

PUBLICACION MENSUAL DE DIVULGACION TECNICA EN EL CAMPO DE LA GEOHIDROLOGIA, EN LO RELATIVO A LA EXPLORACION, EVALUACION Y CONSERVACION DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA, ELEMENTOS DE IMPORTANCIA PARA EL DESARROLLO

RECONOCIMIENTO GEOHIDROLOGICO DE LA ZONA IXTLE-RA DEL ESTADO DE ZACATECAS,

Por: Ing. Jorge A. Trujillo Candelaria,
Ing. Juan Manuel Lesser Illades
Ing. Guillermo Martínez Garza

La Zona Ixtlera del Estado de Zacatecas se localiza en el extremo Norte de la Entidad, limitada al Sur por el paralelo 24°; al Este, por el Estado de San Luis Potosí; al Norte por los Estados de Nuevo León y Coahuila y al Oeste, por el Estado de Durango. Su extensión abarca una superficie aproximada de 16,000 Km², comprendiendo los Municipios de: Mazapil, Melchor Ocampo, Concepción del Oro, El Salvador, Francisco Murguía (Nieves) y Estación Camacho, (Fig. 1).

La zona en estudio se caracteriza por:
a) Escasa precipitación, la cual alcanza un promedio anual de 300 mm; b) Alto índice de evaporación potencial, que alcanza una media anual de 1,800 mm; c) Temperatura extremosa.

Las poblaciones más importantes del área son: Concepción del Oro, Mazapil, Estación Camacho y El Salvador; sin embargo, existen más de 100 pequeños poblados y rancherías diseminados en la región, cuyas necesidades de abastecimiento de agua potable, en su gran mayoría, no están resueltas; así mismo, el riego por bombeo es prácticamente nulo.

GEOLOGIA.

El área se caracteriza por la presencia de serranías alargadas, constituidas por rocas calizas de origen marino, cuyas edades van del Jurásico al Cretácico Superior. Estas se encuentran plegadas formando anticlinales y sinclinales, cuya orientación principal es NW-SE y algunos con rumbo E-W, ya que en este lugar, los pliegues de la Sierra Madre Oriental comienzan a curvarse para dar origen a la formación de Sierras Atravesadas que se localizan entre Monterrey y Torreón.

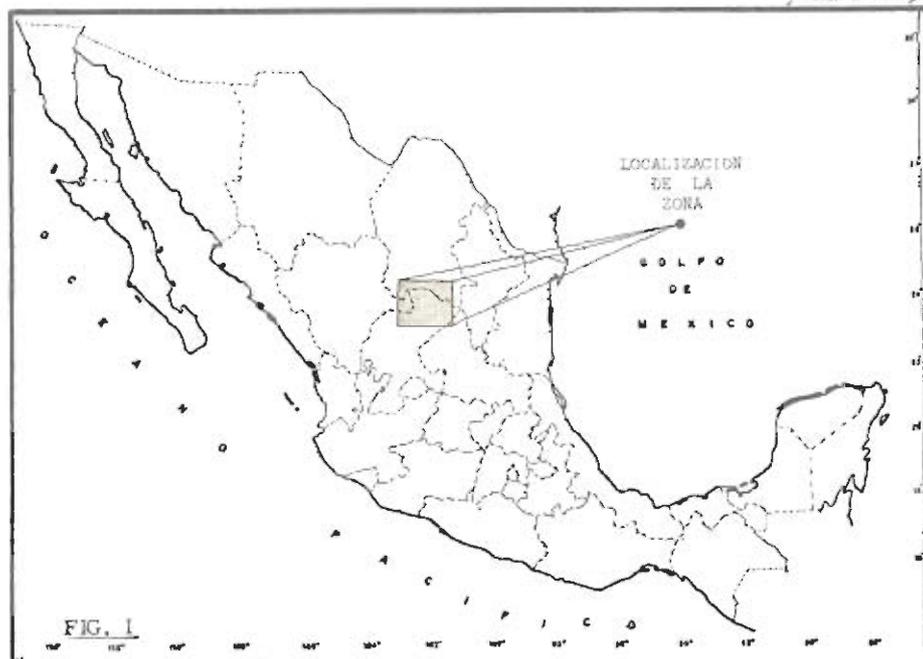
Ocupando las partes bajas, entre sinclinales y sierras vecinas, se encuentran bolsones, los que están formados por conglomerados, gravas y arenas, más o menos compactados, hayándose intercalados con yeso y otras evaporitas. En la parte superior de estos depósitos, se encuentran limos arcillo-arenosos.

GEOHIDROLOGIA.

De acuerdo con la constitución geológica del área, se consideran dos unidades con posibilidades de producción acuífera: una en aluviones y otra en calizas.

Actualmente, la mayor parte de los pozos y norias que explotan agua subterránea, están sobre aluviones. En esta unidad, se presentan dos problemas: la baja productividad de los acuíferos y la mala calidad de las aguas.

La perforación en rocas calizas, se ha llevado únicamente a nivel de exploración, contándose en la actualidad con datos heterogéneos y aislados. La perforación en este tipo de rocas, ha sido escasa, debido a que, en general, sus afloramientos se encuentran en partes topográficamente altas, lo que podría traer niveles de bombeo muy profundos. Además,



siendo un material duro, encarece el costo de la perforación, por lo que difícilmente un particular está en condiciones de efectuarla).

CALIDAD DEL AGUA.

En la zona estudiada, no se cuenta con aguas superficiales y los acuíferos subterráneos son la única fuente de agua disponible. El agua que forma los acuíferos proviene de la lluvia, parte de la cual, al precipitarse sobre el terreno se infiltra y circula a través de las rocas.

Las formaciones granulares que constituyen el acuífero, contiene sales evaporíticas de fácil disolución, como carbonato de sodio y sulfato de calcio, las cuales son disueltas por el agua, haciendo que, en la mayoría de los casos, no sea apropiada para usos doméstico y riego.

Debido a lo anterior, se efectuó un muestreo del agua subterránea y se recopiló la información relativa a la composición química de la misma, la cual se procesó obteniéndose el tipo del agua adecuado para uso potable y para riego, el cual se comenta a continuación:

CALIDAD DEL AGUA PARA USO POTABLE:

Los resultados de los análisis, se compararon con las normas de calidad para el agua potable, con base en lo cual se formó el Plano: Fig. No. 2, donde se delimitaron las zonas siguientes:

1). ZONA CON AGUA DE BUENA CALIDAD, APROPIADA PARA USARSE COMO POTABLE.- Tiene

concentraciones menores de 1,000 ppm, de sólidos totales disueltos; Tabla 1. Se localiza en los alrededores de Apizotla y Caopás; así como entre la Sierra de El Zapato y Concepción del Oro, incluyendo los Valles de Cedros, Mazapil, Sabana Grande y el Sureste de Concepción del Oro, entre la Ciénega de Rocamontes y la Noria de Guadalupe.

2). ZONA CON AGUA DE MEDIANA CALIDAD, UTILIZABLE COMO POTABLE SOLO EN CASOS EXTREMOS.- Tiene concentraciones entre 1,000 y 2,000 p.p.m. de sólidos totales disueltos. Se localiza dentro de zonas con agua de mala calidad: al Este de Nuevo Mercurio, al Oeste de la Noria de Guadalupe, al Norte de Concepción del Oro y en parte del Bolsón de Camacho.

3). ZONA CON AGUA DE MALA CALIDAD, NO APROPIADA PARA USO DOMESTICO.- Contiene entre 2,000 y 5,000 ppm de sólidos totales disueltos; se localiza en la mitad Norte del Bolsón de Camacho, en el extremo Norte del área en los Bolsones de Avalos y Gruñidora.

4). ZONA CON AGUA DE MUY MALA CALIDAD, NO APROPIADA PARA USOS DOMESTICOS.- Contiene entre 5,000 y 15,000 ppm de sólidos totales disueltos. Se localiza en el área de Nuevo Mercurio y en la parte Central del Bolsón de Avalos.

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO.

El agua muestreada en la zona, se clasificó de acuerdo al monograma utilizado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, por medio del cual y, a partir de la relación de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica, se obtuvo el tipo de agua para riego, el cual se muestra en la Tabla 1 y su significado en la Tabla 2.

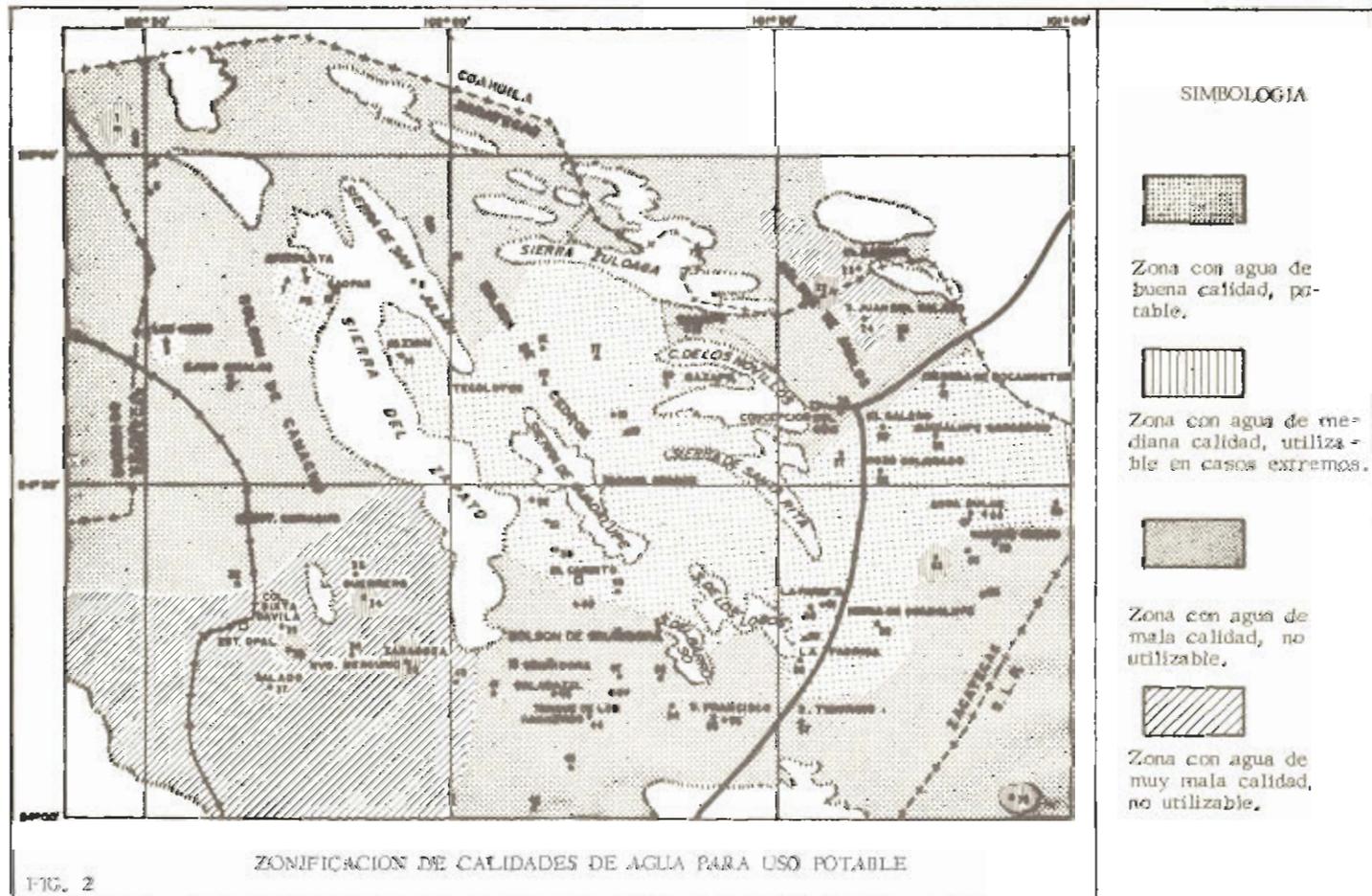


TABLA 1

Fuente No.	STD* p.p.m.	Clase de agua para riego	Fuente No.	STD* p.p.m.	Clase de agua para riego
1	1680	C4S1	36	2380	C4S2
2	2800	C4S2	37	15564	C5S3
3	2800	C4S2	38	9972	C5S5
4	3500	C4S2	39	1492	C3S4
5	406	C4S1	40	6200	C5S5
6	3064	C4S1	41	2275	C5S5
7	350	C2S1	42	2275	C4S2
8	492	C2S1	43	3500	C4S2
9	613	C3S1	44	3778	C4S3
10	473	C2S1	45	1997	C4S2
11	398	C4S2	46	3500	C4S2
12	3325	C4S2	47	2100	C4S1
13	2100	C4S2	48	840	C3S1
14	804	-	49	-	-
15	1008	C3S1	50	385	C2S1
16	1100	C3S1	51	350	C2S1
17	640	C3S1	52	700	C3S1
18	508	C2S1	53	2625	C4S2
19	910	C3S1	54	4200	-
20	556	C2S1	55	4968	C5S5
21	2553	C4S2	56	4900	C3S1
22	1360	C3S1	57	1853	-
23	8886	C5S5	58	528	C3S1
24	4580	C4S5	59	3500	C3S1
25	2336	C4S2	60	648	C3S1
26	2700	C4S1	61	1400	-
27	473	C2S1	62	926	-
28	688	-	63	1260	C3S1
29	840	C3S2	64	2625	C4S1
30	1005	-	65	1890	C4S1
31	1306	C2S1	66	2329	C4S3
32	2275	C4S2	67	770	C3S1
33	5600	C4S2	68	822	C3S1
34	1540	C5S3	69	910	C3S1
35	6212	C5S3	70	1610	C4S1

*Sólidos totales disueltos.

TABLA 2

SIGNIFICADO DE LA CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO.

CONDUCTIVIDAD.

- C1 BAJA SALINIDAD.- Puede usarse para riego en la mayoría de los suelos y para casi todas las plantas, con pocas probabilidades de que aumente la salinidad.
- C2 SALINIDAD MEDIA.- Puede usarse, si se hacen lavados moderados. Se pueden sembrar plantas moderadamente tolerantes a las sales, en la mayoría de los casos, sin efectuar prácticas especiales para el control de la salinidad.
- C3 ALTAMENTE SALINA.- No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Aún con drenaje adecuado, se requiere un manejo especial para el control de la salinidad, además de seleccionar plantas que sean bastante tolerantes a las sales.
- C4 MUY ALTAMENTE SALINA.- No es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, aunque puede usarse en ocasiones bajo circunstancias muy especiales. Los suelos deben ser permeables, el drenaje adecuado; el agua para riego debe aplicarse en exceso, con el fin de llevar a cabo un lavado fuerte las plantas que se seleccionen deberán ser muy tolerantes a las sales.

SODIO (RAS)

- S1 CON POCO SODIO.- Puede usarse para riego en casi todos los suelos, con poco peligro de que el sodio intercambiable llegue a niveles perjudiciales. Sin embargo, las plantas sensitivas al sodio como algunos frutales -- (fruto con hueso) y aguacate, pueden acumular concentraciones dañinas de sodio.
- S2 CON CONTENIDO MEDIO.- Será peligrosa en suelos de textura fina y en aquellos que contengan una alta capacidad de intercambio de cationes, especialmente bajo condiciones de lavados leves, a menos que haya yeso en el suelo. Esta agua puede usarse en suelos orgánicos o de textura gruesa con buena permeabilidad.
- S3 CON ALTO CONTENIDO.- Conducirá a niveles peligrosos de sodio intercambiable en la mayoría de los suelos por lo cual se requerirá de un manejo especial -- buen drenaje, lavados fuertes y adiciones de materia orgánica. Los suelos yesíferos no desarrollarán niveles perjudiciales de sodio intercambiables. Los mejoradores químicos deberán usarse, para el reemplazo de sodio intercambiable, excepto en el caso de que no sea factible el uso de mejoradores en aguas de muy alta salinidad.
- S4 CON MUY ALTO CONTENIDO.- Generalmente no es apropiado para el riego, excepto en casos de baja y quizá media salinidad, donde la solución del calcio del suelo o el empleo de yeso u otros mejoradores, hagan factible el uso de esta agua.

Esta clasificación, así como su significado, se vació sobre el Plano; Fig. No. 3, habiéndose delimitado las zonas siguientes:

1). ZONA CON AGUA DE BUENA CALIDAD.- Predomina el tipo C3-S1 que corresponde a agua con alto contenido de sales y baja proporción de sodio intercambiable, utilizables en casi todo tipo de terrenos, sin peligro de acidificación y salinización. Se localiza en la zona de Apizolaya y la parte Central y Sureste de la región estudiada.

2). ZONA CON AGUA DE MEDIANA CALIDAD.- Predomina el tipo C4-S2, que corresponde a agua con muy alta concentración de sales y una cantidad media de sodio intercambiable; puede utilizarse para riego, siempre y cuando se lleven a cabo prácticas especiales del control de la salinidad. Se localiza en la parte Norte del Bolsón de Cedros y en los Bolsones de Camacho y Grufidora.

3). ZONA CON AGUA DE MALA CALIDAD.- Predomina el tipo C4-S4, que corresponde a agua con muy alta cantidad de sales y muy alta proporción de sodio intercambiable. No es apropiada para riego. Se localiza en la zona de Nuevo Mercurio y en el Bolsón de Ayalos.

CONCLUSIONES.

1.- La zona cuenta con un clima extremoso, baja precipitación pluvial y alto índice de evaporación; carece de escurrimientos superficiales, siendo la única fuente aprovechable, la proveniente del subsuelo.

2.- Existen dos unidades con posibilidades de producción acuífera: aluviones y calizas.

3.- Los aluviones presentan dos problemas: baja productividad y mala calidad de las aguas. Las calizas no se encuentran lo suficientemente exploradas, debido a su posición topográfica alta y elevado costo de perforación.

4.- Respecto a la potabilidad del agua, se delimitaron las cuatro zonas siguientes:

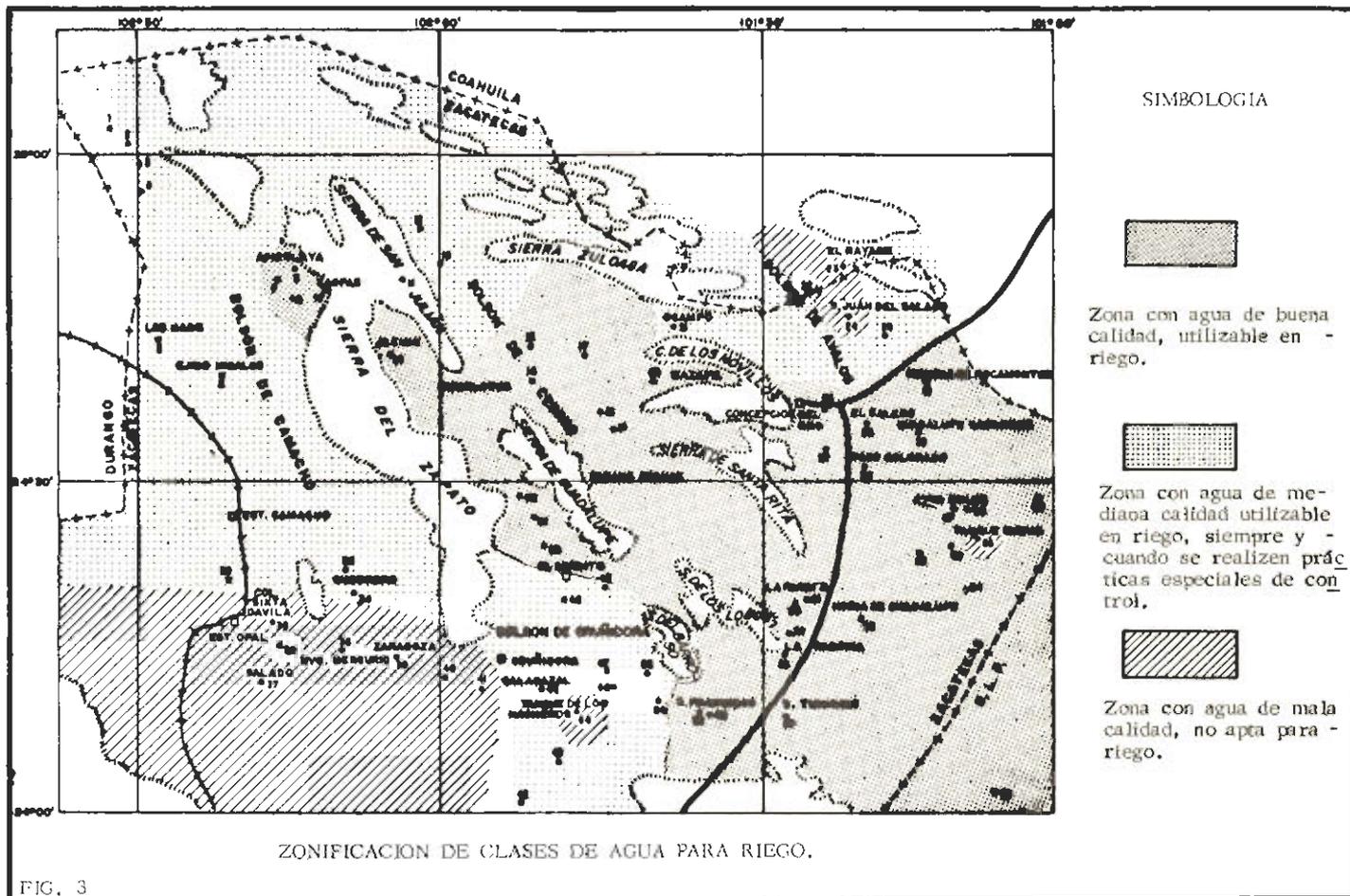


FIG. 3

	<u>Area Cubierta</u>
a) Zona con agua de buena calidad, potable.....	30%
b) Zona con agua de mediana - calidad, utilizable en casos extremos.....	5%
c) Zona con agua de mala calidad, no utilizable.....	45%
d) Zona con agua de muy mala calidad, no utilizable.....	20%

5.- Respecto a la calidad del agua para abrevadero, se considera que, en general, las zonas de buena, mediana y mala calidad para agua potable, delimitadas en el punto anterior, pueden destinarse para la mayoría de los tipos de ganado.

6.- Respecto a la calidad del agua para riego, se delimitaron las tres zonas siguientes:

	<u>Area Cubierta</u>
a) Agua de buena calidad utilizable en riego.....	35%
b) Agua de mediana calidad, utilizable en riego, siempre y cuando se lleven a cabo prácticas especiales de control de salinidad.....	45%

c) Zona con agua de mala calidad, no apta para riego.....	20%
---	-----

RECOMENDACIONES.

1.- El agua potable es un elemento indispensable para la vida del hombre, que difícilmente se obtiene. Para ello, se recomienda localizar dentro de las áreas determinadas como productoras de aguas de buena calidad, las fuentes de abastecimiento que alimenten a los sistemas regionales, para que distribuyan este líquido hacia regiones donde el agua del subsuelo es de mala calidad no apropiada para usos domésticos.

2.- En las zonas determinadas con agua de mala y muy mala calidad para uso potable, se recomienda no realizar perforaciones para la explotación de aguas subterráneas, con ese fin, ya que en un corto plazo esas obras se abandonarán por no satisfacer el objetivo para el que fueron construídas.

3.- Intensificar la exploración de acuíferos calizos con equipo apropiado, en lo que se refiere a profundidad y flujos de perforación.

4.- Respecto a la calidad del agua para riego, se recomienda desarrollar e incrementar la agricultura en la zona del Bolsón de Cedros, analizando la relación entre el tipo de suelo y la clase de agua para seleccionar de esa forma, el cultivo apropiado. En el resto de la zona con agua de buena calidad, puede ser factible el desa-

rollo de la agricultura; sin embargo, actualmente no se cuenta con pozos que tengan los caudales apropiados para este uso, por lo que se recomienda realizar perforaciones exploratorias, a fin de conocer su producción y disponibilidad.

5.- En las zonas detectadas con agua de muy mala calidad, como son las regiones de: Grufidora, Ejido Hidalgo y el Bolsón de Avalos, se recomienda la ejecución de excavaciones o perforaciones para conocer la factibilidad de explotar sales industriales.

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD PRODUCTORA DEL CAMPO DE POZOS DE MINA, MONTERREY, N. L.

Por el Ing. Rubén Chávez Guillén,
el Ing. Antonio Lizt Mendoza,
el Ing. Rolando Pascacio Ballinas.

I.- INTRODUCCION.-

Las rocas carbonatadas afectadas por disolución pueden constituir acuíferos muy favorables, especialmente por su alta capacidad transmisora. Captaciones brotantes con gran presión o de extraordinario rendimiento y caudalosos manantiales, son manifestaciones espectaculares comunes, que hacen imaginar a estos acuíferos como fuentes inagotables que ceden sus recursos con suma facilidad. Sin embargo, la exploración, captación y, sobre todo, la evaluación del potencial de este tipo de acuíferos plantean problemas de difícil solución.

El tectonismo y los procesos de meteorización, actuando sobre estas rocas, dan lugar a estructuras muy complejas cuya disposición y continuidad en el subsuelo no son siempre fáciles de inferir. Se requiere, por tanto, de exploraciones para identificar las estructuras y definir qué partes de ellas presentan condiciones favorables para la captación económica del agua subterránea. La gran heterogeneidad que suelen presentar estos acuíferos es un factor que dificulta y encarece las exploraciones, pues un resultado negativo en una de ellas no es base suficiente para descartar una estructura, ni un resultado positivo puede generalizarse a una extensa área; de aquí que sea necesario realizar amplios programas exploratorios antes de poder concluir respecto a las posibilidades acuíferas que ofrece una formación determinada. Por la misma heterogeneidad de los acuíferos, el rendimiento de una captación es difícilmente previsible, aun cuando las exploraciones hayan demostrado que, en términos generales, la estructura es favorable, siendo muy común encontrar pozos de extraordinaria producción muy próximos a otros de producción muy baja o prácticamente nula.

Pero es en la evaluación de la potencialidad donde se tropieza con los mayores obstáculos. En primer lugar, por la escasez de herramientas teóricas para efectuarla, ya que la gran mayoría de las teorías desarrolladas para estudiar el comportamiento del agua en el subsuelo, se refieren a los acuíferos granulares. Y en segundo lugar, por las grandes dificultades que presenta el conocimiento de las características de sistemas acuíferos que, con frecuencia, tienen gran complejidad estructural y ocupan grandes extensiones.

La geometría del sistema acuífero, el esquema del flujo subterráneo, la distribución de características hidráulicas y los mecanismos de recarga y descarga, aspectos cuyo conocimiento es indispensable para cuantificar la potencialidad de un acuífero y que en el caso de los materiales granulares pueden inferirse con relativa facilidad, distan mucho de ser evidentes en el caso de los acuíferos calizos.

II.- LOS ACUIFEROS CALIZOS DEL AREA DE MONTERREY.-

En 1954 se perforó un pozo exploratorio en la zona de Monterrey, con el propósito de investigar las posibilidades acuíferas de las calizas que afloran en las sierras de esa zona. Este pozo distaba mucho de ser una exploración común y corriente pues, por primera vez en México, se pretendía alcanzar profundidades mayores de 1,000 m., inusitadas hasta entonces para captación de agua.

Los resultados de dicha exploración pusieron de manifiesto el enorme potencial acuífero que ofrecen algunas de las formaciones sedimentarias, no sólo en el área de Monterrey, sino a lo largo de la Sierra Madre Oriental. Con base en la experiencia adquirida en la primera exploración se perforaron, en años posteriores, gran número de pozos de explotación en las inmediaciones de varias de las estructuras dispersas en la zona. Actualmente, los acuíferos calizos constituyen una de las fuentes de abastecimiento de agua de las que depende básicamente el gran desarrollo industrial de la región.

III.- EL CAMPO MINA.-

Ubicación y características.- El campo de pozos de Mina está ubicado a unos 40 Km. al noroeste de la Ciudad de Monterrey, en las inmediaciones de las estructuras de Minas Viejas, Potrero de García y Potrero Chico (Ver figura No. 1). Su operación se inició en 1958, incrementándose rápidamente su capacidad mediante la perforación de nuevos pozos; actualmente el campo está integrado por 26 pozos que aportan, aproximadamente, el 20% de las demandas del área urbana de Monterrey.

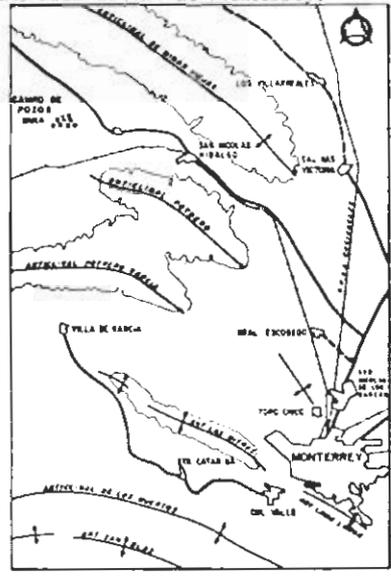


FIG. 1

Los pozos tienen profundidades entre 260 y 1,500 m. y están captando las calizas denominadas "Aurora" y "Cupido", principales formaciones acuíferas de la región; con excepción de uno, todos ellos proporcionan caudales entre 30 y 250 l.p.s., con abatimientos menores de 20 m. en la mayoría de ellos. La capacidad instalada del campo es de 2.6 m³/seg.

Recarga del Acuífero.- La recarga captada por los acuíferos del Campo Mina, es generada por infiltración del agua de lluvia en las sierras donde afloran las calizas acuíferas. El amplio conocimiento de la geología regional, la información relativa al comportamiento y configuración de los niveles piezométricos y los resultados del estudio isotópico, proporcionan bases para concluir que la recarga del Campo Mina es local, relativamente reciente y se origina a una altura media de unos 850 m.s.n.m. Puede afirmarse, entonces, que las principales zonas de recarga del Campo son las sierras del Fratle y de Minas Viejas.

Flujo Subterráneo.- El flujo subterráneo en las rocas carbonatadas está controlado principalmente, por el de tipo de porosidad y permeabilidad, la es-

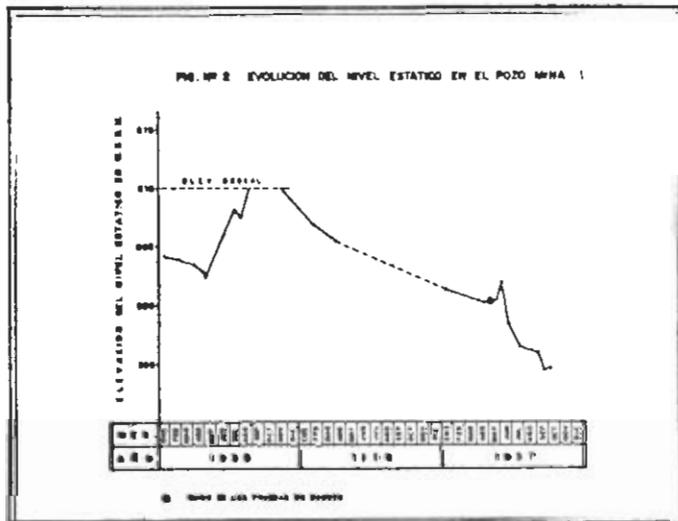
estructura geológica y el nivel base hacia el que se mueve el agua subterránea.

Los acuíferos calizos del área de Monterrey tienen una porosidad de tipo secundario, generada por la solución diferencial de los constituyentes solubles de la roca. La permeabilidad está asociada con un laberinto de conductos de disolución desarrollados a lo largo de juntas, fracturas y planos de estratificación.

En el área de Mina los niveles piezométricos tienen elevaciones del orden de 600 m.s.n.m. Tomando en cuenta las elevaciones registradas en otros campos de pozos, se supone que la dirección dominante del flujo subterráneo es de NW a SE. Sin embargo, esto no es concluyente, pues en los acuíferos calizos la piezometría, por sí sola, no es base suficiente para inferir las direcciones del flujo, ya que las deformaciones estructurales y los cambios de facies pueden provocar discontinuidades, no siempre evidentes, de las formaciones acuíferas.

En diciembre de 1974, se efectuó un paro general del bombeo del campo, con el propósito de obtener datos confiables respecto a la posición de los niveles estáticos. La configuración apoyada en estos datos reveló que la operación del campo no ha generado todavía una depresión en la superficie piezométrica. Esto se atribuye a que los abatimientos provocados por el bombeo se propagan lateralmente con rapidez, no dando lugar a la formación de conos de abatimientos.

El análisis de los datos piezométricos puso de manifiesto, además, que las calizas que afloran en la Sierra Madre y las del Campo Mina, forman sistemas de flujo independientes.



Evolución Piezométrica.— En la figura No. 2 se ilustra la evolución piezométrica observada en el pozo No. 1 del Campo Mina, durante el intervalo enero 1955-abril 1957. Puesto que este pozo fué el primero que se perforó en ese campo y no se operó en todo el lapso mencionado, la evolución mostrada es representativa del comportamiento natural de los niveles piezométricos del acuífero en esa área.

La figura No. 3 muestra el comportamiento de los niveles dinámicos en los pozos Nos. 1, 5, 7, 8, 9 y 10 en el intervalo 1957-1973; se muestra también la historia de las extracciones mensuales del campo y la variación de la precipitación pluvial en la estación Mina, en el mismo intervalo de tiempo. Aunque estos niveles están afectados por las pérdidas locales en los pozos de bombeo y por las interferencias entre ellos, la evolución presentada proporciona una idea muy útil respecto a la respuesta del acuífero a la recarga y a la descarga. Como puede observarse, la evolución del nivel dinámico es muy semejante en todos los pozos: en general, las gráficas conservan un marcado paralelismo en sus oscilaciones estacionales y sólo difieren en oscilaciones de corta duración atribuidas a suspensiones temporales del bombeo y a variaciones del caudal en algunos de los pozos. Son notables las fuer-

tes oscilaciones típicas de un acuífero artesiano: los niveles piezométricos descienden rápidamente durante las épocas de estiaje y se recuperan en corto tiempo durante algunas temporadas de lluvia.

El descenso de los niveles piezométricos es una consecuencia de la descarga natural y artificial del acuífero. Es explicable, entonces, que la velocidad de abatimiento haya aumentado en el tiempo con el volumen de extracción, como puede observarse en la figura de que se trata.

En 1956, cuando la explotación aún no se iniciaba, dicha velocidad era apenas de 0.5 m/mes. En 1958, año en que se inició la operación del campo, la velocidad de abatimiento aumentó a 0.7 m/mes; en los años 1961-1962, a 1.3 m/mes; en 1964, a 1.7 m/mes; y así sucesivamente, hasta 1973, año en que alcanzó un valor de 2.3 m/mes.

De la misma figura se puede inferir también que la recarga del acuífero en el área del Campo Mina es muy variable de un año a otro, dependiendo de la precipitación pluvial. Así, en años con precipitación inferior a la media anual, como 1961, 1962 y 1964, los niveles piezométricos descendieron progresivamente sin reflejar recarga significativa; en cambio, en algunos años con precipitación media o mayor, como 1963, 1965, 1966 y 1967, se registraron recuperaciones entre 15 y poco más de 30 m. en corto tiempo, brotando temporalmente varios de los pozos.

Promediando las recuperaciones anuales observadas en el intervalo de registro, resulta una recuperación media anual de unos 15 m. y puesto que dicho intervalo incluye condiciones muy variadas de precipitación, puede concluirse que independientemente de su valor la recarga media anual del acuífero en el área en que se encuentra el Campo Mina, provoca una recuperación media de los niveles piezométricos en esa misma área, del orden de 15 m./año. Este es un dato muy importante para la estimación de la capacidad productora del campo.

Finalmente, puede verse en la figura No. 3, que a pesar de la fuerte oscilación de los niveles y de la ocurrencia de algunos periodos prolongados de sequía se ha conservado una misma elevación media en todo el intervalo de observación. Esto significa que el volumen de extracción del campo no ha rebasado aún la recarga media del acuífero y, por tanto, que es factible extraer cantidades adicionales de agua subterránea.

Características Hidráulicas del Acuífero.— Generalmente, las características hidráulicas de un acuífero calizo no pueden determinarse mediante pruebas de bombeo: la teoría de la Hidráulica de Pozos es aplicable a medios homogéneos con régimen de flujo laminar, mientras que estos acuíferos se caracterizan por su heterogeneidad y un régimen de flujo turbulento.

Una medida de la capacidad transmisora de un acuífero es el caudal específico de los pozos, parámetro que guarda una proporcionalidad directa con la transmisibilidad. En el Campo Mina el caudal específico de los pozos productores varía entre 3 y 45 l.p.s./m. El amplio rango de valores en que varía el caudal específico y la existencia de pozos "secos" próximos a los productores, reflejan la distribución errática de los conductos. Por otra parte, dicho rango permite calificar de moderada a la transmisibilidad de los acuíferos calizos de Monterrey, ya que este tipo de acuíferos suelen proporcionar con frecuencia caudales específicos muy superiores a los 100 l.p.s./m.

Por lo que toca a su capacidad almacenadora, los acuíferos calizos se caracterizan por coeficientes de almacenamiento bajos, incluso en condiciones de no confinamiento. En las áreas de recarga el acuífero en estudio es de tipo freático o libre; por tanto, en ellas su coeficiente de almacenamiento es sensiblemente igual a su porosidad. Fuera de esas áreas el acuífero está confinado, por lo que su coeficiente de almacenamiento es mucho menor. A esta baja capacidad almacenadora se debe, en parte, la gran magnitud de las recuperaciones que presentan los niveles piezométricos durante algunas épocas de lluvia.

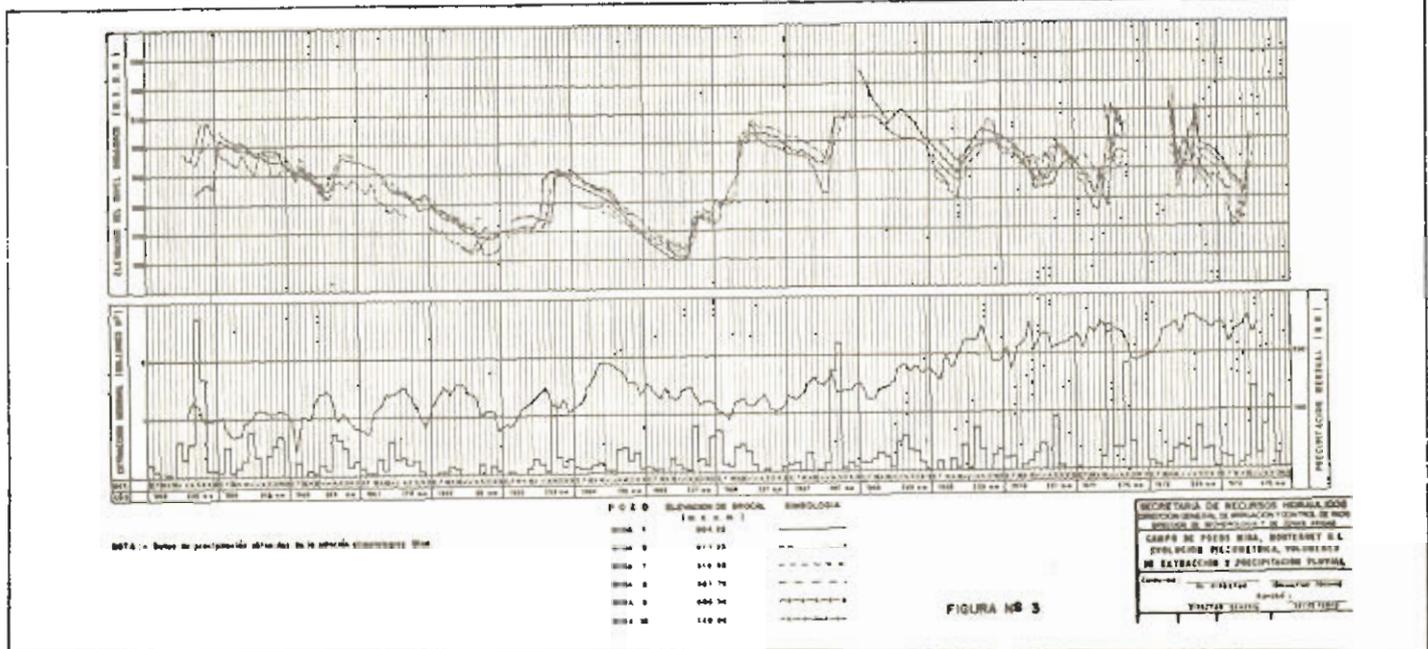
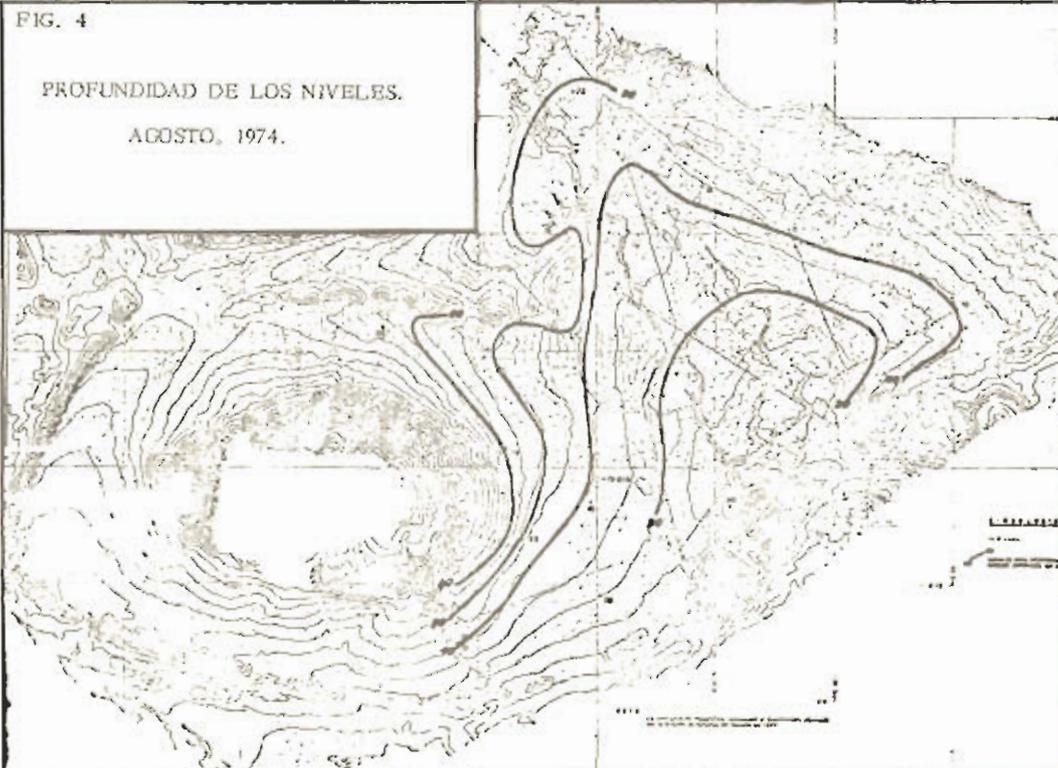


FIGURA Nº 3

La combinación de su transmisibilidad moderadamente alta y su coeficiente de almacenamiento bajo, da al acuífero una gran difusividad, debido a la cual los efectos de la recarga y descarga se propagan rápidamente a grandes distancias. Esta difusividad explica la rápida respuesta de los niveles piezométricos a las lluvias, aunque en esto también influye la proximidad de los pozos a las áreas de recarga.

Capacidad Productora Permanente del Campo. El crecimiento demográfico e industrial de la región demanda cantidades de agua cada vez mayores. Se plantea, entonces, la pregunta de si las fuentes de abastecimiento actuales tienen potencialidad suficiente para satisfacer las necesidades futuras de agua. Siendo el campo de Mina uno de los más productores, es de vital importancia el definir cuál es el volumen máximo que puede proporcionar en forma permanente, tomando en cuenta las restricciones de carácter geohidrológico y económico, y las limitaciones impuestas por las características constructivas de las captaciones ya existentes.

En un sistema acuífero de las proporciones del estudiado, la capacidad productora de un campo de pozos no depende tanto de la recarga total del sistema, cuanto de la recarga local, de la transmisibilidad de la profundidad a los niveles estáticos, en el área que se encuentra el campo, factores de los que depende, en última instancia, la explotación económica del mismo. Bajas transmisibilidades y/o niveles estáticos profundos, se traducen en altos costos de bombeo y pueden limitar la capacidad productora del campo a volúmenes de extracción reducidos, aunque la recarga total del sistema sea muy considerable. En el caso particular del campo Mina, existe una restricción adicional importante: las cámaras de bombeo de los pozos tienen una profundidad del orden de 200 m., de manera que no es factible abatir los niveles de bombeo a profundidades mayores de unos 160 m., pues de hacerlo, disminuiría la eficiencia de los equipos de bombeo y se afectaría la producción de algunos pozos o, aún más, se inutilizarían algunos de ellos.



La profundidad a los niveles de bombeo depende de dos factores principales: la profundidad al nivel estático y el caudal específico de los pozos. La profundidad al nivel estático, a su vez, depende de la respuesta del acuífero a la recarga y a la descarga. Por su parte, el caudal específico depende de la transmisibilidad en el entorno del pozo y de las pérdidas locales del mismo.

Se desconoce la cuantía de la recarga que reciben las calizas acuíferas en el área de Mina, pero se conocen sus efectos sobre los niveles piezométricos: se sabe que provoca recuperaciones anuales variables entre 0 y más de 30 m., con un valor medio anual de unos 15 m.

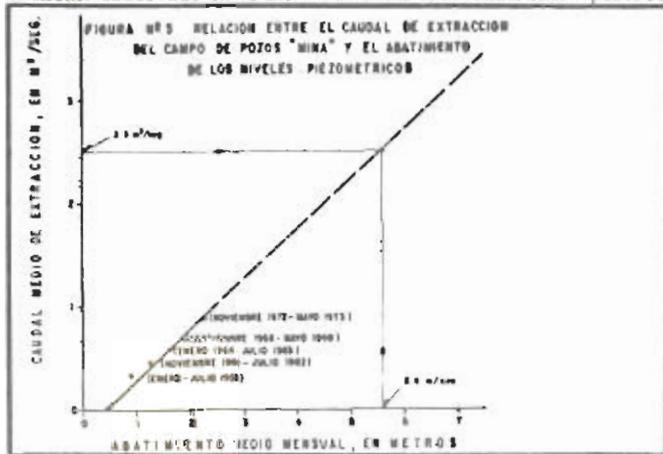
En la figura No. 4 se indican las profundidades a los niveles estáticos en los pozos del campo Mina, en agosto de 1974, fecha en que dichos niveles se encontraban en una de las posiciones más bajas que se han registrado desde el inicio de las observaciones. Como puede verse, los niveles se encontraron entre 19 y 64 m. de profundidad, dependiendo principalmente de la elevación

topográfica.

En el tiempo, la profundidad al nivel estático es muy variable, a causa de las fuertes oscilaciones de la superficie piezométrica. Durante las épocas de estiaje aumenta, con una rapidez que depende, por una parte, del volumen de extracción de los pozos, y por otra, del drenado natural del acuífero.

Para conocer la relación entre la velocidad de abatimiento y los volúmenes de extracción, se seleccionaron varios períodos en los cuales se observó un decaimiento continuo de los niveles piezométricos. Estos períodos fueron: enero-julio de 1959, noviembre 1960-julio 1962, enero 1964-julio 1965, septiembre 1968-mayo 1969 y noviembre 1972-mayo 1973. Con los abatimientos medios observados en cada uno de ellos y los caudales medios de extracción respectivos, se trazó la gráfica de la figura No. 5.

Puede observarse en esta figura, que los puntos sugieren una relación lineal entre el abatimiento y el caudal de extracción. La intersección de la recta de ajuste con el eje horizontal, señala un abatimiento de 0.5 m/mes para un caudal nulo de extracción, valor que coincide prácticamente con el abatimiento observado en el intervalo abril 1956-abril 1957 -período



anterior al inicio de la operación del campo - y que representa la rapidez con que descendían los niveles piezométricos durante los períodos de descarga natural del acuífero.

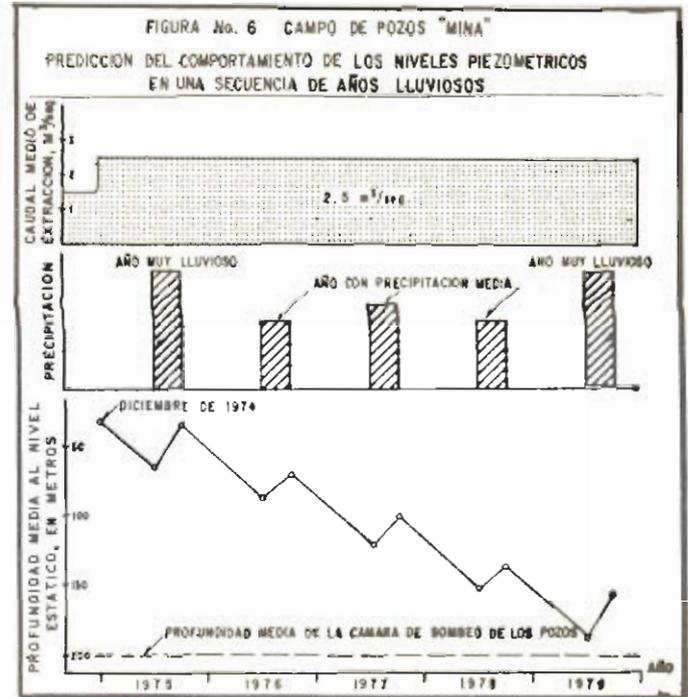
Aunque obviamente, resulta aventurado presuponer que esta relación lineal se conservaría para caudales de extracción mucho mayores que los actuales, la prolongación de la recta proporciona elementos de juicio para analizar los probables efectos que se inducirían de incrementarse la explotación. Así, para un caudal de extracción de 2.5 m³/seg, se tendría un abatimiento de 5.6 m/mes.

Superponiendo este abatimiento y las recuperaciones que indicaría la recarga (30 m. en años muy lluviosos, 15 en años con precipitación media y 0 en años con precipitación muy baja), es posible hacer algunas predicciones acerca del comportamiento de los niveles piezométricos, al explotarse un caudal medio de 2.5 m³/seg. bajo diferentes condiciones de precipitación pluvial.

En la figura No. 6, se presentan los resultados de la predicción para una secuencia de 5 años con precipitación media o mayor, como 1967-1971. En la gráfica inferior de esta figura, resulta evidente que, a pesar de que las condiciones de precipitación supuestas son favorables, los niveles piezométricos descienden progresivamente, y al final del 5º año se encuentran ya a profundidades mayores de 150 m. Tomando en cuenta que en varios de los pozos la profundidad al nivel estático es mayor que la media y que los abatimientos en los pozos de bombeo son de 15 a 30 m., es claro que no podría operarse el campo con este caudal de extracción por más de unos 3 años consecutivos.

Pero hay aún otra condición más crítica, ya que en esta región es común que se presenten años secos consecutivos, como en el lapso 1960-1964. Para una secuencia de años con estas condiciones de precipitación el comportamiento de los niveles piezométricos sería como el mostrado en la figura No. 7. Evidentemente, en este caso no podría operarse el campo con dicho caudal de extracción (2.5 m³/m) por más de 2 años.

De los resultados de las predicciones ante-



riores se desprende que el campo Mina no puede proporcionar en forma permanente un caudal de 2.5 m³/seg. pues con ello se provocarían abatimientos tales que se afectaría el rendimiento de los pozos y, aún más, se inutilizarían temporalmente algunos de ellos al quedar el nivel del agua abajo de los impulsores. Probablemente, el caudal que el campo puede proporcionar en forma continua sea del orden de 2 m³/seg. Desde luego, puede operar se con cierta flexibilidad; aprovechando que su capacidad instalada total es de 2.6 m³/seg, cabe la posibilidad de sobreexplotarlo temporalmente, extrayendo caudales superiores a los 2 m³/Seg. Esto permitiría hacer frente a los "picos" de demanda durante los períodos de sequía muy rigurosa.

Las consideraciones anteriores y la posibilidad de desarrollar nuevos campos en las inmediaciones de estructuras próximas a Mina, permitió justificar la construcción de un segundo acueducto -el acueducto actual tiene una capacidad máxima de 1,100 l. p. s. de gran capacidad.

