.36	15.61	0.01	214.72	127.69	364	176	446
76	7.6	25.0	39.28	22.51	0.95	0.32	9.12	52.59	8.95	41.45	4.20	0.10	176.9	116.1	376	145	436
114	7.52	24.2	23.02	7.33	1.20	0.64	8.42	40.82	12.97	35.27	3.05	0.00	185.44	86.73	320	152	376
324	7.5	25.6	39.05	8.64	0.98	0.77	4.98	40.88	11.79	36.19	12.86	0.00	202	118.58	376	165	427
375	7.5	25.6	41.53	10.99	0.89	0.91	7.54	45.1	9.89	31.88	15.94	0.00	215.94	123.48	368	177	421
616	7.3	26.9	38.27	12.57	0.64	0.11	10.86	20.26	4.76	21.97	32.89	0.00	219.6	195.02	380	180	7.2
626	7.3	21.1	16.74	6.6	0.97	0.72	9.25	27.71	7.38	41.61	2.93	0.00	174.46	101.43	268	143	326
696	7.47	23.8	32.05	14.82	1.21	0	9.98	22.21	13.83	39.38	14.51	0.00	195.2	153.37	340	160	398
682	7.3	24.6	65.46	22.25	1.00	0	11.05	43.21	13.1	31.36	18.54	0.00	201.3	163.17	424	165	520
665	7.2	23.7	54.74	20.16	1.19	0	12.45	46	13.33	55.26	7.45	0.05	207.4	148.47	376	170	478
740	7.65	26.1	32.72	10.73	0.89	0.54	8.81	35.29	11.27	20.45	26.20	0.12	224.46	164.15	336	164	433
746	7.4	22.5	36.72	14.13	1.43	0.72	11.36	39.85	9.46	36.85	25.70	0.00	244	167.58	388	200	486
794	7.6	23.3	16.89	7.59	1.03	0.59	4.57	32.33	9.44	40.56	3.35	0.02	176.12	98	324	146	357
802	7.65	25.9	20.54	5.76	1.03	0.7	5.08	27.83	10.89	35.44	1.59	0.00	152.5	83.3	304	125	308
813	7.4	21	21.91	9.88	0.80	0.47	12.05	13.12	10.57	50.21	9.24	0.03	187.88	162.19	292	154	359
876	7.5	27.6	13.54	10.21	1.01	0.73	11	27.67	11.88	37.85	6.08	0.00	174.46	102.41	204	143	342
999	7.3	27.4	23.17	7.33	1.29	0.52	5.43	41.42	8.49	28.75	2.62	0.00	195.2	64.77	304	160	395
1135	7.5	26.5	26.44	25.85	0.47	0.89	5.88	17.56	3.55	26.46	34.27	0.00	222.04	198.49	348	162	429
1190	7.5	26.2	16.71	8.11	1.11	0	6.59	30.44	8.56	33.85	1.49	0.00	178.12	100.45	284	146	344
1194	7.89	26.1	7.82	3.88	0.93	0.73	3.88	11.19	4.5	40.39	6.22	0.00	146.4	108.3	212	120	259
1222	7.65	26.4	65.29	20.16	2.07	0.31	18.04	180.6	14.25	22.29	18.22	0.84	419.56	120.54	668	354	769
16-301	7.55	25.5	16.88	7.33	1.16	0.64	4.9	34.57	11.53	30.4	2.31	0.00	175.68	88.89	316	144	340
13-76	8.02	23.2	11.33	4.71	0.58	0.68	3.29	16.94	9.83	38.79	8.48	0.00	218.38	134.6	312	179	350
32-10	7.71	25.6	32.89	11.78	0.87	0.72	6.42	25.15	6.74	27.39	37.59	0.00	236.88	179.3	356	194	528
PIRMENTA	7.2	25.7	126.51	67.02	0.89	0	8.97	23.61	6.15	83.64	35.03	0.00	197.64	324.67	580	162	684

Tabla 3 (cont.)

NÚMERO DE POZO	pH	T (°C)	SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ total mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe ⁺⁺ total TOTAL mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	DUREZA TOTAL mg/l CaCO ₃	SDT mg/l	Alcalinidad mg/l como CaCO ₃	CE S/cm
DEWITO JUAREZ																	
914	7.1	27.7	11.18	8.28	1.22	0	4.45	38.45	4.55	59	0.23	0.00	284.28	155.62	340	233	430
916	7.1	25.1	18.11	8.64	1.80	0	5.19	45.17	5.16	54.7	0.32	0.00	231.8	131.81	300	190	418
832	7.35	28.7	22.19	8.11	1.71	0.27	4.79	40.19	9.16	37.88	0.83	0.00	208.62	107.31	308	171	374
883	7.4	25.8	33.05	13.61	1.10	0	4.61	24.61	21.16	44.2	4.03	0.00	166.66	131.81	308	153	303
840	7.4	26.4	57.27	43.19	0.65	0	10.86	20.39	4.74	47.02	26.02	0.09	185.2	230.79	368	160	440
CHUPADEROS																	
10	7.48	23	388.11	129.65	1.68	0.16	20.44	87.16	24.34	162.5	36.10	0.52	145.18	478.68	1028	119	1051
36	7.94	29.6	39.49	16.5	2.08	0	14.55	74.05	6.04	26.95	4.73	0.01	198.66	63.7	364	163	467
70	7.42	25.8	220.59	57.59	2.11	0.08	9.34	95.7	18.81	78.9	15.52	4.78	230.58	247.94	723	189	845
98	7.76	33	32.88	13.61	1.04	0.01	9.7	50	11.81	35.99	11.81	0.04	237.9	130.18	332	195	465
116	7.8	29.1	47.33	14.14	0.71	0.16	6.78	50.43	9.38	27.33	18.25	0.00	213.5	133.28	372	175	470
1026	8.19	27.6	133.8	38.48	0.98	0.15	13.66	87.53	4.98	27.72	40.44	0.00	269.62	239.58	532	221	511
1064	7.5	33.7	52.3	17.02	0.73	0.16	14.24	40.71	13	32.98	25.02	0.00	219.6	172.48	396	180	538
1134	7.27	28.7	144.62	29.58	1.09	0.13	13.09	122.7	7.94	32.34	27.91	0.08	286.46	179.34	612	243	746
1195	7.47	28	147.64	88.75	0.58	0.15	41.74	48.41	9.88	61.98	62.83	0.02	212.28	363.09	732	174	729
1252	7.93	29.7	45.51	17.8	1.49	0.24	16.52	83.68	16.25	27.42	4.18	0.00	201.3	77.71	368	165	474
1310	7.56	24.3	75.25	136.13	0.42	0.01	17.47	38.66	4.39	50.44	64.77	0.00	213.5	394.51	604	175	516
1368	8.1	25.8	82.14	9.94	0.73	0.11	5.65	72.68	4.13	22.48	22.93	4.78	248.88	148.5	384	204	548
1391	7.77	27.8	36.18	53.93	0.84	0.18	18.25	33.29	6.48	39.6	33.51	0.00	212.28	228.69	380	174	542
1417	7.8	28.3	50.74	18.32	1.25	0.16	14.6	83.25	14.52	29.51	9.49	0.04	209.64	103.95	380	172	493
1482	7.77	28.1	64.39	112.57	0.97	0.01	11.89	64.4	8.57	42.43	56.87	0.07	261.06	301.95	560	214	751
1549	7.83	27.5	56.06	28.01	0.53	0.2	7.2	78.81	8.01	25.24	25.89	0.17	283.04	164.34	484	232	543
1615	7.52	28.4	103.1	75.06	0.73	0.18	33.9	36.24	7.19	58.05	54.39	0.08	235.48	351.45	552	193	638
1672	7.8	30.6	44.9	62.04	0.29	0.09	11.31	33.91	3.98	30.19	47.40	0.03	209.64	251.86	440	172	621
1795	7.69	30.7	39.75	12.82	0.63	0.16	6.6	48.39	7.25	24.98	18.65	0.00	213.5	131.81	324	175	499
5162	7.88	26.1	141.39	60.47	0.85	0.16	12	102.4	7.52	34.71	28.72	0.07	223.26	186.69	608	183	672
ZQ-01	7.85	25.3	18.11	7.07	0.65	0.13	32.88	14	11.29	51.41	15.17	0.12	215.94	181.79	332	177	410

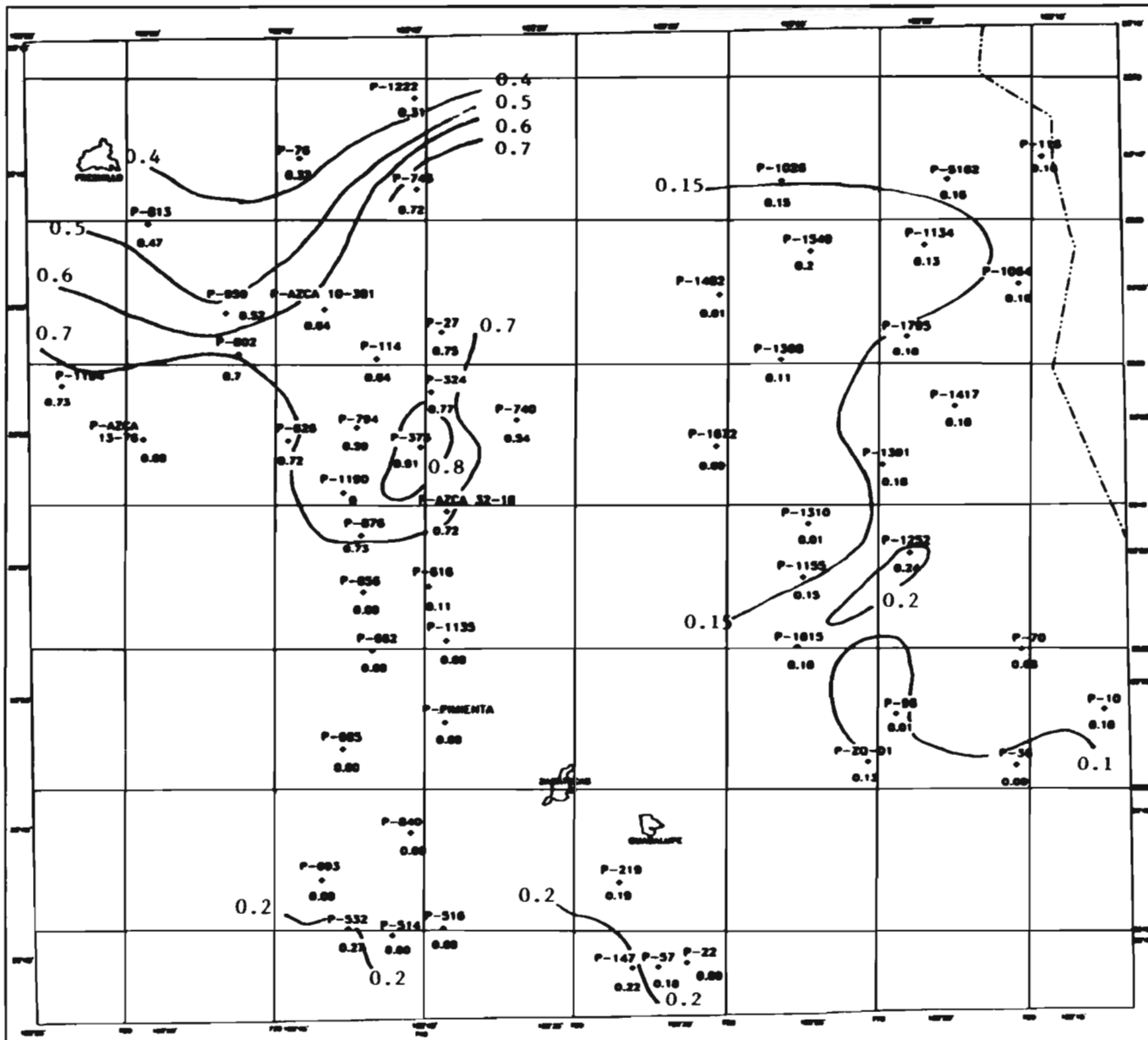
Tabla 3 (cont.)

NÚMERO DE POZO	pH	T (°C)	SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ total mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Fe ⁺⁺ total TOTAL mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	DUREZA TOTAL mg/l CaCO ₃	SDT mg/l	Alcalinidad mg/l como CaCO ₃	CE S/cm
QUADALUPE BAÑUELOS																	
22	7.92	22.5	59.09	27.75	1.49	0	28.37	80.7	20.08	79.43	14.63	0.00	323.3	208.38	516	265	639
57	7.72	29	33.72	11.52	2.09	0.16	7.46	55.91	6.88	44.04	3.08	0.08	230.58	113.85	408	189	465
147	7.77	30.3	20.18	9.88	1.35	0.22	5.8	42.54	10.44	45.43	3.89	0.00	229.38	128.7	324	188	433
219	7.28	35.4	40.68	29.32	3.15	0.18	7.52	42.64	5.42	60.44	7.07	0.00	215.94	178.2	420	177	540

Fosfatos

Los fosfatos provienen del intemperismo de rocas ígneas y de la lixiviación de suelos que contienen desperdicios orgánicos, fertilizantes, detergentes y drenajes domésticos e industriales. Por este motivo, la mayoría de los pozos muestreados superan el valor límite de 0.1 mg/l que fija el anteproyecto de norma NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996), (Figura 7). Un alto porcentaje de los pozos muestreados en la zona de Chupaderos rebasan este límite, fluctuando la mayoría de las concentraciones entre 0.13 a 0.18 mg/l. El pozo 70 es el único que registra un valor superior al límite en gran proporción, 0.7 mg/l, pero su uso es para riego y el valor permisible tampoco se encuentra restringido. Sin embargo, en lo que se refiere a la zona de Calera, los pozos que rebasan el límite son la mayoría y lo hacen con bastante proporción ya que la mayor parte fluctúa entre 0.3 y 0.7 mg/l. Los valores de la zona de Benito Juárez son bajos, cuatro de los pozos tienen concentración cero; el pozo que supera el valor de 0.1 mg/l es el 532 con 0.3 mg/l. Las obras de Guadalupe Bañuelos tienen concentraciones superiores al límite, aunque no en gran proporción; uno de los pozos también registra concentración cero.

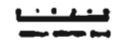
El resto de los parámetros están dentro de norma de agua potable; los cloruros fluctúan entre 3.66 y 136 mg/l y el límite permisible por la norma de agua potable es de 250 mg/l. Con respecto a nitratos, fuera de los pozos 1155 con 9.43 mg/l y el pozo 1615 con 7.66 mg/l de la cuenca de Chupaderos, y el pozo 22 con 6.4 mg/l de Guadalupe Bañuelos, la mayoría del resto está por debajo de 3 mg/l. El mayor contenido de cloruros se encuentra en la zona de Chupaderos. En relación a sulfatos los niveles detectados en todos los pozos muestreados en este estudio cumplen con la norma (400 mg/l). Sin embargo, hay concentraciones de algunos pozos que rebasan la media de los pozos muestreados. Lo más significativo se encuentra en la zona de Chupaderos, en la región de El Porvenir donde los valores de dos de los pozos son 221 y 386 mg/l, éste último ya muy cercano al límite de la norma. También la zona de Chupaderos presenta los contenidos más altos tanto en sólidos disueltos totales como en conductividad eléctrica de las cuatro zonas hidrogeológicas que conforman el área de estudio. El límite permisible de dureza (como CaCO_3) para agua potable es de 500 mg/l, valor que no fue superior en ninguna de las muestras de agua. La concentración



SIMBOLOGIA

TOPOGRAFIA

- LINEA OFICIAL _____
- POZO _____
- CORRIENTE DE AGUAS _____
- CERCA DE ENCERQUE _____



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO GEOQUÍMICO
DE LA C.A. DE ZACATECAS
Y ZONAS CONURBADAS

ISOCONTENIDO DE FOSFATOS (mg/l)

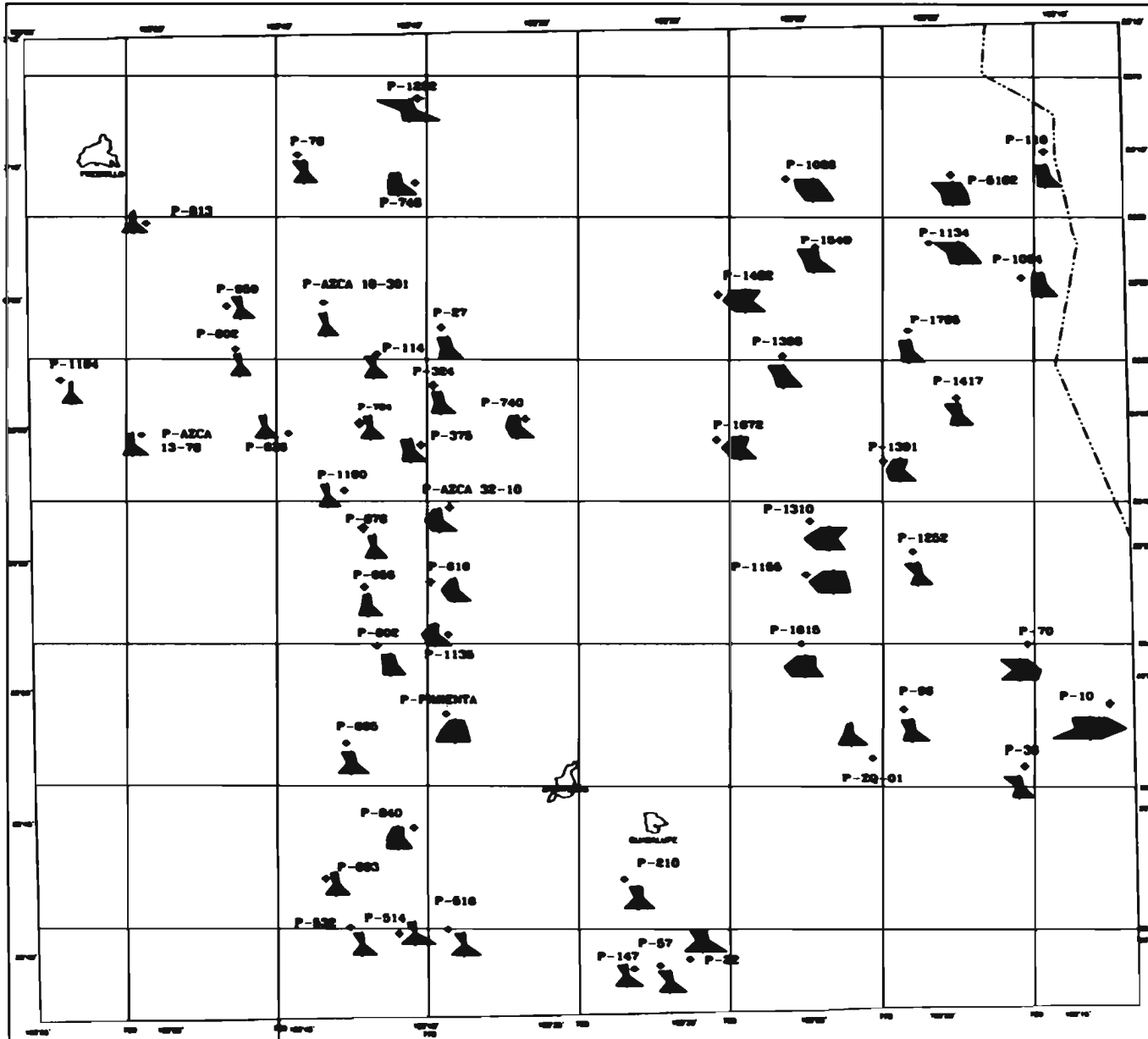
México, D.F. No. DE FOLIO 7

mayor se registró en el pozo 10 de Chupaderos con un valor de 476 mg/l. De acuerdo con la clasificación del agua en función de su dureza (Sawyer *et al*, 1994), las aguas de las cuatro zonas caen en el intervalo entre moderadamente duras y duras. Con respecto a calcio éste se presenta mas o menos en las mismas concentraciones en las zonas de Calera y Chupaderos. El valor máximo permisible de magnesio para agua potable es de 150 mg/l, concentración que no es mayor en ninguno de los pozos muestreados, cuyos valores varían entre 0.23 y 64.77 mg/l. Lo mismo sucede con el contenido de sodio, donde todos los pozos reportan niveles inferiores al límite establecido por la norma (200 mg/l).

Diagramas de Stiff modificado y Piper



De acuerdo con los diagramas de Stiff modificado (Figura 8) las aguas de las cuatro zonas hidrogeológicas son bicarbonatadas, con excepción de tres pozos en la zona de Chupaderos; el agua subterránea de uno de ellos es clorurada además de bicarbonatada, este pozo (1310) se encuentra ubicado al norte de El Bordo Buenavista, en las cercanías del poblado de Santa Teresa. El pozo 10 de El Porvenir presenta aguas predominantemente sulfatadas, y el pozo 70, cercano al anterior, sulfatadas-bicarbonatadas. Existen otros dos pozos con aguas principalmente bicarbonatadas pero donde los cloruros y sulfatos también están presentes en proporción importante, es el caso de los pozos 1482 con agua bicarbonatada-clorurada y el 1155 con agua bicarbonatada-sulfatada. En este último caso se encuentra el pozo Pimienta de la zona de Calera, único de esta zona cuya agua no es predominantemente bicarbonatada. Con respecto a los resultados de cationes se puede observar que el ion calcio se encuentra presente en las aguas de la zona de Chupaderos, en algunos casos en concentraciones mayores que las de la zona de Calera, solo que estos valores son superados por el sodio y el magnesio presente en el agua, por lo que las aguas son predominantemente sódicas y magnésicas. En Calera el ion calcio es menos dominante hacia la parte central, formando una pequeña franja en dirección norte-sur, donde las aguas son sódicas pero sin que el ion calcio disminuya de manera considerable.

En Guadalupe Bañuelos y Benito Juárez las aguas subterráneas son cálcicas.




SIMBOLOGIA

TOPONIMIA

LIMITE ESTATAL _____ 
 POBLACION _____ 

HIDROGEOLOGIA

POZO _____ 
 DIAGRAMA DE STIFF (modificado) _____



0 1 2 3 4 5
 (Scale bar)

GOBIERNO NACIONAL AUTÓNOMO DE PUEBLO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 OFICINA DE ESTUDIOS DE PUEBLOS

ESTUDIO GEOQUIMICO
 DE LA Cd. DE ZACATECAS
 Y ZONAS CONURBADAS

DIAGRAMA DE STIFF (modificado)

ESCALA: 1:50,000
 No. DE FIGURA 8

Los diagramas de Piper (Figuras 9, 10, 11 y 12) coinciden en forma general con los resultados de los diagramas de Stiff modificado. Muestran las aguas del valle de Chupaderos en su mayoría bicarbonatadas, pero es difícil identificar o diferenciar familias de agua; sin embargo en general se puede decir que son mixtas-sódicas-bicarbonatadas. En la zona de Calera las aguas son netamente bicarbonatadas dando como resultado aguas tipo mixta-cálcica-bicarbonatada. El valle de Benito Juárez presenta aguas que corresponden a las obtenidas en los diagramas de Stiff modificado, aguas tipo cálcica-bicarbonatada al igual que para la zona de Guadalupe Bañuelos.

Relación SDT vs CE

Las gráficas de las cuatro zonas que relacionan estos parámetros muestran una relación lineal (Figuras 13 y 14). Se utilizó el método de regresión lineal por mínimos cuadrados y las relaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

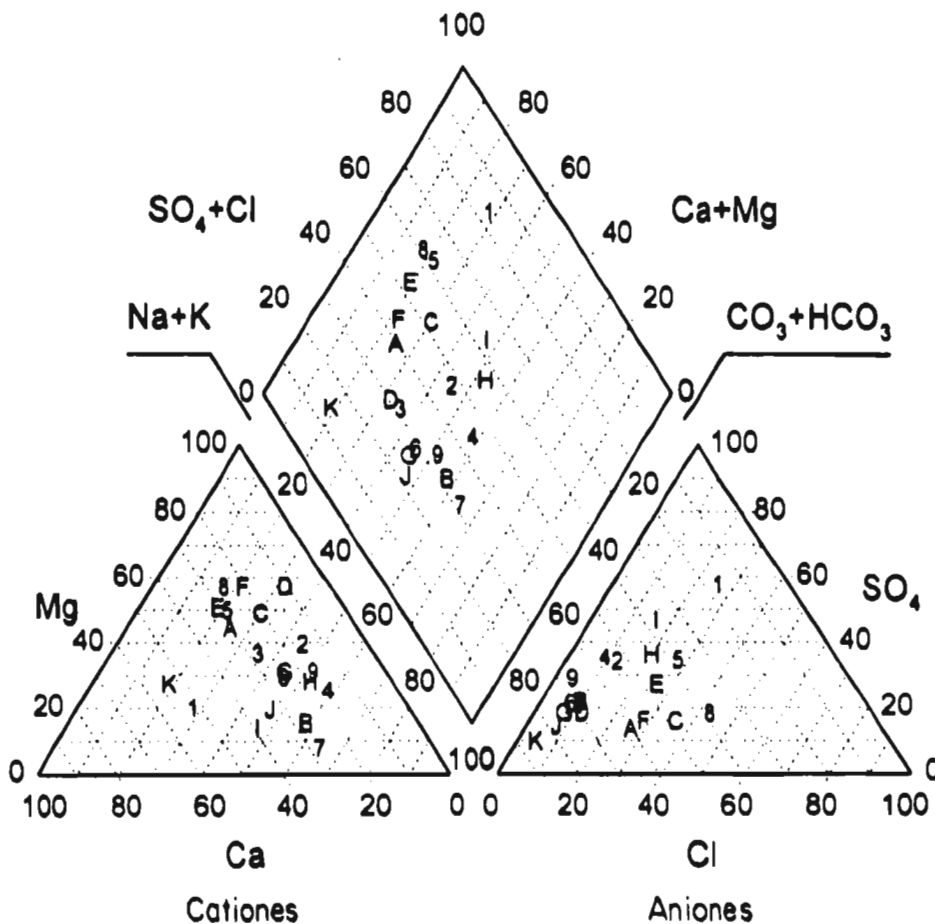
$$\text{Calera} \quad \quad \quad \text{CE} = 0.1.09\text{SDT} + 40.32 \quad \quad \text{R}^2 = 0.8985$$

$$\text{Chupaderos} \quad \quad \quad \text{CE} = 0.70\text{SDT} + 237.7 \quad \quad \text{R}^2 = 0.6998$$

Para Benito Juárez y Guadalupe Bañuelos no se obtuvo la ecuación por ser muy pocos datos.

En el caso del valle de Calera hay dos pozos que aún cuando se encuentran dentro de la línea de regresión, presentan un valor de sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica superior al del resto de los pozos muestreados. Estos son los pozos 1222 y Pimienta. Hay otros dos pozos que sí se salen de la línea de regresión, son los pozos 876 y Azca 32-10. La mayoría de los pozos presentan niveles de conductividad eléctrica entre 300 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de sólidos disueltos totales entre 250 y 400 mg/l. En el caso de la cuenca de Chupaderos son dos los pozos que quedan fuera del rango determinado para este valle que es un valor de conductividad eléctrica entre 400 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y sólidos disueltos totales entre 300 y 750 mg/l. Los pozos muestreados que

Diagrama de Piper

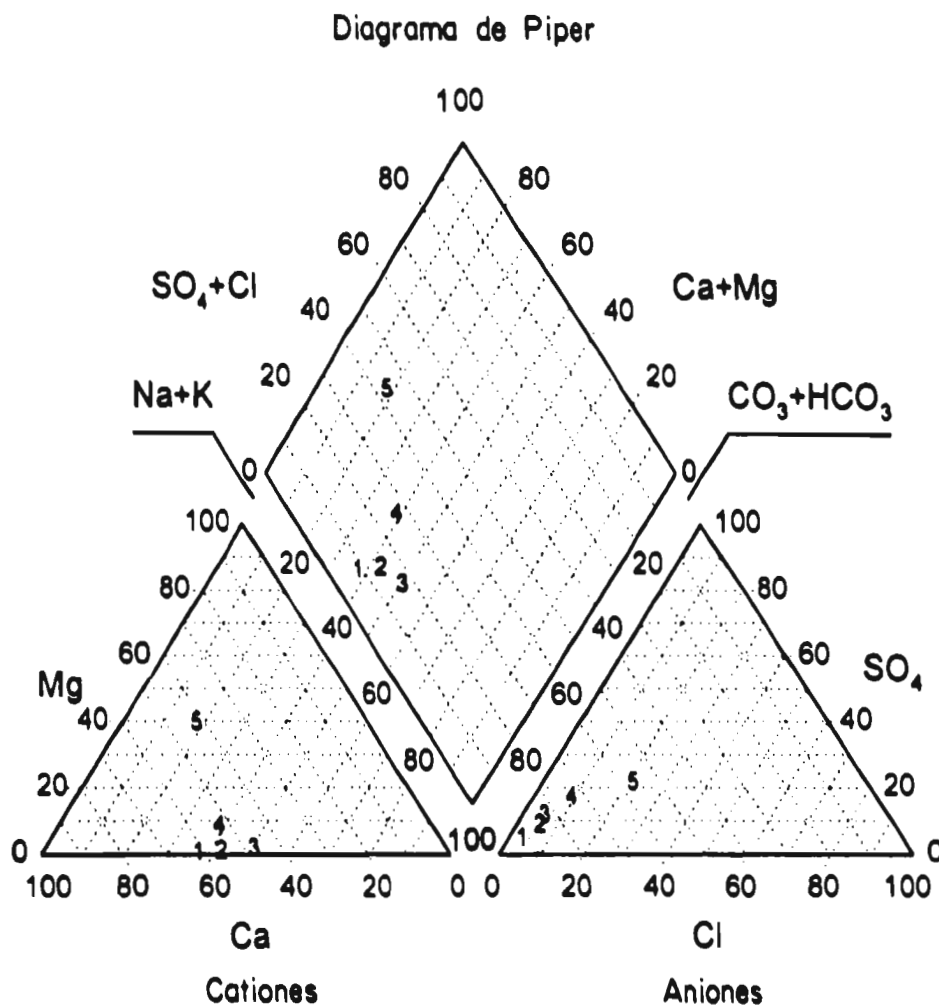


No. de ident.*	No. de pozo	No. de ident.	No. de pozo	No. de ident.	No. de pozo
1	10	8	1310	F	1672
2	1026	9	1368	G	1795
3	1064	A	1391	H	5162
4	1134	B	1417	I	70
5	1155	C	1482	J	96
6	116	D	1549	K	ZQ-01
7	1252	E	1615	L	36

* identificación en el diagrama de Piper

CHUPADEROS

Figura 9 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Chupaderos



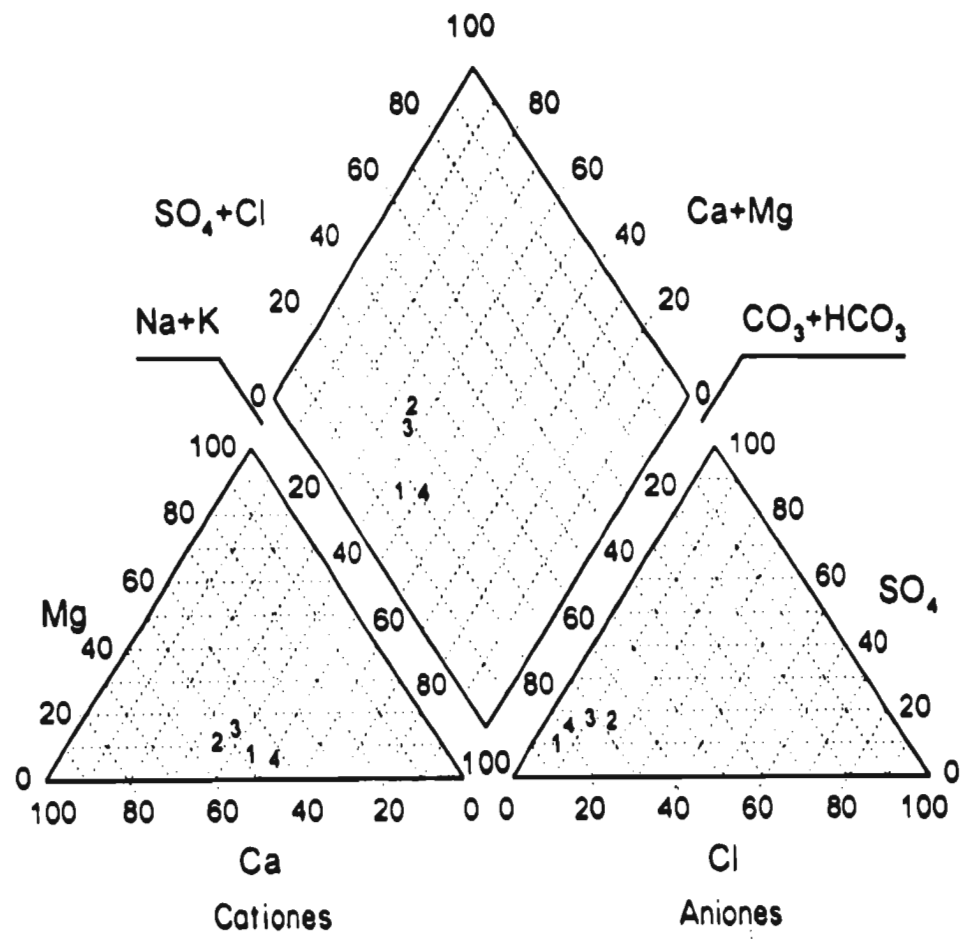
No. de ident.*	No. de pozo
1	514
2	516
3	532
4	693
5	840

BENITO JUAREZ

* identificación en el diagrama de Piper

Figura 11 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Benito Juárez

Diagrama de Piper



No. de Ident.º	No. de pozo
1	147
2	219
3	22
4	57

GUADALUPE BAÑUELOS

* identificación en el diagrama de Piper

Figura 12 Representación en diagrama de Piper de los análisis de agua subterránea de Guadalupe Bañuelos

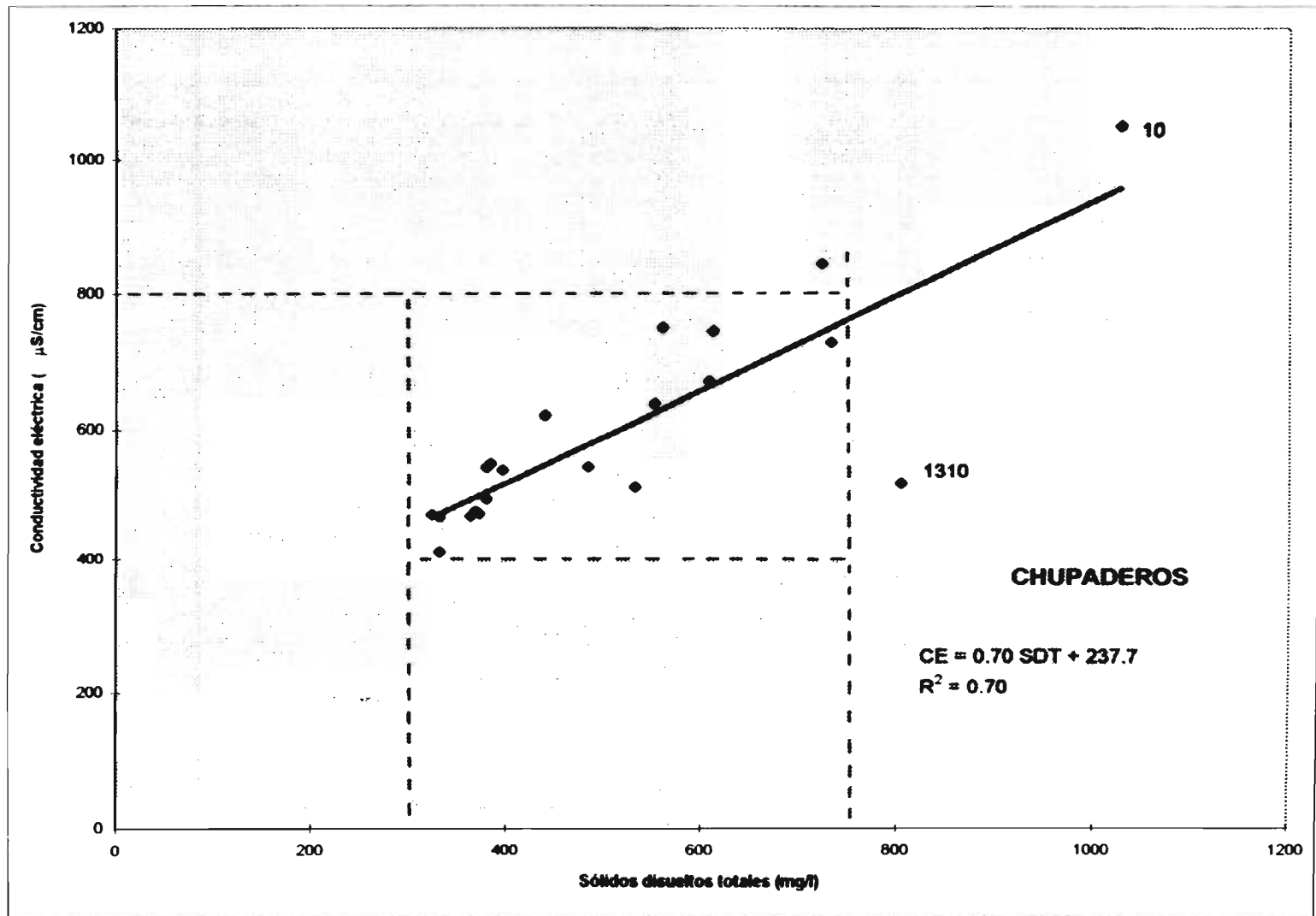


Figura 13. Relación de sólidos disueltos totales (SDT) vs conductividad eléctrica (CE) de la zona de Chupaderos

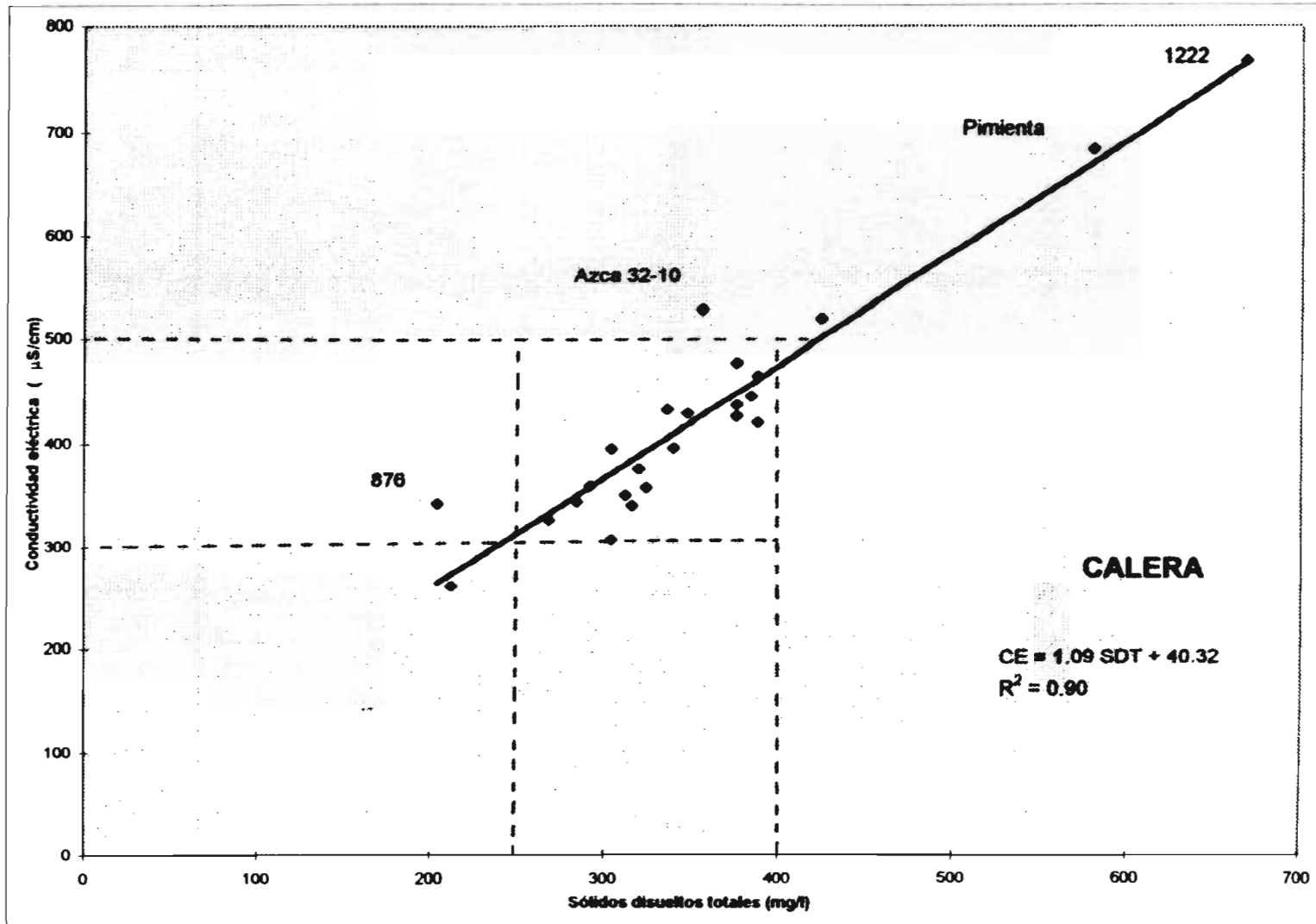


Figura 14. Relación de (SDT) vs (CE) de la zona de Calera

se salen de este rango son el 10 y 1310. Los datos de las zonas de Benito Juárez y Guadalupe Bañuelos son muy pocos para determinar un rango.

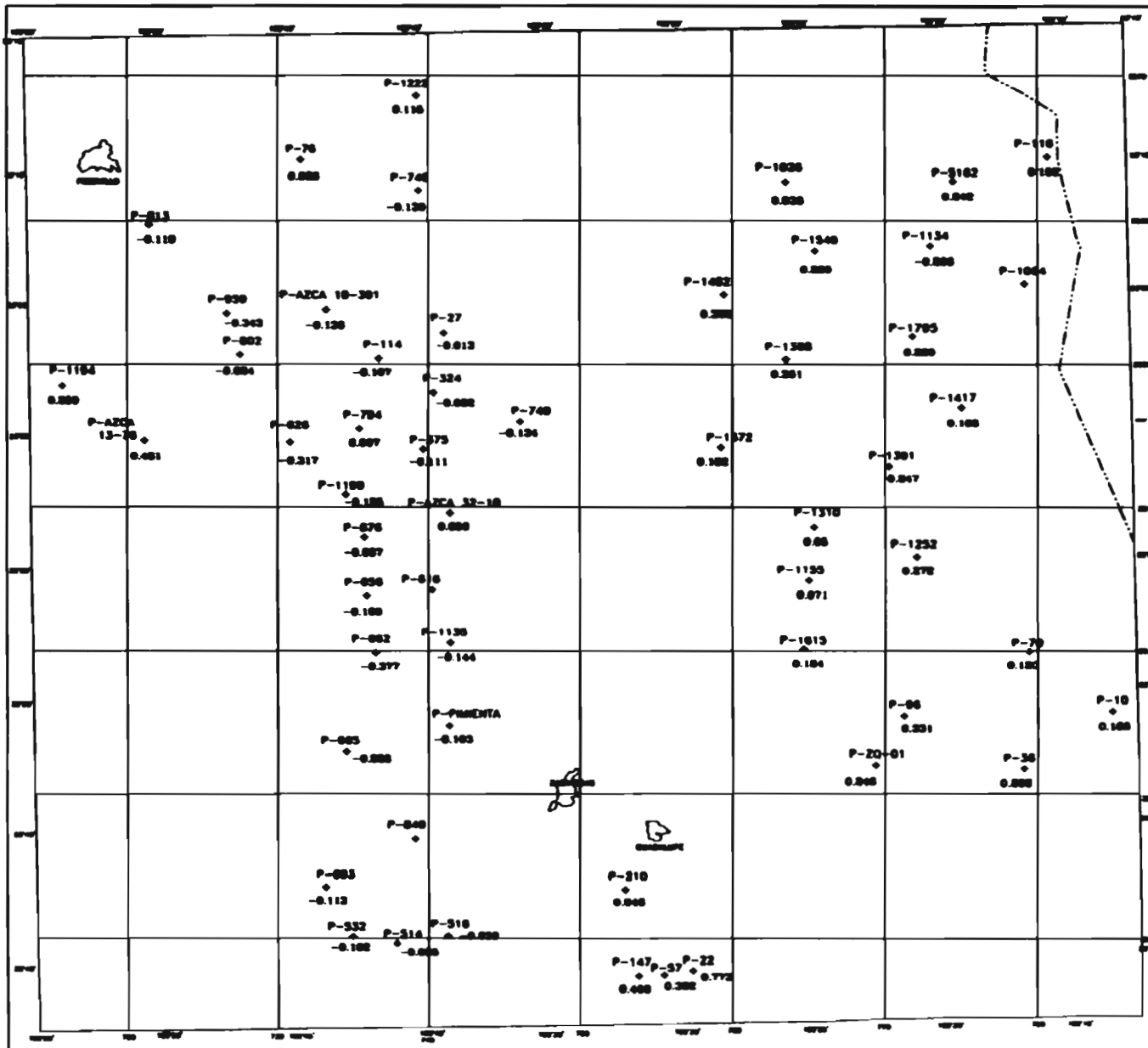
Indice de saturación

Los resultados de los índices de saturación con respecto a la calcita se presentan en la Figura 15 y en ellos se observa claramente dos familias de agua, las del este (sobresaturada) y las del oeste (subsaturada).

Jales

Con el fin de tener una idea general de la fuente de aportación de arsénico a las aguas subterráneas se muestrearon seis sitios de jales en la zona de Chupaderos y Guadalupe Bañuelos, áreas donde se reporta la mayor cantidad de depósitos de este tipo, algunos de ellos con más de 450 años de existencia. Las extensiones de terreno con jales son grandes y los espesores que se han llegado a observar pueden alcanzar hasta 10 metros.


En estudios anteriores se han realizado muestreos intensivos de algunos jales con el objetivo de evaluar su potencial económico. Uno de ellos fue financiado por la compañía Minera La Piñuelita, S.A. de C.V., en los terrenos que conforman el Ejido de Guadalupe, ubicado en las cercanías de Guadalupe. En dicho trabajo se realizó el análisis de 809 muestras para oro y plata, y a una de cada 25 muestras se le realizó análisis de mercurio, calculándose reservas de 1,500,000 toneladas con 98 g/ton de Ag, 0.260 g/ton de Au y 309 g/ton de Hg (Minera La Piñuelita, 1992) También la laguna Zacatecana o presa del Pedernalillo fue evaluada en el año de 1994, obteniéndose altas concentraciones de mercurio, 500 g/ton (Pan American Minerals Corp., 1994).



SIMBOLOGIA

TOPONIMIA

- 
 LIMITE ESTATAL
- 
 POND
- 
 INDICE DE SATURACION



 ESCALA: 1:50,000

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO GEOQUÍMICO
 DE LA Cd. DE ZACATECAS
 Y ZONAS CONURBADAS

INDICE DE SATURACION

FECHA: 07/08/2010 No. DE FIGURA 15

En el presente estudio los elementos que se analizaron fueron plomo, arsénico y mercurio. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 5. Resultados de muestras de jales

Jales	Plomo g/ton	Arsénico g/ton	Mercurio g/ton
San José de la Era	1007.5	113.4	100.7
Lampotal	903.4	149.7	9.2
La Zacatecana	249	33.5	26.6
Gal. La Zacatecana	< 2.5	13.6	< 0.5
Osiris	62.7	21.8	4.2
La Fe	1630.6	116.5	< 0.5

3.2 HIDROGEOLOGÍA

En la Tabla 4 se muestra la información de los pozos que tienen datos de profundidad, nivel estático, elevación de brocal y coordenadas geográficas y en la Figura 16 se presenta la elevación del nivel estático donde se define una línea equipotencial de 2100 msnm en la porción centro de Calera, a la altura del poblado de Víctor Rosales, disminuyendo los valores de las líneas equipotenciales hacia el norte, en la zona de Ramón López Velarde, San José Palma Delgadita y Llano Blanco del Norte. En dirección perpendicular a la carretera hacia Fresnillo se observa un abatimiento importante que puede deberse al volumen de agua extraído; sin embargo, éste no se puede asegurar debido a la falta de información de los caudales extraídos.

En Benito Juárez el único valor que se muestra claramente es el de 2200 msnm.

Al norte de Chupaderos se presentan las líneas correspondientes a los niveles estáticos más bajos (1950 msnm). Hacia la porción central de esta zona se observa una depresión que puede deberse a la extracción prolongada de agua del lugar; sin embargo, éste no pudo corroborarse por falta de información.

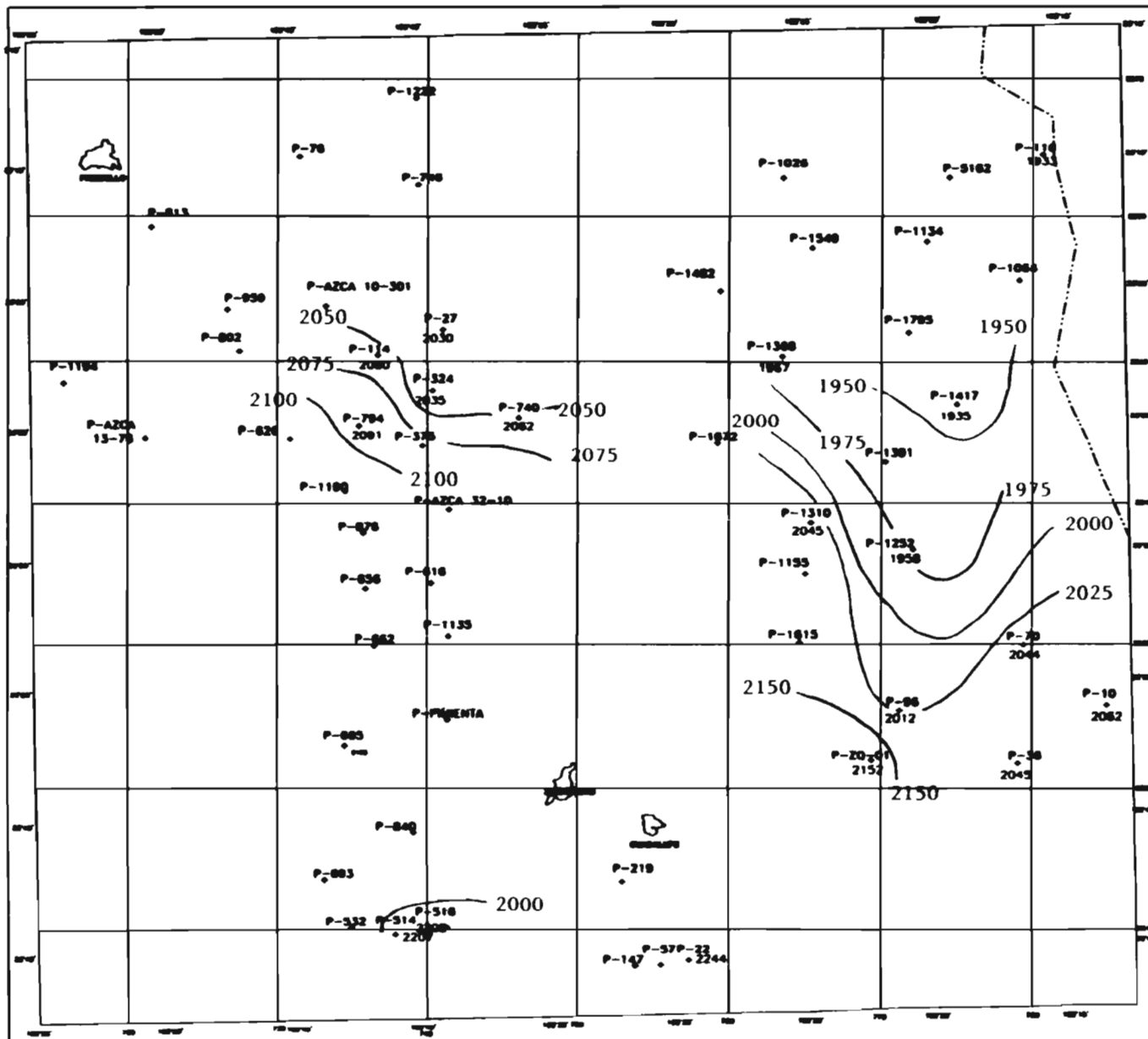
TABLA No. 4 Información de profundidad, niveles estáticos, elevación de brocal (1995-1996) y coordenadas geográficas

POZO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL EST.	NIVEL EST.	ELEVACION DEL BROCAL (msnm)	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
		1996 (m)	1995 (m)		N	W
CALERA						
27		70		2100	102°38.84'	23°03.66'
66					102°40.80'	23°06.67'
76		61.72			102°44.294'	23°10.35'
114			26.18	2106	102°41.39'	23°02.71'
151		32.8			102°38.33'	23°06.82'
324	140	79		2114	102°39.28'	23°01.38'
375	110		51		102°39.71'	22°59.25'
587	50				102°45.73'	23°12.55'
616	211				102°39.46'	22°53.98'
626	150				102°44.87'	22°59.60'
656	100				102°42.01'	22°53.81'
662	132				102°41.70'	22°51.61'
665		48.5		2216	102°42.92'	22°47.88'
740		74.3		2136	102°35.94'	23°00.27'
746	85				102°39.73'	23°09.04'
794	100		38	2129	102°42.18'	23°00.06'
802	150			2172	102°46.77'	23°02.94'
813	150	7.3			102°50.23'	23°07.89'
831	75				102°46.54'	23°10.95'
876	160				102°42.07'	22°55.96'
959	200				102°47.24'	23°04.52'
1133	169	124.4			102°47.998'	22°55.401'
1135					102°38.81'	22°51.95'
1190	200				102°42.75'	22°57.56'
1194	177	119			102°53.70'	23°01.85'
1222	150	22.2			102°39.754'	23°12.515'
1345		32			102°50.758'	23°13.420'
Azca 10-301		63.47			102°43.40'	23°04.59'
Azca 13-76	200	25.05			102°50.53'	22°59.73'
Azca 32-10					102°38.72'	22°56.82'
PIMIENTA					102°38.9'	22°48.80'
BENITO JUAREZ						
514			15.65	2222.72	102°41.07'	22°40.62'
516			47.1	2252.53	102°39.08'	22°40.89'
532				2194	102°42.78'	22°40.91'
693					102°43.79'	22°42.79'
840				2251.2	102°40.29'	22°44.53'

TABLA No. 4 (Cont.)

POZO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL EST. 1996	NIVEL EST. 1995	ELEVACION DEL BROCAL	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
					N	W
CHUPADEROS						
1026	180	35.45			102°25.578'	23°09.133'
1064	100			2149	102°16.506'	23°05.135'
1134	200				102°20.089'	23°06.635'
1155		22			102°24.985'	22°54.112'
1251	80	20.6			102°18.248'	22°53.105'
1252	200	90		2047.75	102°20.831'	22°54.952'
1310	72	23		2067.8	102°24.75'	22°56.08'
1368	200	65.7		2032.2	102°25.715'	23°02.445'
1391	200			2033.43	102°21.842'	22°58.393'
1417	150	75		2010.2	102°19.023'	23°00.520'
1482	180			2042.47	102°28.051'	23°04.917'
1549	200				102°24.510'	23°06.575'
1615	200				102°25.247'	22°51.497'
1672	200				102°28.262'	22°59.137'
1795	200	85			102°20.837'	23°03.249'
10		24.65		2086.99	102°13.481'	22°48.933'
36		39.9		2084.9	102°16.898'	22°46.820'
70		25.35		2069.77	102°16.613'	22°51.256'
96		133		2145	102°21.451'	22°48.887'
5162		35.9			102°19.169'	23°09.062'
116		39.6		1973	102°15.543'	23°09.910'
ZQ-01		17.7		2170	102°22.566'	22°47.041'
GUADALUPE BANUELOS						
22	30	21		2265.2	102°29.708'	22°39.439'
57				2290.46	102°30.802'	22°39.280'
76-I	300				102°31.715'	22°41.866'
147	240			2303.25	102°31.789'	22°39.258'
219					102°32.233'	22°42.540'

NOTA: Las elevaciones de brocal fueron tomadas de Comisión Nacional del Agua



SIMBOLOGIA

TOPONIMIA

LIMITE ESTATAL _____

POBLACION _____

HIDROGEOLOGIA

POZO _____

ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO _____ 2200

CURVA DE ISOELEVACION _____

0 1 2 3 4 5
METROS (CADA UNIDAD)

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ESTUDIO GEOQUIMICO
DE LA CA. DE ZACATECAS
Y ZONAS CONRIBADAS

ELEVACION DEL NIVEL ESTATICO _____

MEXICO, D.F.

NO. DE FIGURA

16

En Chupaderos el mayor nivel estático de los pozos muestreados es de 133 m, valor observado en un aprovechamiento hacia el sur de la zona, en el pozo 96, que no corresponde a los niveles estáticos observados en la porción sur de esta región que se caracteriza por un gran número de norias que implican niveles estáticos someros; los pozos con niveles mas profundos se presentan hacia el norte-centro, ésto es debido posiblemente a que el agua de las norias se obtiene de un horizonte permeable somero que no tiene un espesor importante para la explotación de grandes caudales, resultado de la falla normal con dirección noroeste que se sugiere en el estudio SARH (1973), que separa la zona de Chupaderos en dos bloques, el suroccidental y el nororiental, siendo el primero el bloque levantado y el segundo el caído. El estudio no da datos exactos de la ubicación de esta falla. La presencia de la falla originó que la acumulación de materiales de relleno sea menor en la porción suroeste, que no parece exceder de 60 m, mientras que en el noreste puede llegar hasta 200 m. La profundidad de algunos de los pozos muestreados en esta última zona varían de 150 a 200 m aproximadamente, y de los pozos correspondientes a la zona del suroeste no se obtuvieron datos de profundidad.

En Benito Juárez se tienen datos de dos pozos con niveles de 15 y 47 metros respectivamente para los pozos 514 y 516.

En Guadalupe Bañuelos sólo se registra un dato de nivel estático a 21 metros.

CAPITULO CUATRO: *DISCUSIÓN*

4.1 GEOQUÍMICA

A nivel regional se pueden identificar claramente dos familias de agua, las del este (sobresaturadas) y las del oeste (subsaturadas). La familia de agua de la primera zona son predominantemente mixta-sódica-bicarbonatada. Estas aguas tienen una mayor cantidad de sólidos disueltos totales, lo cual es compatible con la hidrogeología ya que su zona de recarga se encuentra muy alejada, a aproximadamente 40 km al sur. Esta zona al parecer está interconectada con otras zonas hidrogeológicas, específicamente con Guadalupe Bañuelos y Trancoso, de donde el agua subterránea pudo obtener un mayor contenido de sólidos disueltos. Además, las aguas residuales de la ciudad de Zacatecas y Guadalupe van a dar a la laguna La Zacatecana a través del arroyo La Plata, las cuales pueden tener cierta infiltración hacia el acuífero. La segunda zona, sin embargo, tiene su área de recarga más próxima al flanco occidental y por lo tanto, son aguas con un tiempo de residencia mucho más corto. La principal familia de agua de esta zona es de tipo mixta-cálcica-bicarbonatada y el rango de sólidos disueltos totales es de 204 a 668 mg/l.

El calcio es un ion que proviene de la disolución de muchos tipos de suelos y rocas, pero en especial de las calizas, las dolomías y yesos. Las aguas subterráneas de la zona de Calera se definieron más cálcicas en relación con las de Chupaderos que son más sódicas, pero en realidad en esta última zona también se tienen valores semejantes a los de Calera en calcio, solo que el sodio en esta región se incrementa considerablemente, por lo que se clasifican como sódicas.

El calcio del agua de la zona de Calera se origina por las secuencias calcáreas que se presentan al suroeste de la zona de estudio, en las inmediaciones del poblado

Francisco I. Madero. El espesor de afloramiento es pequeño pero hay además rocas sedimentarias que se encuentran consolidadas en una matriz calcárea. Por otra parte, los cortes litológicos indican que tanto en la zona de Calera como en la de Chupaderos hay tobas calcáreas que influyen en la presencia de calcio.

El ion magnesio junto con el de calcio son los principales causantes de la dureza del agua. El magnesio proviene de las calizas dolomíticas y dolomías que conforman la Caliza Zuloaga, así como también de los afloramientos de piroxenitas que, de acuerdo con el análisis de una piroxenita promedio, contienen 21.71 % de óxido de magnesio (MgO) (Huang, 1981). Aunque el magnesio se disuelve más lentamente que el calcio, es más soluble que éste y tiende a permanecer en solución cuando el calcio se precipita. La actividad minera es otra fuente de aportación de magnesio (Custodio, 1983) que en este caso puede ser la causa de las concentraciones observadas en Chupaderos y Calera.

La presencia de sulfatos en la zona El Porvenir, al sureste de Chupaderos, puede asociarse a la presencia de fertilizantes en la zona agrícola que se encuentra en el área. No se encontró información acerca del tipo de fertilizantes utilizados en Chupaderos, pero sería importante disponer de ella para saber con precisión el posible aporte de sulfatos por el uso de fertilizantes. La concentración de los pozos 1155 y 1615 y los del norte de la zona, puede ser originada por la presencia de jales en esa zona, donde los sulfuros han sido oxidados a sulfatos. Ésto mismo puede provocar la concentración alta en el pozo Pimienta de la zona de Calera, pozo cercano a presas de jales.

El contenido mayor de cloruros observado en Chupaderos puede ser debido, además del contenido natural en las rocas, a los vertidos de aguas residuales que es posible estén aportando cantidades importantes de este ion, aunque las concentraciones evaluadas no indican un problema de cloruros ya que todos los valores detectados son menores que el reportado en la norma.

Relacionando los parámetros de sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, en la zona de Calera se observa un aumento en dirección nor-noreste de sus valores en forma local, principalmente a partir de Víctor Rosales, en la misma dirección que sigue el flujo subterráneo. En la zona de Chupaderos más bien parece un aumento radial a partir del centro, sin embargo en forma general si hay tendencia de los valores a aumentar hacia el norte.

El agua que se extrae de Chupaderos y Guadalupe Bañuelos ha recorrido una mayor distancia que la que se extrae de Calera, por lo que se considera que ha tenido una mayor evolución, ya que generalmente las aguas de circulación regional tienden a aumentar su mineralización hasta saturarse con los diferentes iones. Esto no sucede en Calera y en Benito Juárez debido a que en esta zona la recarga proviene de las sierras cercanas.

Es posible que los niveles de sodio en la zona de Chupaderos se deban a factores tales como concentración por evaporación y escurrimientos de aguas residuales. En dicha zona hay muchas norias cuyos niveles estáticos son someros, entre 4 y 10 metros, y por las características climáticas de la región la evaporación juega un papel importante en la concentración de sales, propiciando la precipitación de calcio y magnesio y concentrando el sodio en el agua. El aporte de sodio en la zona sur de Chupaderos se puede relacionar con los escurrimientos de las aguas residuales, ricas en sodio, de la ciudad de Zacatecas que drenan en dirección noreste y que coincide con el área de Chupaderos con niveles significativos de sodio.

En el caso particular del pozo 1222, localizado en la zona de Calera, el nivel de concentración de sodio en el agua es posible que sea como consecuencia de la cercanía a una mina de sal ubicada al sureste de Fresnillo, o bien a los escurrimientos de aguas residuales de la ciudad, pues en esta zona no hay otro indicio al cual se pudiera atribuir esos niveles de concentración de sodio.

Por otra parte, ya que se presume que el agua subterránea de Chupaderos está conectada hidrogeológicamente con zonas al sur como Guadalupe Bañuelos, que a su vez se comunica con otras zonas al sur, el agua al tener un mayor recorrido puede contener más minerales transportados por advección y dispersión, dentro de los cuales puede provenir el sodio; particularmente de la zona sur de Guadalupe Bañuelos donde se reportan suelos arcillosos que contienen acumulación de sodio principalmente.

Las sales de sodio en general son muy solubles y, por sus características iónicas, es difícil que precipiten. La principal fuente de aportación en el subsuelo es por los feldespatos y otros silicatos (Matthess, 1982). Las lutitas y arcillas frecuentemente contienen altas concentraciones de este elemento, el cual se adsorbe fácilmente sobre todo en suelos arcillosos (Lab. de salinidad de EUA, 1994). Es posible que el subsuelo de la zona de Chupaderos sea un intercambiador iónico natural, de cationes y aniones, y que al fluir el agua se incorpore a ella.

Dos de los pozos muestreados que sobrepasan el valor de la Norma NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996) para fluoruros se ubican en el flanco este de la porción sur de la sierra de Zacatecas, a aproximadamente 1.5 km al suroeste de Guadalupe, lugar donde se encuentra mejor expuesto el llamado sistema fluorita, uno de los tres sistemas de vetas que conforman las estructuras mineralizadas del distrito minero de Zacatecas. En este lugar se observan dos de los valores más altos en fluoruros (pozo 219 con 3.15 mg/l y pozo 57 con 2.09 mg/l). Lo anterior coincide con lo expuesto por Matthess (1982) referente a que las concentraciones altas de flúor ocurren en aguas termales volcánicas, lo que se comprueba por las temperaturas altas de estos pozos (pozo 219 con 35.4 ° C y pozo 57 con 29 ° C), lo cual sugiere un origen termal para estas aguas. Por otra parte, el agua de estos dos pozos es la única que muestra valores de arsénico por arriba del límite permisible para agua potable lo que coincide con el origen termal expuesto. Los valores de arsénico son de 0.062 mg/l para el pozo 57 y de 0.335 mg/l para el pozo 219, correspondiendo este último con el nivel fuera de norma reportado anteriormente para el pozo 16 de San Ramón.

Al analizar la relación de la temperatura con el contenido de iones se observó que a mayor temperatura hay concentraciones mayores de flúor y de arsénico, en Benito Juárez para el primero y en Guadalupe Bañuelos para ambos. Esto sugiere que puede haber un aporte localizado de aguas termales. Esta relación no se observa para los demás pozos muestreados. Con respecto a la profundidad no se encontró una relación y ésto puede deberse a la mezcla que ocurre como resultado de la ranuración del pozo a todo lo largo del mismo, que hace que el pozo contenga agua de todas las profundidades.

4.1.1 Sólidos disueltos totales vs conductividad eléctrica

La geología de las cuatro zonas hidrogeológicas es muy similar, en su gran mayoría las aguas se recargan en terreno volcánico. Sin embargo, en base a las curvas de sólidos disueltos totales contra conductividad eléctrica de Calera y Chupaderos, se observa que la primera tiene un menor contenido de SDT al igual que menor valor de CE, lo cual es consistente con el modelo conceptual propuesto para estos dos acuíferos (CNA, 1993). Además, en el caso de Chupaderos, el pozo 1310 que se sale del rango determinado en la curva SDT vs CE, posiblemente es debido a la presencia de presas de jales. En el caso del pozo 10, que se encuentran en tierras agrícolas, puede ser debido a fertilizantes.

La utilidad de estos resultados es que puede obtener en una forma económica información acerca de la calidad del agua, y localizar puntualmente las zonas con problemas de contaminación sin necesidad de hacer un muestreo costoso que involucre gran cantidad de parámetros, como es el caso del pozo 10, que presenta concentraciones altas en casi todos los parámetros medidos.

En la zona de Calera, el pozo 1222 es el que tiene el valor más alto de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales y esto puede ser debido a su cercanía a una mina

de sal. El pozo Pimienta también presenta valor alto en estos parámetros, muy probablemente debido a que fue construido en una zona de presas de jales. Con respecto a los pozos Azca 32-10 y 876 no es muy claro el por qué quedan fuera de la línea de regresión, pero puede ser problema de muestreo, ya que al tomar la muestra de agua inmediatamente se tomó su conductividad eléctrica con pérdidas por volatilización mínimas, lo que no sucede con los sólidos disueltos totales obtenidos en laboratorio, donde la muestra sufre volatilización dando un resultado menor.

4.1.2 Índice de saturación

La importancia de conocer la naturaleza de las aguas subterráneas en cuanto a su agresividad es que las aguas corrosivas pueden disolver los metales contenidos en los jales y ser transportados al acuífero, máxime cuando algunos de estos jales sirven ahora como tierras agrícolas y sus cultivos son regados con aguas subterráneas. Sin embargo, el problema es menor debido a que la mayor presencia de jales se tiene en las zonas de Chupaderos y Guadalupe Bañuelos, áreas donde las aguas son de naturaleza incrustante. Sin embargo, ésto puede ser la explicación de pozos como el Pimienta, localizado en la cuenca de Calera en una zona de jales, y es el único punto de la cuenca donde se pudo observar aguas sulfatadas. Esto es muy importante si tomamos en cuenta que este pozo se encuentra muy cercano a los pozos de abastecimiento del sistema Pimienta, donde uno de los pozos monitoreados por CNA reporta el valor más alto en sulfatos en relación con el resto de los pozos que conforman la red de monitoreo, en doble proporción. Otros problemas que se pueden presentar por tener aguas agresivas es la pérdida de la eficiencia hidráulica en los sistemas de abastecimiento y de la red de distribución reflejado en una disminución del volumen abastecido; en el caso de las tuberías de metal, cuando el ademe ha sido corroido, intrusión de arena y repercusión en el equipo de bombeo; por lo mismo, si hay una descarga de aguas negras cerca puede haber intrusión en el sistema; en el caso de las tuberías de metal, cuando han sido corroidas, fugas que se traducen en pérdida de presión (Marín y Prieto, 1994). Esto debe tomarse con mucho cuidado

especialmente en sitios como Calera, donde se piensa que el acuífero está sobreexplotado y parte de la extracción se podría estar perdiendo por fugas. Por otro lado, las pérdidas económicas son considerables ya que al tener que sustituir tubería picada, o desazolvar pozos y reponer equipo de bombeo es caro.

En el caso de Chupaderos el agua es incrustante y esto también provoca un problema, ya que conforme disminuye el diámetro de la tubería en cuestión, es necesario aplicar más presión para bombear la misma cantidad de agua con el consecuente gasto económico adicional.

4.1.3 Jales

Como puede observarse en la tabla de resultados de jales, la concentración de mercurio disminuyó en gran proporción con respecto a la reportada en otros estudios (Pan American Minerals Corp., 1994 y Minera Piñuelita); la de plomo en algunas regiones es muy alto lo que provoca que en algunos pozos se tengan altas concentraciones de este elemento como se reporta en algunos informes realizados por personal de CNA. En cuanto al arsénico, su concentración es alta, esto probablemente es debido a los minerales de arsénico que acompañaban a los minerales de mena y que al no ser beneficiados, eran destinados a las presas de jales. La presencia del arsénico en el agua subterránea puede ser debido a que los depósitos de jales han estado sujetos a lixiviación por grandes períodos, o por contaminación natural de las rocas por las que circuló el agua. La primera hipótesis es poco probable debido a que la dirección de flujo que predomina en la zona de estudio es hacia el norte, lugar donde están ubicados la mayoría de los depósitos de jales, lo que nos hace suponer que en realidad la presencia del arsénico es producto de lixiviación natural del terreno con concentraciones altas en arsénico.

4.2 HIDROGEOLOGÍA

4.2.1 Evolución piezométrica

La evolución de los niveles estáticos se muestran en las figuras 17, 18 y 19..

Para establecer la evolución de los niveles piezométricos se utilizaron datos de CNA, únicamente los datos de 1996 fueron obtenidos por nosotros. Como se observa en las figuras, es extraño el comportamiento de algunos pozos. Hay años donde no ocurrió prácticamente ningún abatimiento y en los últimos años se muestra una fuerte extracción, muy difícil de aceptar. Esto puede ser debido a que al quedar inactivo un pozo, el organismo operador abrió otro cerca colocándole la misma numeración y el dato de nivel estático no corresponde a un mismo pozo. A continuación se describe lo observado en las figuras.

En Calera es evidente la disminución de los niveles de los pozos en los últimos cinco años. El grupo de pozos que cuenta con datos de 1989 a 1996 corresponde a un área ubicada a aproximadamente 15 km al norte de Víctor Rosales; todos los pozos muestran abatimientos de más de 10 m en cinco años, excepto el pozo 114 que no presenta abatimiento entre 1989 y 1994; el pozo 324, a aproximadamente 5 km al sur del anterior, presenta un abatimiento de 25 m en los dos últimos años.

El pozo 76 a aproximadamente 15 km al oriente de Fresnillo muestra un abatimiento de más de 25 m en cinco años.

En Guadalupe Bañuelos el pozo 57 presenta una disminución de más de 65 m en 16 años. Los otros dos pozos del área presentan abatimientos menos considerables, aunque no se tienen datos de los últimos años para ellos.

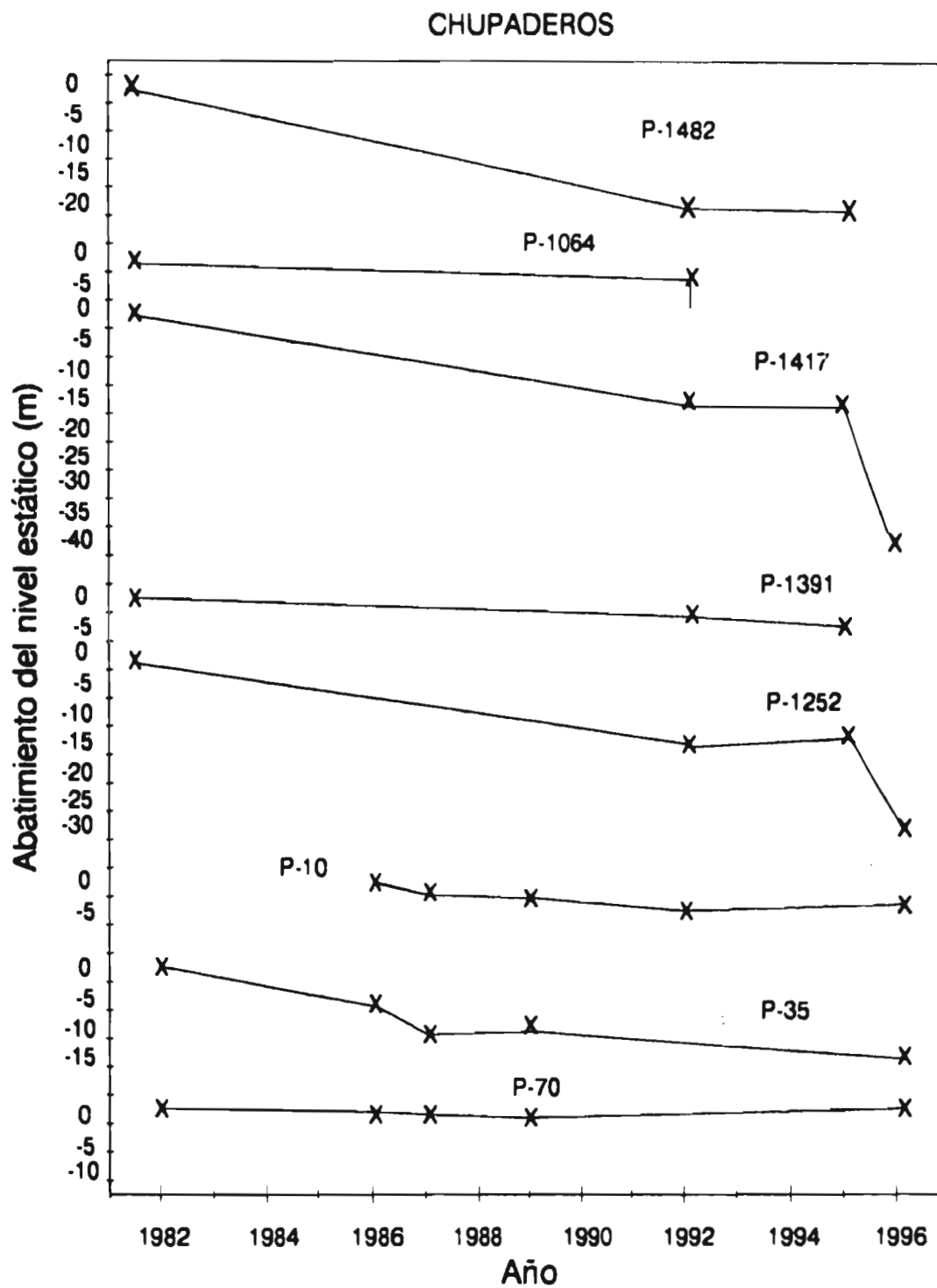


Fig 17 Evolución de niveles estáticos en Chupaderos

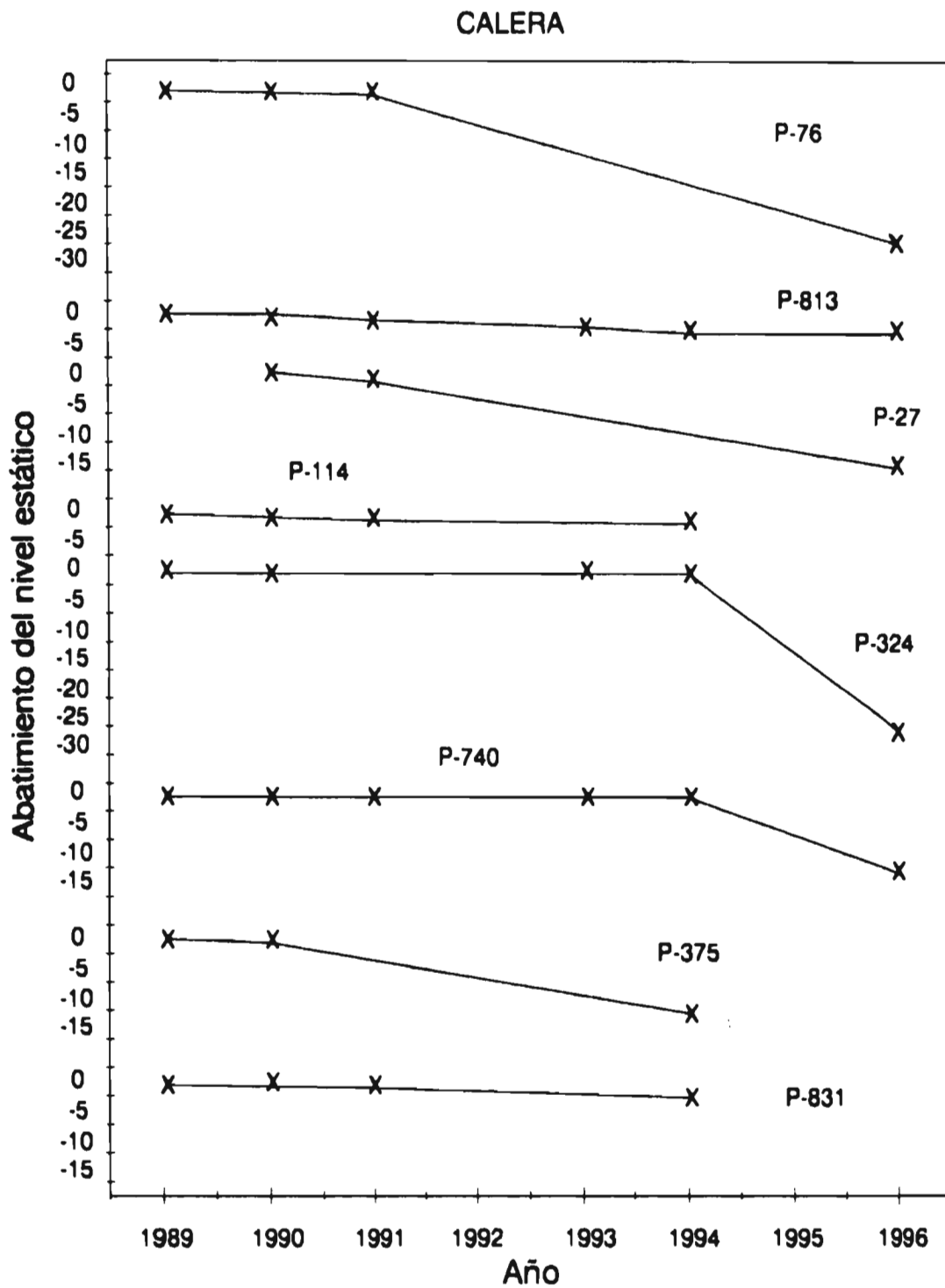


Fig 18 Evolución de niveles estáticos en Calera

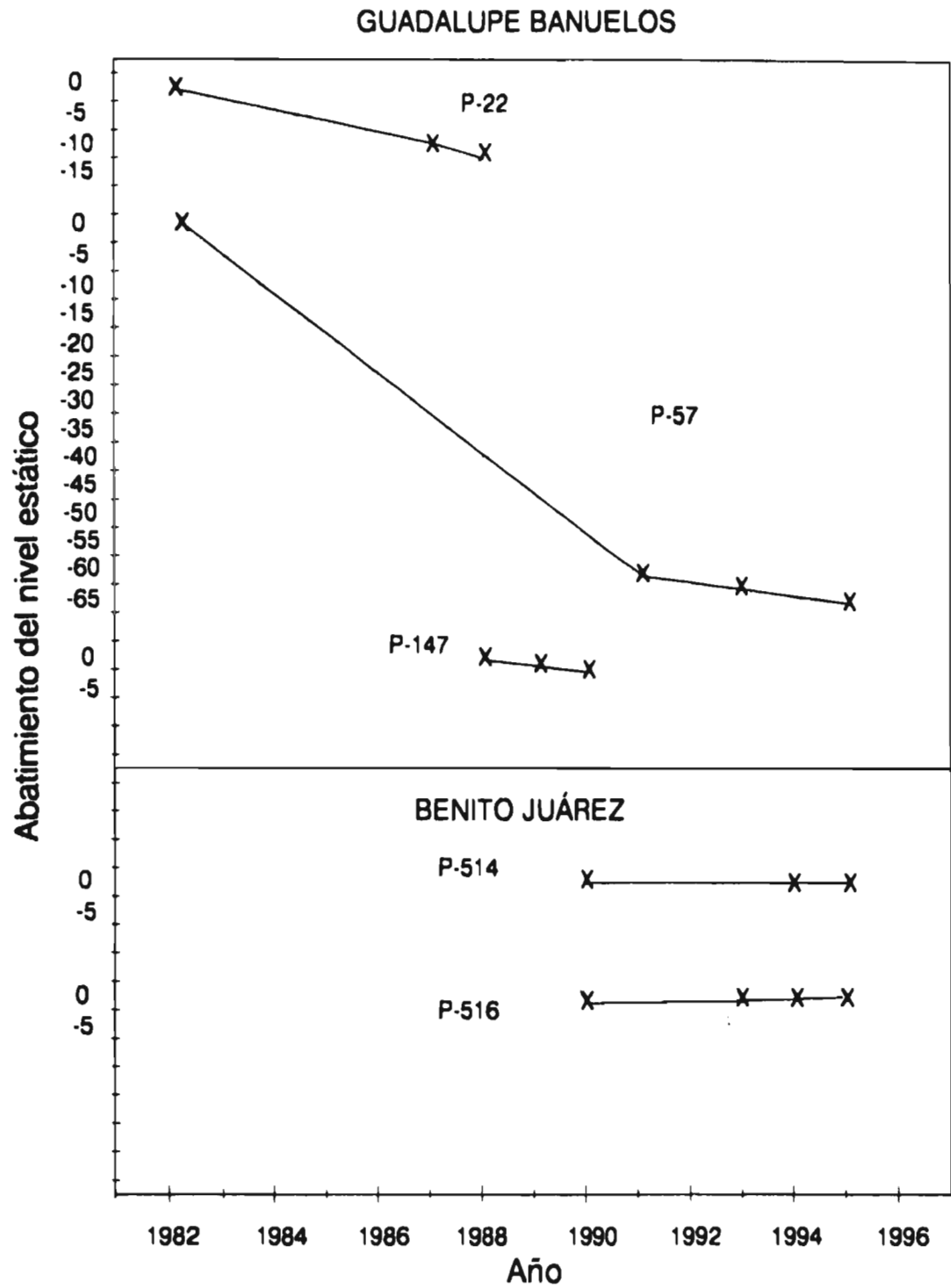


Fig 19 Evolución de niveles estáticos en Guadalupe Bañuelos y Benito Juárez

En Benito Juárez los pozos 514 y 516 no presentan abatimientos en sus niveles en los últimos años, aunque no tienen datos de 1996.

En Chupaderos los pozos 10 y 70, al sureste de la zona, no presentan abatimiento considerable e inclusive se observa una recuperación en 1996 para ambos. El pozo 36, ubicado cerca de los anteriores disminuyó 10 m de 1982 a 1987, y en los últimos cinco años disminuyó 5 m. Los pozos que presentan mayor abatimiento son el 1417, con más de 25 m en 15 años; en esta misma región al centro de Chupaderos, el pozo 1252 presenta 30 m de abatimiento en 14 años pero 15 m corresponden a los últimos cuatro años. Los pozos con menor abatimiento de esta región son el 1064 y el 1391 el noroeste y centro de la misma zona.

De acuerdo con los datos que se tienen, la región de Benito Juárez es la que no presenta abatimientos en los últimos años. Por el contrario, llama la atención el importante abatimiento que la mayoría de los pozos presenta sobre todo en el último año, en las otras tres regiones estudiadas. Lo anterior refleja una sobreexplotación del agua subterránea en ciertas zonas donde se requiere incrementar el registro de datos con mediciones anuales de los niveles de los pozos, gastos de extracción y análisis de la calidad del agua, a fin de obtener un registro de la evolución de los niveles estáticos con más precisión.

CAPITULO

CINCO: *CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES*

5.1 CONCLUSIONES

La calidad del agua de la zona de estudio con respecto a los parámetros analizados es buena, ya que la mayoría de éstos cumplen con las especificaciones para agua potable, de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996), con excepción de los siguientes:

Los fluoruros están limitados tanto para agua potable (1.5 mg/l) como para riego (1 mg/l). Este es también un parámetro que se excede en un alto porcentaje en todas las regiones estudiadas siendo en Guadalupe Bañuelos donde se presentan las concentraciones más altas. En este sitio se encuentra mejor expuesto el sistema fluorita y a esto se debe la principal aportación de fluoruros.

Los fosfatos no están restringidos para agua de riego agrícola y tampoco se contemplan en la norma de agua potable pero de acuerdo al límite establecido en el anteproyecto de la citada norma, la mayoría de los pozos muestreados exceden el límite permisible. Lo anterior puede deberse también a la influencia del uso de fertilizantes.

El arsénico sólo excede la norma en dos pozos (57 y 219), ambos en la zona de Guadalupe Bañuelos donde también se exceden los fluoruros y la temperatura es mayor. Lo anterior indica un origen termal en esta zona por lo que puede concluirse que el arsénico encontrado no se debe a contaminación por actividades antropogénicas sino a un origen termal.

La profundidad de los pozos no guarda ninguna relación con las concentraciones de los iones ni con la temperatura, lo que probablemente es

debido a que la muestra de agua fue tomada de toda la zona ranurada del pozo.

Los diagramas de Stiff modificado así como los de Piper coinciden en sus resultados e indican que en general las aguas de las cuatro zonas estudiadas son bicarbonatadas. En Chupaderos las aguas son sódicas y magnésicas y según la clasificación de Piper son mixtas-sódico-bicarbonatadas. En el área agrícola de esta zona también se encuentran algunos pozos con aguas sulfatadas.

En Calera se clasifican como bicarbonatadas y mixta-cálcica-bicarbonatada según Piper.

Las aguas de Benito Juárez y Guadalupe Bañuelos son cálcicas bicarbonatadas.

Se construyeron curvas de sólidos disueltos totales (SDT) contra conductividad eléctrica (CE) para las zonas de Chupaderos y Calera, no así para Benito Juárez y Chupaderos por falta de datos. Estas gráficas nos permitieron ubicar los pozos con algún problema y éste fue corroborado por los resultados de los análisis teniéndose problemas para explicar los pozos Azca 32-10 y 876.

Los índices de saturación reflejan un agua corrosiva para Calera y Benito Juárez e incrustante para Chupaderos y Guadalupe Bañuelos.

La presencia de distintas familias de agua, mixta-cálcica-bicarbonatada en Calera y mixta-sódica-bicarbonatada en Chupaderos, así como la agresividad diferente en estas zonas, sugiere la existencia de dos acuíferos.

Es considerable el abatimiento de los niveles estáticos de los pozos en los últimos dos años para Calera, Chupaderos y Guadalupe Bañuelos que refleja una sobreexplotación del agua subterránea en ciertas zonas. Los resultados de la evolución también sugiere que los registros históricos que se realizan de

los niveles estáticos están mal hechos o en realidad no son realizados, ya que hay abatimientos muy contrastantes en una misma zona.

Tres de los pozos que fueron muestreados en este proyecto y que no se contemplaron en la interpretación de este estudio por no cumplir sus análisis químicos con los límites de tolerancia de error, se encuentran ubicados en la zona norte alrededor de Fresnillo. Esta región necesita mayor trabajo de muestreo ya que los resultados muestran concentraciones altas en varios parámetros.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con este tipo de estudios utilizando algún programa que simule la mezcla de las aguas de Calera (corrosiva) y Chupaderos (incrustante) para obtener aguas en equilibrio. La mezcla de agua debe realizarse antes de ser enviada a la red de distribución de agua potable.

No regar tierras agrícolas en zona de jales con las aguas subterráneas de Calera sin haberlas tratado, ya que puede haber un transporte de contaminantes como metales pesados al acuífero.

Dado que es muy poco el número de pozos de los que se tiene información completa de niveles de brocal, niveles estáticos y muestreo, es muy conveniente llevar a cabo la instalación de piezómetros en las principales áreas, sobre todo donde la información es confusa como en Benito Juárez, así como donde no existen pozos instalados como al norte de la sierra de Zacatecas.

Se requiere incrementar los datos de niveles estáticos de los pozos y gastos de extracción, a fin de obtener un registro confiable de la evolución de niveles con respecto al tiempo.

La región de El Porvenir debe ser evaluada con mayor detalle ya que es el

punto donde se presentan mayores concentraciones de los parámetros analizados y si bien no en todos se superan los límites para agua potable sí presenta niveles mayores que los pozos vecinos.

CAPITULO

SEIS: *BIBLIOGRAFÍA*

- APHA-AWWA-WPCF (1989) *Métodos Estándar para el análisis de aguas potables y residuales*. 17 edición. Ediciones Díaz de Santos.
- Appelo, C.A.J. y Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Ediciones Balkema. págs. 536
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1993. *Justificación técnica-administrativa del reglamento para la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la zona de Calera, Zac.* Informe técnico llevado a cabo por la Gerencia Estatal Zacatecas, Subgerencia de Administración del Agua, Departamento de Aguas Subterráneas.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1995. *Estudio para evaluar la contaminación de los acuíferos donde están ubicadas las fuentes de abastecimiento de las ciudades de Zacatecas, Guadalupe y poblaciones circunvecinas*. Departamento de Aguas Subterráneas. Departamento de Saneamiento y Calidad del Agua.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1996. Censo de aprovechamientos de la Subgerencia Técnica de la ciudad de Zacatecas, Zac.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1991. *Monografía geológico-minera del Estado de Zacatecas*. Gobierno del Estado. SEMIP. págs. 154
- Custodio, E. y M.R. Llamas (1983). *Hidrología Subterránea*. Segunda Edición. Omega.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (18 de enero de 1996). *"Salud ambiental, agua para uso y*

consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

- Freeze, R.A. y J.A. Cherry (1979). *Groundwater*. Prentice Hall Inc. USA.
- Foster, S. y D. Caminero (1989). *Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterráneas: una evaluación de métodos y costos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), UK Overseas Development Administration y Organización Mundial de la Salud.
- Huang, W.T. (1981). *Petrología*. UTEHA. págs. 546.
- INE (Instituto Nacional de Ecología), 1993. *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección ambiental 1991-1992*. México. Secretaría de Desarrollo Social
- Iturbe, R., A. Castro y J. Martínez (1996). *Estudio hidrogeológico e hidrogeoquímico en la Zona de Zacatecas, Zac.* Estudio realizado para la Gerencia de Aguas Subterráneas, (CNA).
- Laboratorios de Salinidad de los EUA (1994). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. UTEHA. Noriega Editores.
- Marín, L.E. y E. Prieto (1994). *Aplicación de la modelación geoquímica a la ingeniería hidráulica*. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. IX, Núm. 1, págs, 63-69.
- Marín, L.E., O. Escolero, B. Steinich, R.M. Leal, B. Silva y S. Gutiérrez (1997). *Inorganic water quality monitoring using Specific Conductance in Mexico*, en arbitraje, GW Monitoring review and remediation.
- Matthes, G. (1982). *The Properties of Groundwater*. John Wiley & Sons, Inc.

- Mercamétrica de 80 ciudades mexicanas (1995). Vol. 2. Morelos-Zacatecas. Mercamétrica ediciones, décima novena edición. págs. 539-544.
- Minera Piñuelitas (1992). Informe Técnico
- Monod, O. y P. Calvet. (1992). *Structural and Stratigraphic Reinterpretation of the Triassic units near Zacatecas (Zac.), Central Mexico. Evidence of a Laramide Nappes Pile.* Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H. 6, págs. 1533-1544.
- Pan American Minerals Corp. (1994). *Laguna Zacatecana Tailings Project.* Project No. 8648-16. Kilborn Engineering Pacific LTD.
- Ponce, B.F. y K.F. Clark (1988). *The Zacatecas Mining District: A Tertiary Caldera Complex Associated with Precious and Base Metal Mineralization.* Economic Geology. Vol. 85, p-ags. 1668-1682.
- Pulido, J.L. (1978). *Hidrogeología práctica.* Ediciones URMO. págs. 261-265.
- Ramos, J. (1991). *Tratamiento de un efluente terciario para su potabilización.* Tesis de licenciatura, ing. químico. Facultad de Química. UNAM. págs. 60.
- Sawyer, C.N., P.L. McCarty G.F. Parkin (1994). *Chemistry for Environmental Engineering.* Editorial McGraw-Hill. págs. 658.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), 1973. *Estudio geohidrológico preliminar de la zona Chupaderos-Villa de Cos, Zac.* Informe final. Dirección de geohidrología y de zonas áridas.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), 1981. *Actividades de Carácter geohidrológico en las zonas de Chupaderos, Villa*

Hidalgo y La Blanca, Zac. Informe técnico realizado para Comisión Nacional del Agua.

- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos), 1982. *Estudio geohidrológico de la zona de Guadalupe Bañuelos, Zacatecas* Dirección general de aprovechamientos hidráulicos. Subdirección de geohidrología. Informe final.
- SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología), 1986. *Estudio geohidrológico para la ciudad de Zacatecas, Zac.* Informe técnico.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto), 1981. *Síntesis Geográfica de Zacatecas.*
- TEGMIN (Técnicas Geológicas y Mineras), 1988. *Actualización geohidrológica en la zona de Benito Juárez para el suministro de agua a la ciudad de Zacatecas, Zac.* Informe final para la Subsecretaría de Infraestructura hidráulica.
- Truesdell, A.H. y B.F. Jones (1974). *WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters.* Journal of Research, United States Geological Survey, vol. 2, págs. 233-248.

A N E X O

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

Tabla A. Resultados de algunos de los pozos que conforman el sistema de abastecimiento de la ciudad de Zacatecas y zonas conurbadas (tomado de CNA, Suberencia Técnica, ciudad de Zacatecas)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
BAÑUELOS 1	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0093	<0.0010		
	27-jul-94	<0.15	<0.01	0.022	0.015	<0.05	<0.05	<0.01	0.0098	<0.0010	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.0166	<0.0010		
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.013	<0.0010		<0.0005
	22-nov-94	0.017	<0.01	<0.01			<0.05		0.01			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0192		<0.05	<0.0005
	5-jun-95	<0.015	<0.01	0.012	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.003		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	0.018	<0.01	0.04	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1384		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.039	0.014	<0.05	<0.05	<0.01	0.0094		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	1.476	0.011	<0.05	<0.05	<0.01	0.0018		<0.05	<0.0005
BAÑUELOS 1B	27-jul-94	0.02	<0.01	0.043	0.017	<0.05	<0.05	<0.01	0.011	<0.0010	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.011	<0.0010		
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.0001	<0.01	0.018	0.012		<0.0005
	20-ene-95	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0068		<0.05	0.0005
	5-jun-95	<0.015	0.048	0.048	<0.015	<0.05	<0.05	<0.01	0.0014		<0.05	<0.0005
	14-ago	<0.015	0.064	0.064	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0064		<0.05	<0.0005
BAÑUELOS 2	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.034	<0.05	<0.05	<0.01	0.0063	<0.001		
	27-jul-94	0.201	<0.01	0.046	0.098	<0.05	0.11	<0.01	0.0076	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.016	<0.01	<0.01	0.015	<0.05	0.07	<0.01	0.0108	<0.001		
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.011	<0.01		<0.0005
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0034			<0.0005
	5-jun-95	<0.015	<0.01	0.257	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0014		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.22	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0092		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.071	0.014	<0.05	<0.05	<0.01	0.006		<0.05	<0.0005
29-nov-95	<0.015	<0.01	0.086	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0028		<0.05	<0.0005	
BAÑUELOS 4	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.007	<0.001		
	27-jul-94	0.02	<0.01	0.646	0.019	<0.05	0.28	<0.01	0.0072	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.017	<0.01	0.27	0.028	<0.05	0.05	<0.01	0.0086	<0.001		

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
BAÑUELOS 4(cont)	31-ago-94	<0.01	<0.001	0.078	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.013	0.01		<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.02	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0046		<0.05	<0.0005
	5-jun-95	<0.015	<0.01	0.014	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0012		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.057	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0082		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.054	0.014	<0.05	<0.05	<0.01	0.0062		<0.05	<0.0005
BAÑUELOS 5	15-mar-94	<0.015	<0.001	0.033	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0076	<0.001		
	20-ene-95	0.024	<0.01	0.088	0.026	<0.05	<0.05	<0.01	0.0106		<0.05	<0.0005
	5-jun-95	0.037	<0.01	3.222	0.42	<0.05	<0.05	<0.01	0.0074		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	0.018	<0.01	0.109	0.015	<0.05	<0.05	<0.01	0.0114		<0.05	<0.0005
BAÑUELOS 7	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0147	0.0011		
	27-jul-94	0.04	<0.01	0.019	0.035	<0.05	0.12	<0.01	0.039	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.016	<0.05	0.05	<0.01	0.045	<0.001		
	31-ago-94	<0.01	0.003	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.075	<0.01		<0.0005
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.034			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.053	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0418		<0.05	<0.0005
	5-jun-95	0.018	<0.01	0.027	0.431	<0.05	<0.05	<0.01	0.033		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	0.021	<0.01	0.029	0.011	<0.05	<0.05	<0.01	0.0376		<0.05	0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.191	0.011	<0.05	<0.05	<0.01	0.0316		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.028	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0216		<0.05	<0.0005
21-feb-96	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0772		<0.05	<0.0005	
BAÑUELOS P. PRIMARIO	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0257	<0.001		
	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.021	0.016	<0.05	0.15	<0.01	0.0072	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.013	<0.05	<0.05	<0.01	0.0072	<0.001		
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.01	<0.01		<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.012	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
	5-jun-95	<0.015	<0.01	0.022	<0.015	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	0.026	<0.01	1.261	0.018	<0.05	0.06	<0.01	0.0138		<0.05	0.0014
REB. BAÑUELOS	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.023	0.023	<0.05	0.1	<0.01	0.0166	<0.001	<0.05	
	28-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.016	<0.05	0.06	<0.01	0.02	<0.001		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0116			<0.0005
	20-ene-95	<0.0003	<0.005				<0.025		0.0213			<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
REB BAÑUELOS (cont.)	5-jun-95	<0.015	<0.01	0.053	0.011	<0.05	<0.05	<0.01	0.0144		<0.05	0.0006
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.06	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0168		<0.05	<0.0005
	14-AGO-95	<0.015	<0.01	0.042	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0104		<0.05	<0.0005
	24-nov-95	0.016	<0.01	0.583	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0292		<0.05	<0.0005
	21-feb-96	<0.015	<0.01	0.083	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0238		<0.05	<0.0005

DESCRIPCION	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
SAN RAMÓN 8	15-mar-94	0.028	<0.01	0.172	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0098	<0.001		
	27-jul-94	0.076	<0.01	0.256	0.037	<0.05	0.21	<0.01	0.011	<0.001	<0.05	
	18-may-95	0.035	<0.01	0.057	0.025	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.045	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0084		<0.05	<0.0005
	15-ago-95	<0.015	<0.01	0.081	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0092		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.13	<0.01	<0.05	<0.05	<0.015	0.0082		<0.05	<0.0005
SAN RAMÓN 10	15-mar-94	0.015	<0.01	0.091	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0087	<0.001		
	27-jul-94	1.938	<0.01	10.152	0.18	<0.05	0.29	<0.01	0.0042	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	<0.001	0.175	<0.01	0.01	<0.001	<0.01	0.019	<0.01		<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.017	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0082		<0.05	<0.0005
	18-may-95	0.037	<0.01	0.065	0.017	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.103	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0092		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	0.027	<0.01	0.044	0.014	<0.05	<0.05	<0.01	0.01114		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.079	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0062		<0.05	<0.0005
SAN RAMÓN 13	27-jul-94	0.037	<0.01	0.216	0.075	<0.05	0.07	<0.01	0.0988	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.094	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.2846	<0.001		
	2-sep-94	<0.01	0.02	0.032	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.466	<0.001		<0.0005
	22-nov-94	0.021	<0.01	0.509			<0.05	<0.01	0.2864			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.012	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.3734		<0.05	<0.0005
	18-may-95	0.034	<0.01	0.042	0.02	<0.05	<0.05	<0.01	0.1812		<0.05	0.0014
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.119	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.2788		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.065	0.015	<0.05	<0.05	<0.01	0.2388		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.228	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1866		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCION	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
SAN RAMÓN 14	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.4925	<0.001		
	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.022	0.042	<0.05	<0.05	<0.01	0.3506	<0.001		
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.0094	<0.01	<0.05	0.07	<0.01	0.2608	0.0012		
	2-sep-94	<0.01	0.015	<0.01	<0.01	<0.01	0.004	<0.01	0.338	0.01		<0.0005
	22-nov-94	0.083	<0.01	<0.01			0.05		0.1384			
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.02	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.221		<0.05	<0.0005
	18-may-95	0.038	<0.01	0.021	0.016	<0.05	<0.05	<0.01	0.1198		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.046	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.16		<0.05	<0.0005
21-feb-96	<0.015	<0.01	0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.422		<0.05	<0.0005	
SAN RAMÓN 16	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.356	<0.001		
	27-jul-94	0.025	<0.01	0.494	0.013	<0.05	<0.05	<0.01	0.352	<0.001		
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.107	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0226	<0.001	<0.05	
	2-sep-94	<0.01	0.013	<0.01	<0.01	<0.05	<0.001	<0.01	0.312	0.01		<0.0005
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.1546			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1992		<0.05	<0.0005
	18-may-95	0.033	<0.01	0.04	0.019	<0.05	<0.05	<0.01	0.1124		<0.05	<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.038	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1532		<0.05	<0.0005
	15-ago-95	<0.015	<0.01	0.052	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1696		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.028	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.1194		<0.05	<0.0005
21-feb-96	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.4545		<0.05	<0.0005	
POZO LA FE	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.033	<0.05	0.07	<0.01	0.3115	<0.001		
	27-jul-94	0.017	0.012	0.297	0.086	<0.05	0.1	<0.01	0.1846	<0.0001		
	17-ago-94	<0.015	<0.01	0.068	0.029	<0.05	<0.05	<0.01	0.1898	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.028	0.023	<0.05	0.08	<0.01	0.1752	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	0.05	<0.01	<0.001	<0.01	0.199	0.014		<0.0005
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.1086			
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.019	0.037	<0.05	<0.05	<0.01	0.1792		<0.05	<0.0005
	11-jul-95	<0.015	<0.01	0.049	0.074	<0.05		<0.01	0.113		<0.05	<0.0005
21-feb-96	<0.015	<0.01	0.376	0.071	<0.05	<0.05	<0.01	0.3436		<0.05	<0.0005	

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
POZO OSIRIS	15-mar-94	<0.015	<0.01	0.085	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.1505	0.0011		
	27-jul-94	0.04	<0.01	0.211	0.038	<0.05	0.17	<0.01	0.015	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.035	<0.05	0.06	<0.01	0.1352	<0.001		
	31-ago-94	<0.01	0.006	0.017	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.144	<0.01		0.0028
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01				<0.05	0.0658			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.04	<0.01			<0.05	<0.01	0.0962		<0.05
REBOMBEO LA FE	27-jul-94	0.016	<0.010	0.04	0.668	<0.05	0.17	<0.01	0.0762	<0.001		
	26-ago-94	<0.015	<0.010	<0.01	0.018	<0.05	0.07	<0.01	0.096	<0.001	<0.05	
	23-nov-94	<0.015	<0.010	<0.01			<0.05		0.06			0.0029
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.044	0.155	<0.05	<0.05	<0.01	0.064		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.066	0.015	<0.05	<0.05	<0.01	0.0772		<0.05	<0.0005
	24-nov-95	<0.015	<0.01	0.077	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0594		<0.05	<0.0005
	21-feb-95	<0.015	<0.01	0.014	0.096	<0.05	<0.05	<0.01	0.177		<0.05	<0.0005
REBOMBEO SAN RAMÓN	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.061	0.038	<0.05	0.09	<0.01	0.0184	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.03		<0.05	<0.05	<0.01	0.02	<0.001		
	20-ene-95	<0.015	<0.01	0.01	<0.01	<0.05	<0.05	0.011	0.1082		<0.05	0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.077	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0458		<0.05	<0.0005
	14-ago-95	<0.015	<0.01	0.052	0.018	<0.05	<0.05	<0.01	0.0414		<0.05	<0.0005
	29-nov-95	<0.015	<0.01	0.25	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0254		<0.05	<0.0005
	21-feb-96	<0.015	<0.01	0.059	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.065		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
BENITO JUAREZ 1	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.019	<0.05	0.06	<0.01	0.0101	<0.001		
	26-jul-94	0.022	<0.01	0.015	0.328	<0.05	0.25	<0.01	0.0182	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.043	<0.01	0.036	0.018	<0.05	<0.05	<0.01	0.0146	0.0014		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0114			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0123			0.0004
BENITO JUAREZ 2	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0135	<0.001		
	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.03	0.017	<0.05	0.27	<0.01	0.0138	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.07	<0.01	0.0102	0.001		
	1-sep-94	<0.01	0.001	<0.01	<0.01	<0.05	<0.001	<0.01	0.03	0.013		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0144			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0152			0.00025
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.014	<0.01	<0.05		<0.01	0.001		<0.05	<0.0005	
BENITO JUAREZ 4	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.0092	<0.01		
	26-jul-94	0.027	<0.01	0.052	0.044	<0.05	0.12	<0.01	0.0132	<0.01	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.07	<0.01	0.013	0.0016		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0084			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0179			0.00025
BENITO JUAREZ 5	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0128			0.0002
BENITO JUAREZ 6	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.019	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.033	<0.001		
	26-jul-94	0.272	<0.01	0.037	0.036	<0.05	0.15	<0.01	0.0142	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.013	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.05	0.004	<0.01	0.024	0.01		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0034			<0.0005
	8-feb-95	0.0004	<0.004				<0.025		0.0128			
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.022	<0.01	<0.05		<0.01	0.01		<0.05	<0.0005	
BENITO JUAREZ 8	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0189			0.00086
REBOMBEO	26-jul-94	0.038	<0.01	0.039	0.019	<0.05	0.08	<0.01	0.0094	<0.001	<0.05	
BENITO JUAREZ	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0134	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.05	<0.001	<0.01	0.018	0.015		
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.046	0.022	<0.05		<0.01	0.0108		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
BENITO JUAREZ 1	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.019	<0.05	0.06	<0.01	0.0101	<0.001		
	26-jul-94	0.022	<0.01	0.015	0.328	<0.05	0.25	<0.01	0.0182	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.043	<0.01	0.036	0.018	<0.05	<0.05	<0.01	0.0146	0.0014		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0114			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0123			0.0004
BENITO JUAREZ 2	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0135	<0.001		
	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.03	0.017	<0.05	0.27	<0.01	0.0138	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.07	<0.01	0.0102	0.001		
	1-sep-94	<0.01	0.001	<0.01	<0.01	<0.05	<0.001	<0.01	0.03	0.013		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0144			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0152			0.00025
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.014	<0.01	<0.05		<0.01	0.001		<0.05	<0.0005	
BENITO JUAREZ 4	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.0092	<0.01		
	26-jul-94	0.027	<0.01	0.052	0.044	<0.05	0.12	<0.01	0.0132	<0.01	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.07	<0.01	0.013	0.0016		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0084			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0179			0.00025
BENITO JUAREZ 5	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0128			0.0002
BENITO JUAREZ 6	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.019	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.033	<0.001		
	26-jul-94	0.272	<0.01	0.037	0.036	<0.05	0.15	<0.01	0.0142	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.013	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.05	0.004	<0.01	0.024	0.01		
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0034			<0.0005
	8-feb-95	0.0004	<0.004				<0.025		0.0128			
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.022	<0.01	<0.05		<0.01	0.01		<0.05	<0.0005	
BENITO JUAREZ 8	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0189			0.00086
REBOMBEO BENITO JUAREZ	26-jul-94	0.038	<0.01	0.039	0.019	<0.05	0.08	<0.01	0.0094	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0134	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.05	<0.001	<0.01	0.018	0.015		
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.046	0.022	<0.05		<0.01	0.0108		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
TANQUE ESTACIÓN	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.018	0.013	<0.05	<0.05	<0.01	0.0012	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.113			
	23-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0744			<0.0005
	8-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0582			
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.029	<0.01	<0.05		<0.01	0.1136		<0.05	<0.0005
PIMIENTA 2	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.011	0.01	<0.05	0.05	<0.01	<0.001			
	26-jul-94	0.012	<0.01	0.085	0.024	<0.05	0.1	<0.01	<0.001	<0.05		
	26-ago-94	0.014	<0.01	0.024	0.15	<0.05	0.05	<0.01	<0.001			
	31-ago-94	<0.01	<0.01	0.02	0.05	<0.01	<0.001	<0.01	0.01			
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.02	0.014	<0.05		<0.01	0.0036		<0.05	<0.0005

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
LA JOYA 1	14-mar-94	0.516	<0.01	0.055	0.038	<0.05	0.07	<0.01	0.0025	<0.001		
	26-jul-94	0.012	<0.01	0.085	0.024	<0.05	0.12	<0.01	0.0038	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0028	0.002		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01		<0.0005
	23-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01		<0.05	<0.05		<0.001			
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.027	0.011	<0.05		<0.01	0.0064		<0.05	<0.0005	
LA JOYA 2	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.072	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0042	<0.001		
	26-jul-94	0.038	<0.01	0.141	0.029	<0.05	0.1	<0.01	0.0046	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.017	<0.05	0.06	<0.01	0.004	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	0.005	<0.01	<0.01	<0.01		<0.0005
	23-nov-94	0.015	<0.01	<0.01		<0.05	<0.05		0.002			
5-jul-95	<0.015	<0.01	0.027	0.011	<0.05			0.0132		<0.05	<0.0005	
LA JOYA 3	14-mar-94	<0.015	<0.01		<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0025	<0.001		
	26-jul-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.017	<0.05	0.07	<0.01	0.0052	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.058	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0034	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	0.013		<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.03	<0.01	<0.05		<0.01	0.004		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCION	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
LA JOYA 4	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0038	<0.001		
	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.138	0.012	<0.05	0.09	<0.01	0.007	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.034	<0.05	<0.05	<0.01	0.0032	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01		<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.026	<0.01	<0.05		<0.01	0.0024		<0.05	<0.0005
LA JOYA 5	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.211	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0091	<0.001		
	26-jul-94	0.018	<0.01	0.824	0.02	<0.05	0.11	<.01	0.0128	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.152	0.011	<0.05	0.05	<0.01	0.0118	0.0012		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	0.219	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.021	0.013		<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	1.142	<0.01	<0.05		<0.01	0.0108		<0.05	<0.0005
LA JOYA 5R	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.037	0.032	<0.05	0.07	<0.01	0.0082	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.017	0.012	<0.05	<0.05	<0.01	0.0048	0.0024		
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.029	<0.01	<0.05		<0.01	0.0026		<0.05	<0.0005
LA JOYA 6	14-mar-94	0.101	<0.01	0.019	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0033	<0.001		
	26-jul-94	0.05	<0.01	0.099	0.02	<0.05	0.08	<0.01	0.0044	<0.001	<0.05	
	1-sep-94	0.013	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01		<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.026	<0.01	<0.05		<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
LA JOYA 6R	14-mar-94	<0.015	<0.01	0.115	0.012	<0.05	0.06	<0.01	0.0023	<0.001		
	26-jul-94	0.018	<0.01	0.032	0.27	<0.05	0.07	<0.01	0.0048	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.065	<0.05	0.06	<0.01	0.0042	0.0012		
	23-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		<0.001			<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.033	<0.01	<0.05		<0.01	0.001		<0.05	<0.0005
LA JOYA 7	26-jul-94	0.035	<0.01	0.09	0.372	<0.05	0.1	<0.01	0.009	<0.001	<0.05	
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.023	0.01	<0.05		<0.01	0.0018		<0.05	<0.0005
LA JOYA 8	14-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0069	<0.001		
	26-jul-94	0.019	<0.01	0.07	0.018	<0.05	0.07	<0.01	0.0096	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.097	<0.01	<0.01	0.012	<0.05	<0.05	<0.01	0.0066	0.0014		
	1-sep-94	0.013	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	0.005	<0.01	0.012	<0.01		<0.0005
	5-jul-95	0.169	<0.01	0.034	0.041	<0.05		<0.01	0.0054		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
REBOMBEO 1 LA JOYA	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.062	0.026	<0.05	0.07	<0.01	0.0056	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.0076	0.0028		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.011	<0.01		<0.0005
	23-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		<0.001			<0.0005
	5-jun-95	<0.015	<0.01	<0.01	0.023	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001		<0.05	<0.0005
	5-jul-95	<0.015	<0.01	0.03	0.013	<0.05		<0.01	0.0048		<0.05	<0.0005
REBOMBEO 2 LA JOYA	26-jul-94	0.031	<0.01	<0.01	0.038	<0.05	0.08	<0.01	<0.001	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	<0.001	<0.001		
	1-sep-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.011	<0.01		<0.0005
	23-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.011	<0.001		<0.0005
	9-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0099			<0.0005
	3-jul-95	<0.015	<0.01	0.033	<0.01	<0.05		<0.01	0.0038		<0.05	<0.0005
POZO MORELOS	14-mar-94	0.168	<0.01	10.008	0.396	<0.05	0.18	<0.01	0.0031	<0.001		
	26-jul-94	<0.015	<0.01	0.575	0.039	<0.05	0.09	<0.01	0.0012	<0.001	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	0.302	0.18	<0.05	0.06	<0.01	0.0032	0.0028		
	1-sep-94	0.01	<0.001	0.103	0.012	<0.01	0.004	<0.01	<0.01	<0.01		<0.0005
	23-nov-94	<0.01	<0.01				<0.01		<0.05			<0.0005

DESCRIPCION	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
EL BORDO	4-jul-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.037	<0.05	<0.05	<0.01	0.014	0.0034		
	19-jul-94	0.013	<0.01	0.03	0.026	<0.05	0.15	<0.01	0.0154	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	<0.015	<0.01	0.031	0.076	<0.05	<0.05	<0.01	0.0118	0.0016	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	<0.001	0.032	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.025	0.018		<0.0005
	22-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0074			
	9-feb-95	0.005	<0.004				0.027		0.0135			0.00026
	10-jul-95	<0.015	<0.01	0.021	<0.05	<0.05		<0.01	0.0106		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
EL LAMPOTAL	19-jul-94	0.019	<0.01	<0.01	0.031	<0.05	0.26	<0.01	0.0148	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	0.029	<0.01	0.52	0.012	<0.05	<0.05	<0.01	0.0032	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	0.001	0.01	0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.01	0.019		0.0005
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0014			0.0007
	9-feb-95	0.007	<0.004				0.034		0.011			0.00025
	10-jul-95	<0.015	<0.01	0.049	0.031	<0.05		<0.01	0.0082		<0.05	<0.0005
SAN JOSE DE LA ERA	4-jul-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.039	<0.05	<0.05	<0.01	0.0132	<0.001		
	19-jul-94	0.019	<0.01	0.015	0.079	<0.05	0.08	<0.01	0.0134	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	0.018	<0.05	<0.05	<0.01	0.0118	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	0.001	<0.01	0.011	<0.01	<0.001	<0.01	0.021	0.012		<0.0005
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			<0.05		0.0068			<0.0005
	9-feb-95	0.003	<0.004				0.04		0.0121			0.00025
10-JU-95	<0.015	<0.01	0.031	0.019	<0.05	<0.025	<0.01	0.0128		<0.05	<0.0005	
TACOALECHE	4-jul-94	<0.015	<0.01	0.024	0.019	<0.05	<0.05	<0.01	0.02	<0.001		
	19-jul-94	0.022	<0.01	<0.01	0.039	<0.05	0.18	<0.01	0.0156	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	<0.015	<0.01	0.018	0.038	<0.05	<0.05	<0.01	0.0154	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	0.0013	0.019	0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.039	0.01		<0.0005
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01		<0.05	<0.05		0.0174			<0.0005
	9-feb-95	0.01	<0.004				0.026		0.0165			0.00011
TACOALECHE 2	9-feb-95	0.008	<0.004				<0.025		0.0177			0.0002
	10-jul-95	<0.015	<0.01	0.049	0.011	<0.05		<0.01	0.0156		<0.05	<0.0005
SANTA MONICA	31-ago-94	<0.01	0.003	<0.01	0.174	<0.01	<0.001	<0.01	0.062	<0.01		<0.005
	21-nov-94	<0.015	<0.015	<0.01			<0.05		0.0334			<0.0005
	20-ene-95	<0.015	<0.015	<0.01	<0.01	<0.05	<0.05	<0.01	0.0382		<0.05	<0.0005
	9-feb-95	0.003	<0.004				<0.025		0.0368			0.00023
	10-jul-95	<0.015	<0.015	0.042	<0.01	<0.05		<0.01	0.0302		<0.05	<0.0005
ZOQUITE	19-jul-94	0.022	<0.01	0.019	0.088	<0.05	0.2	<0.01	0.0222	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	<0.015	<0.01	0.022	0.035	<0.05	0.07	<0.01	0.0178	<0.001	<0.05	
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.025	0.024		<0.0005
	21-nov-94	<0.015	<0.01	<0.01			0.09		0.0152			<0.0005
	9-feb-95	0.009	0.0064				0.071		0.0151			0.00023
	10-jul-95	<0.015	<0.01	0.032	0.012	0.06		<0.01	0.0144		<0.05	<0.0005

Tabla A (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	Cu mg/l	Cd mg/l	Fe mg/l	Zn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Ag mg/l	As mg/l	Se mg/l	Cr mg/l	Hg mg/l
GALERIA FILTRANTE LA ZACATECANA	15-mar-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.06	<0.01	0.0085	<0.001		
	27-jul-94	<0.015	<0.01	0.033	0.029	<0.05	<0.05	<0.01	0.0098	<0.001	<0.05	
	17-ago-94	<0.015	<0.01	0.022	0.02	<0.05	<0.05	<0.01	0.0096	<0.01	<0.05	
	26-ago-94	<0.015	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.05	<0.01	0.0112	0.0026		
	31-ago-94	<0.01	<0.001	<0.01	<0.01	<0.01	<0.001	<0.01	0.017	0.0011		<0.0005
	9-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0095			0.00052
T-LAZARO CARDENAS	9-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.006			0.00047
TANQUE 6	9-feb-95	<0.003	<0.004				<0.025		0.0219			0.0005
TANQUE 9	9-feb-95	20.003	<0.004				<0.025		0.021			0.00047

Tabla B. Resultados de las fuentes de abastecimiento de agua potable monitoreadas por CNA correspondientes a los años de 1994 y 1995 (datos proporcionados por CNA)

DESCRIPCIÓN	FECHA	pH	T(°C)	DUREZA TOTAL mg/l	COLOR	ACIDEZ CaCO3 mg/l	ALC. mg/l	COND.	COLIFORMES		FLUOR mg/l	SULFATOS mg/l	CLORUROS mg/l	SODIO mg/l	POTASIO mg/l	SOLIDOS			FOSFATOS mg/l	NITRÓGENO	
									fecales	totales						ST mg/l	SST mg/l	SDT mg/l		N NO3 mg/l	N NH3 mg/l
La Joya 1	14-mar-94	7.9	28	427.80	10	5.47	181.44	470	0	3	0.88	33.42	11.52	22.54	4.88	456	0	456	0.04	1.11	0
	26-ago-94	7.9		210.51	10	5.22	218.91	450			0.83	35.05	13.00	28.08	4.68	430	10	420			
La Joya 2	14-mar-94	7.8	27	395.80	10	6.57	188.18	450	0	48	0.84	28.73	9.44	24.84	5.48	440	2	438	0.03	0.47	0
	26-ago-94	8.1		203.37	10	3.13	221.27	440			0.83	35.05	12.07	28.08	5.46	402	8	398			
La Joya 3	14-mar-94	7.8	28	448.20	10	6.57	183.36	500	0	29	0.88	50.13	13.38	25.99	4.68	530	4	528	0.03	1.71	0
	26-ago-94	8.85		231.82	10	4.18	215.82	500			0.83	48.48	15.78	29.21	4.68	488	8	482			
La Joya 4	14-mar-94	7.8	25	388.00	10	6.57	183.36	440	0	0	0.73	28.98	9.44	28.08	5.46	454	10	444	0.02	0.42	0
	26-ago-94	7.9		192.67	10	5.22	218.00	440			0.83	32.99	11.14	33.58	6.24	422	4	418			
La Joya 5	14-mar-94	8	25	220.50	10	4.38	181.44	510	1	18	0.99	51.24	12.44	19.55	16.38	540	10	530	0.03	0.75	0
	26-ago-94	8.1		110.80	10	2.09	211.48	500			0.89	53.81	13.00	70.38	16.38	108	4	102			
La Joya 6	14-mar-94	7.7	32	427.79	10	6.78	180.46	450	0	35	0.88	33.42	8.29	18.55	4.68	436	0	436	0.02	0.42	0
	26-ago-94	7.9		214.08	10	8.36	209.28	440			0.55	30.93	11.14	22.54	3.90	384	6	358			
La Joya 6R	14-mar-94	7.7	25	385.80	10	6.78	178.58	440	0	13	0.84	35.84	8.75	22.54	4.68	484	6	488	0.03	0.80	0
	26-ago-94	8		203.37	10	7.31	218.91	440			0.50	37.11	10.21	24.84	4.68	378	6	372			
La Joya 8	14-mar-94	8.1	28	348.80	5	4.38	175.88	480	0	0	0.94	41.21	13.59	33.58	9.38	472	4	468	0.04	0.84	0
	26-ago-94	8		171.88	10	5.22	185.11	480			0.80	45.36	13.93	40.48	8.58	384	2	382			
La Joya 10	26-ago-94	8		182.08	10	7.31	221.27	440			0.59	32.99	11.14	31.97	6.24	376	6	370			
La Joya Reb 1	26-ago-94	8		199.80	10	7.31	208.19	450			0.83	36.17	12.07	33.58	6.24	388	4	382			
La Joya Reb 2	26-ago-94	8		103.37	10	8.27	210.37	470			0.63	45.38	14.88	36.34	7.02	384	2	382			
Benito Juárez 1	14-mar-94	7.7	28	238.20	10	6.57	188.00	400	0	8	1.64	20.05	8.88	44.62	8.58	456	10	448	0.04	0.34	0
	26-ago-94	7		128.44	10	8.38	197.29	400			1.38	24.74	8.35	48.53	8.58	448	4	442			
Benito Juárez 2	14-mar-94	7.7	28	253.00	10	8.78	188.88	440	0	6	1.81	20.05	8.88	48.53	14.82	470	4	468	0.04	0.38	0
	26-ago-94	7.8		132.01	10	8.38	201.85	410			1.40	22.88	8.35	48.68	7.02	398	0	395			
Benito Juárez 4	14-mar-94	7.8	31	243.80	10	7.88	189.92	420	0	0	1.68	24.50	7.37	45.77	6.24	230	2	226	0.05	0.30	0
	26-ago-94	7.8		135.58	10	5.22	197.29	410			1.40	30.93	9.28	51.98	5.46	388	6	380			
Benito Juárez 6	14-mar-94	7.8	24	322.00	10	13.14	177.80	450	0	0	1.25	24.50	12.44	34.88	17.55	454	0	454	0.03	0.85	0
	26-ago-94	7.9		187.89	10	4.18	208.01	450			1.10	28.80	13.00	39.33	15.80	510	8	504			
Reb. B Juárez	26-ago-94	7.8		132.01	10	7.31	200.58	430			1.27	32.99	10.21	48.53	11.31	580	6	584			
Pozo Morelos	14-mar-94	8	28	427.80	20	4.38	171.84	450	0	0	0.51	20.05	24.42	17.48	3.12	430	14	418	0.04	0.98	0

Tabla B (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	pH	T(°C)	DUREZA TOTAL mg/l	COLOR	ACIDEZ CaCO3 mg/l	CALINID mg/l	DUCTIV cm/cmha	COLIFORMES		FLUOR	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	SOLIDOS			FOSFATOS	NITROGENO	
									focales	totales						ST	SST	SDT		N NO3	N NH3
Pimenta	14-mar-94	7.6	28	473.80	5	8.78	177.60	550	3	3	0.73	71.29	13.82	27.14	7.02	514	8	508	0.03	0.98	0
	28-ago-94	7.8		239.05	10	11.49	199.47	540			0.63	78.35	15.78	33.58	8.24	420	8	412			
San Ramón 8	14-mar-94	7.9	29	165.40	5	5.47	164.18	420	0	0	1.51	25.82	9.78	63.84	5.48	282	0	282	0.03	0.80	0
	18-may-95	7	30	131.08	10		179.78	410			1.38	20.82	11.08	56.12	4.88	310	0	310	0.07	0.75	0
	14-ago-95	8.4	28	120.00	10		198.35	380			1.38	25.77	9.80	54.28	3.90	272	0	272	0.01	1.14	0
San Ramón 10	14-mar-94	7.8	25	230.00	10	12.04	179.52	430	4	4	1.42	23.39	7.80	48.53	15.80	282	42	240	0.04	0.55	0
	18-may-95	8.3	31	135.80	10		197.95	410			1.38	20.82	11.08	56.12	6.24	324	0	324	0.05	1.04	0
	14-ago-95	8.1	30	178.00	10	10.4	184.25	410	0	0	1.28	26.80	9.45	58.42	4.88	328	0	328	0.01	1.12	0
San Ramón 13	30-ago-94	7.8	32	178.40	10	9.4	191.84	440			1.85	32.99	16.71	30.59	5.48	278	8	270			
	18-may-95	8.1	32	180.80	10		191.53	440			1.87	28.80	18.43	25.99	4.88	318	0	318	0.24	0.94	0
	14-ago-95	8.3	32	200.00	10		195.30	440	0	0	1.91	34.02	14.05	27.14	4.88	270	0	270	0.16	0.80	0
San Ramón 14	14-mar-94	7.3	41	381.80	5	15.33	184.18	510	0	0	3.48	42.33	28.72	37.72	6.24	292	38	254	0.02	0.84	0
	30-ago-94	7.8		217.84	10	11.49	199.47	550			1.70	55.07	38.22	41.88	4.88	338	8	328			
	18-may-95	8	42	288.38	10		189.08	550			1.67	51.55	38.71	39.33	4.88	382	0	382	0.19	1.31	0
	14-ago-95	8.1	40	252.00	10	7.28	187.95	550	0	0	1.93	53.81	38.48	39.33	4.88	328	0	328	0.11	1.21	0
San Ramón 16	14-mar-94	7.7	35	345.20	10	8.76	185.12	480	0	0	3.28	37.87	23.04	41.88	5.48	278	40	238	0.04	0.55	0
	30-ago-94	7.8		198.24	20	9.4	184.82	480			1.70	30.93	25.07	40.48	4.88	288	12	278			
	18-may-95	8.1	35	203.40	10		195.81	500			1.87	37.11	25.80	37.72	4.88	358	0	358	0.15	1.08	0
	14-ago-95	8.1	35	280.00	10	8.24	192.15	480	0	0	1.84	42.27	24.78	38.34	3.80	298	0	298	0.08	1.08	0
Reb. San Ramón	30-ago-94	7.7		180.58	10	12.54	188.39	410			0.12	43.30	13.00	37.72	7.02	284	8	278			
	14-ago-95	8.1	30	232.00	10	9.36	193.20	410	0	0	1.59	28.88	13.50	41.88	5.48	334	0	334	0.01	1.10	0
Bañuelos 1	14-mar-94	7.6	29	294.34	10	8.78	188.00	410	0	0	1.38	17.82	8.91	37.72	8.58	208	0	208	0.02	0.81	0
	30-ago-94	7.8		138.77	10	10.45	200.58	400			1.08	20.82	13.00	38.34	7.80	282	0	282			
	14-ago-95	7.8	28	208.00	10		201.80	380			1.38	19.58	8.75	27.14	6.24	314	0	314	0.02	1.23	0
Bañuelos ppal	14-mar-94	7.2	28	177.30	5	10.95	188.98	400	0	0	1.25	16.71	5.99	29.21	13.28	218	0	218	0.02	1.19	0
	30-ago-94	7.5		158.74	10	12.54	192.93	380			0.97	20.82	8.35	27.14	12.08	242	0	242			
Bañuelos 1B	30-ago-94	7.9	24	135.34	10	9.4	187.28	380			0.80	20.82	9.28	38.34	10.14	298	0	294			
	14-ago-95	7.8	24	224.00	10	18.72	197.40	380			1.03	15.15	9.45	25.99	7.02	344	0	344	0.01	1.00	0
Bañuelos 2	14-mar-94	7.4	29	303.80	10	9.85	188.06	400	0	0	1.38	16.71	6.22	27.14	11.31	208	0	208	0.02	0.42	0
	30-ago-94	7.7		159.99	10	10.45	199.47	380			1.14	24.74	10.21	31.97	9.38	284	0	280			
	14-ago-95	7.8	30	232.00	10	21.84	198.45	380			1.00	18.55	8.75	24.84	7.02	312	0	312	0.02	0.90	0

Tabla B (Cont.)

DESCRIPCIÓN	FECHA	pH	T(°C)	DUREZA TOTAL mg/l	COLOR	ACIDEZ CaCO3 mg/l	CALORÍD mg/l	DUCTIV micromhos	COLIFORMES		FLUOR	SULFATOS	CLORUROS	SODIO	POTASIO	SOLIDOS			FOSFATOS	NITRÓGENO	
									fecales	totales						ST	SST	SDT		N NO3	N NH3
Bafuetos 4	14-mar-84	7.7	28	289.80	5	6.75	187.04	380	72	32	1.18	13.38	5.78	33.58	9.38	228	0	228	0.03	0.81	0
	30-ago-84	7.7		153.42	10	10.45	189.88	380			1.10	16.49	9.28	35.19	7.80	372	24	348			
	14-ago-85	8.5	28	303.00	10		188.35	380			0.75	17.52	8.10	22.54	8.58	278	0	278	0.01	0.88	0
Bafuetos 5	14-mar-84	7.5	30	179.40	5	9.85	181.28	280	0	0	1.77	18.83	6.68	58.12	4.68	224	0	224	0.03	0.47	0
Bafuetos 7	14-mar-84	7.5	27	288.40	10	8.78	181.44	430	0	0	1.81	25.62	7.83	48.53	6.24	252	0	252	0.02	1.07	0
	30-ago-84	7.6		149.85	10	9.4	189.47	430			1.53	35.05	9.28	54.28	4.68	100	0	100			
	14-ago-85	8.2	30	132.00	10	4.16	208.05	410	0	0	2.00	31.98	9.45	47.15	3.90	272	0	272	0.02	1.14	0
Reb Bafuetos	30-ago-84	7.7		188.24	10	9.4	200.58	400			1.18	24.74	8.35	37.72	7.80	284	38	228			
	14-ago-85	8	30	180.00	10		198.45	380			1.34	19.58	5.40	31.97	6.24	350	0	350	0.00	1.00	0
Orens	30-ago-84	7.9	21	303.00	10	12.54	178.58	680			1.38	68.04	78.94	40.48	4.68	682	8	614			
La Fe	30-ago-84	7.5	32	303.28	10	14.63	208.19	800			1.48	28.88	90.08	43.24	4.68	778	10	768			
Reb La Fe	30-ago-84	7.6		274.72	10	21.84	185.11	600			1.31	74.23	54.78	43.24	7.02	244	2	242			
	14-ago-85	7.9	29	288.00	10	8.32	188.45	580	0	0	1.63	58.78	84.19	41.88	5.48	388	0	388	0.05	1.82	0
Tanq Estación	30-ago-84	7.9		185.84	10	9.4	191.84	430			1.53	28.88	172.75	33.58	8.58	410	38	374			
Gal Fil Zacatecana	30-ago-84	7.6		153.42	10	13.58	197.29	440			0.93	28.80	15.78	33.58	10.04	440	8	432			