

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA



**ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE
LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN MEXICO .**

TESIS QUE PRESENTA
LAURA ELENA MADEREY RASCON
PARA OBTENER EL TITULO DE
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

MEXICO

1965

• 17071

1140



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

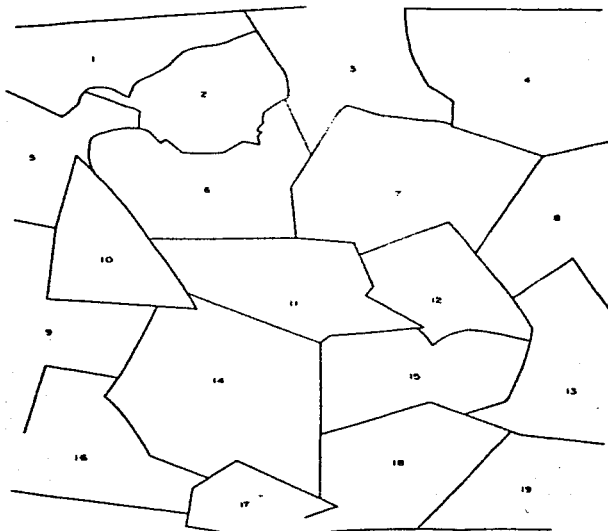


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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.



1. Lago Chapala.
2. Lago Pátzcuaro.
3. Instalaciones de Pathé, Hidalgo.
4. Balneario Atzimba, Zinapécuaro, Michoacán.
5. Las Estacas, Morelos.
6. Balneario Atzimba, Zinapécuaro, Michoacán.
7. Vegetación de Baja California (Carretera de La Paz a San José del Cabo).
8. Atotonilco, Morelos.
9. Toma de Agua, Planta San Pedro; Uruapan, Michoacán.
10. Vegetación de Baja California (Carretera de La Paz a San José del Cabo).
11. Manantial de Peñafiel en Tehuacán, Puebla.
12. Cuautla, Morelos.
13. Lago Coahuila; Torreón, Coahuila.
14. La Tzaráracua, Michoacán.
15. Atotonilco, Morelos.
16. Nacimiento del río Cupatitzio; Uruapan, Michoacán.
17. Manantial de Peñafiel en Tehuacán, Puebla.
18. Paisaje de Baja California (Carretera de La Paz a Todos Santos).
19. Janitzio, Michoacán.

A mi Mamá

A mi familia

A mis Maestros

A mis amigos

01500034

Expreso mi más sincero agradecimiento

A la señorita Irene Alicia Suárez Sarabia, distinguida Maestra del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, bajo cuya acertada y desinteresada dirección se llevó a cabo la presente tesis.

Al Doctor Jorge A. Vivó Escoto, Consejero del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, que con su gran sabiduría dió valiosas sugerencias.

A la señorita Consuelo Soto Mora, Directora Interina del Instituto de Geografía de la UNAM quien permitió la realización de este trabajo en el propio Instituto, dando para ello todas las facilidades.

A la señorita María del Carmen Velázquez quien me brindó su apoyo desde el momento en que empecé a aprender las primeras letras hasta la culminación de mi Carrera.

A todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a la elaboración de este estudio.

INDICE

Palabras Preliminares	II
Introducción	1
Capítulo I Generalidades sobre agua subterránea	5
Capítulo II Principales factores condicionantes de la presencia del agua subterránea	17
Capítulo III Condiciones generales del territorio mexicano para el almacenamiento del agua subterránea	42
Capítulo IV Usos del agua subterránea	62
Capítulo V Problemas derivados	87
Capítulo VI Conclusiones	97
Sección de fotografías	105
Glosario	116
Bibliografía	123

PALABRAS PRELIMINARES

Para la realización de este trabajo se utilizaron informaciones proporcionadas por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y la Comisión Federal de Electricidad así como las obtenidas en diversas bibliotecas.

La bibliografía para este tipo de trabajo es escasa en México, ya que por una parte la Geohidrología es una disciplina cuyo estudio en el país es bastante reciente y, por otra, los estudios geohidrológicos existentes son en su mayoría regionales y más bien se limitan a tratar el aspecto puramente geológico con el propósito de cuantificar el agua infiltrada.

En relación a los mapas que se hicieron, éstos se realizaron de la siguiente manera:

Carta No. 1. ISOYETAS. Esta carta se trazó utilizando los datos de las estaciones meteorológicas registradas hasta el año de 1960. El número de años de servicio de éstas no es el mismo en todas, es decir, algunas tienen menos años de funcionar que otras, ya sea porque empezaron a dar servicio más tarde, porque interrumpieron dicho servicio o bien, porque dejaron de funcionar. De cualquier manera se consideraron los datos de todas las estaciones disponibles para la elaboración de este mapa; se tomaron como buenas las que tuvieron un período de servicio mayor de cinco años, las que tuvieron menos tiempo de funcionamiento, únicamente sirvieron como auxiliares.

Los datos empleados sobre lluvia fueron proporcionados por el Instituto de Geografía de la UNAM.

Carta No. 2. FISIOGRAFIA. Este mapa es la Carta Altimétrica de la República hecha en el Instituto de Geografía de la UNAM (1959). Escala

1:4 000 000. La línea divisoria de las aguas se tomó de la Carta Hidrográfica de la República Mexicana Escala 1:4 000 000, del Ingeniero Alfonso de la O Carreño, publicada en su obra "Las Provincias Geohidrológicas de México", Primera parte. Este mapa tiene por objeto representar la configuración de la República Mexicana y la dirección de las aguas al precipitarse sobre la superficie.

Carta No. 3. GEOLOGIA. Este mapa se hizo tomando como base la Carta Geológica de la República Mexicana, Escala 1:2 000 000 (1960) compilada por el Comité de la Carta Geológica Mexicana. Se agruparon las diversas formaciones de acuerdo con su origen y era geológica.

Carta No. 4. VEGETACION. Es la elaborada por las geógrafas Isabel Lorenzo Villa y Bertha Noemí Pinto Pech.

Carta No. 5. AGUAS SUBTERRANEAS. Esta carta se elaboró con los resultados a los que se llegó en el Capítulo III y con auxilio de los mapas de geología, fisiografía e isoyetas. Se tuvo como modelo la obra "The Occurrence of Ground Water in the United States with a Discussion of Principles", del hidrólogo estadounidense Oscar Edward Meinzer.

Carta No. 6. MANANTIALES Y LINEAS DE MANANTIALES. En este mapa se localizaron la mayor cantidad posible de manantiales, en su mayoría termales ya que son los que están mejor estudiados debido a los beneficios que pueden proporcionar y también porque de ellos son de los que se tiene un registro más completo. Los datos que se utilizaron para la elaboración del mapa fueron tomados de una carta del Departamento de Geología de la Comisión Federal de Electricidad, en el que aparecen los focos termales estudiados por los geólogos H. Alonso Espinosa, Luis F. de Anda y Federico Mosser; además

se agregaron los manantiales que cita el ingeniero Jorge L. Tamayo en su obra "Geografía General de México", Tomo II, que no se menciona en dicho mapa y otros que aparecen en obras de Geografía de diversos Estados consultados para este propósito, que se citan en la bibliografía.

Para hacer más fácil la localización de los manantiales, se consultaron la Carta de Carreteras por Estados, elaborada por la Dirección de Planeación y Programa de la Secretaría de Obras Públicas, actualizada a diciembre de 1963 y el Atlas de la República Mexicana por Estados, hecho en la Dirección de Geografía, Meteorología e Hidrografía de la Secretaría de Agricultura y Fomento en 1946.

En este mapa también se logró trazar las líneas de manantiales tomando en cuenta el aspecto geológico, pues se observa que por lo general, brotan en la zona de contacto de diferentes materiales geológicos.

Carta No. 7. REGIONES VEDADAS PARA EL ALUMBRAMIENTO DE AGUA SUBTERRANEA. Tanto la localización como las fechas en que fueron establecidas estas vedas, fueron proporcionadas por el Departamento de Aguas del Subsuelo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos con lo que se pudo elaborar el mapa correspondiente.

En el capítulo que se refiere a Usos del Agua Subterránea se consultaron otros trabajos en los que aparecen datos de pozos:

Blázquez L., L. Hidrología de las Regiones Desérticas de México, Instituto de Geología de la UNAM. Anales. Tomo XV., México, D.F., 1959.

Herrera G., H. Censo de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en las Sociedades de Crédito Ejidal, 1953, Banco Nacional de Crédito Ejidal, S.A. de C.V., México, 1955.

Mutzenbecher Federico. Los Estudios sobre Recursos Naturales en las Américas. Tomo IV. Estudio Preliminar en México. Primera Parte: Investigación, Hidrología. México 1953, pp. 280-281.

Rodríguez L., A. "Aspects of Development and Use of Ground Water in México", september 1957. (Copia proporcionada por el autor, actualmente Director de la Dirección de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos).

Secretaría de Industria y Comercio. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1960-1961. Dirección General de Estadística, México, 1963. p.402.

Para no alterar la información recibida acerca de los pozos, únicamente se tomaron los datos oficiales obtenidos por el Departamento de Aguas del Subsuelo, que son recientes.

Algunas vedas no se incluyeron en el capítulo referente a los problemas derivados del uso irracional del agua subterránea, debido a que están comprendidas dentro de otras y son:

San Miguel Allende, Guanajuato, establecida el 24 de enero de 1949, queda dentro de la veda de la Zona Norte de Guanajuato; establecida el 7 de febrero de 1958.

Zumpango, Estado de México; establecida el 22 de diciembre de 1949, incluida en la del Valle de México (Distrito Federal y parte de los Estados de México e Hidalgo), establecida el 19 de agosto de 1954.

El Valle de Santo Domingo y la Región Meridional del Territorio de Baja California Sur; establecidas respectivamente el 6 de octubre de 1951 y el 6 de julio de 1954, son regiones que quedan comprendidas dentro de la veda del

Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur (desde el paralelo 28°), establecida el 2 de julio de 1954.

Por otra parte, tal y como lo indica el Artículo Tercero Transitorio de la Ley Reglamentaria del párrafo quinto del Artículo 27 en materia de aguas del subsuelo, se incluyeron dentro de la primera fracción del Artículo 11 las regiones que al decretarse su veda, no se expresó el grupo en el cual quedaban comprendidas:

Cuenca del Río Grijalva; establecida el 19 de octubre de 1957.

Distrito de Riego de Culiacán, Sinaloa; establecida el 26 de noviembre de 1957.

San Juan del Río, Querétaro; establecida el 3 de enero de 1958.

Zona Norte de Guanajuato; establecida el 7 de febrero de 1958.

Distrito de Riego de Sinaloa, Sinaloa; establecida el 14 de noviembre de 1958.

Las vedas se decretan por tiempo indefinido y cuando se dice que una veda fue ampliada, significa que la superficie en la que no se puede perforar para la extracción de aguas subterráneas, es mayor.

Las fotografías incluidas fueron tomadas en su mayoría por la autora del presente trabajo, algunas las proporcionó el Instituto de Geografía de la UNAM y otras fueron tomadas por la señorita Estela Pons, encargada del departamento de fotografía de dicho Instituto.

Con el objeto de complementar la explicación de los términos empleados en este trabajo, se añade en la parte final un pequeño glosario.

Para una mayor información, la autora de este trabajo asistió a un curso intensivo sobre aguas subterráneas para ingenieros postgraduados en la División del Doctorado de Ingeniería de la UNAM del cual se pudieron obtener algunas conclusiones.

INTRODUCCION

— • —

El agua es uno de los recursos naturales renovables más importantes con que se cuenta, pues se ha visto que sin ella sería imposible la vida en la Tierra.

El agua es para el hombre un elemento indispensable no sólo biológicamente hablando sino también para su progreso desde todo punto de vista. La humanidad desde sus albores se ha preocupado por el abastecimiento del agua, en un principio únicamente la buscaba para calmar su sed y refrescar su cuerpo, pero después, a medida que fue evolucionando y fueron aumentando sus necesidades, vió en ella un medio para solucionar sus problemas y así la empezó a utilizar en mayor cantidad para usos domésticos, para la agricultura, en la producción de energía y en la industria. Ejemplo de ello lo dan las civilizaciones que surgieron en las proximidades de grandes abastecimientos de agua, y por su desarrollo ocupan un lugar prominente en la Historia.

Al mismo tiempo que se ha ido multiplicando la población, los usos del agua han ido creciendo, lo cual implica una mayor demanda de este recurso y si estos fenómenos continúan, es probable que en algunos lugares las fuentes de abastecimiento serán más difíciles de alcanzar.

Como consecuencia de esto se ha hecho necesaria la investigación de todos los medios posibles para la obtención de este elemento esencial en nuestro planeta.

Ha habido varias opiniones sobre el tema, unas con cierto fondo de pesimismo y otras francamente optimistas. Algunos autores temen que el agua

llegue a ser insuficiente para satisfacer las necesidades, en cambio otros consideran que las reservas existentes bastarían para la satisfacción de dichas necesidades y suponiendo que no fuera así, piensan que el hombre se enfrentará al problema resolviéndolo de una u otra forma ya que se trata de una etapa más en el progreso de la civilización.

Uno de los estudios de mayor interés es el de la reserva de agua dulce más grande que existe en el mundo, la que se encuentra bajo nuestros pies, es decir, el agua subterránea. Por estar bajo la superficie y no poder ser observada, es difícil hacer su cuantificación, sin embargo, se ha calculado que el volumen total de aguas subterráneas sobrepasa al volumen total de aguas superficiales continentales.

El subsuelo constituye un depósito natural de agua, mejor y mucho más grande que el logrado por las obras de ingeniería hechas para el almacenamiento de las aguas en la superficie; depósito al que se le debe prestar atención porque ahí se ha encontrado el alivio de muchas regiones en las que el agua superficial es escasa.

La importancia de las aguas subterráneas es indiscutible, gracias a ellas muchas regiones del globo han podido ser habitadas y en el futuro se seguirá dependiendo de ellas en un grado mucho mayor por las razones antes expuestas; por tal motivo es de imperiosa necesidad el estudio y la investigación de esta parte de la Hidrología para hacer de ella una explotación racional y provechosa.

Lo principal es saber cómo mejorar el aprovechamiento de este depósito que ofrece la Naturaleza, pues puede suceder que la extracción constante agote el manto de agua subterránea o bien, llegue a bajar el nivel del agua a

una profundidad tal, que resulta incosteable su extracción. Una vez estudiada la situación se puede proceder, según convenga, a la utilización de esta reserva y aún a su incremento.

La importancia del agua del subsuelo es notable en México donde gran parte del territorio carece de aguas superficiales aprovechables debido a su régimen de lluvia; por lo mismo el agua subterránea tiene un papel muy importante. En ocasiones la necesidad del agua ha dado lugar a un aprovechamiento desordenado, lo cual ha causado ciertos daños o está a punto de producirlos. Por estas razones se consideró interesante exponer el tema del agua subterránea en México, desde luego, con un punto de vista geográfico.

El tema se puede tratar desde el punto de vista geográfico ya que atendiendo el concepto de esta ciencia dado por De Martonne se puede afirmar que los factores que facilitan la acumulación del agua subterránea son hechos o fenómenos geográficos, pues la Geografía al estudiarlos se ocupa de su distribución, causas y relaciones entre unos y otros. La combinación de ellos determina la presencia o ausencia del agua subterránea, por lo que al tratarlos geográficamente pueden dar una idea acerca de la existencia del agua del subsuelo en determinado lugar, convirtiendo así el agua subterránea en parte del objeto de estudio de la Geografía en cuanto a su distribución, causas y relaciones con otros hechos y fenómenos geográficos.

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE AGUA SUBTERRANEA

El agua subterránea es la que se encuentra dentro de la litósfera.

A la parte de la Hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas se le ha dado el nombre de Geohidrología, aunque algunos autores también le llaman Hidrogeología.

La Geohidrología estudia el por qué de la presencia del agua subterránea, cómo se efectúa su movimiento, la manera como se distribuye debajo de la superficie de la tierra y su conservación.

Por lo que se refiere a la presencia del agua en el subsuelo se le ha atribuído varios orígenes. En la antigüedad y en la Edad Media se creía que el agua subterránea provenía directamente del mar o bien de la condensación del aire en las cavernas que se suponía existían en el interior de la tierra. Sin embargo, en el siglo I el arquitecto romano Marco Vitruvio Pollio pensó en la existencia del agua subterránea como consecuencia de la infiltración del agua superficial; idea que tiempo después fue secundada por Mariotte, a quien se le considera como el padre de la Hidrología, y por Bernardo Palissy quien afirmó que el agua se infiltraba en el suelo hasta ser detenida por una capa impermeable.

Para el siglo XIX se habían generalizado dos teorías acerca de su origen, por una parte la que suponía que las aguas subterráneas se debían a la condensación del vapor de agua atmosférico en los poros e intersticios de la tierra y grietas de las rocas y por la otra, la que decía que el agua subterránea procedía de la infiltración del agua de las precipitaciones. En la actualidad se ha comprobado que la presencia de la mayor parte del agua subterrá-

nea se debe a la infiltración del agua en el suelo y forma parte del ciclo hidrológico. También hay aguas subterráneas debidas a otros fenómenos, tales como las magmáticas y las volcánicas (aguas juveniles) y las que resultan al quedar atrapadas en los intersticios de rocas sedimentarias en el momento en que se depositan éstas (aguas fósiles), pero su cantidad no es muy considerable en relación con las que provienen de la infiltración.

La infiltración está limitada por ciertos factores como el tipo de rocas, las características geomorfológicas, etc., que se describirán posteriormente al hablar en particular del territorio objeto de estudio, México.

En condiciones normales la distribución del agua en el subsuelo ha sido dividida en dos zonas, la de aereación y la de saturación.

La zona de aereación comprende a su vez tres franjas, la del agua del suelo, la intermedia y la capilar.

En la franja del agua del suelo se encuentran tres tipos de agua:

Agua higroscópica. La que el suelo absorbe de la atmósfera húmeda y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.

Agua capilar. Aquella que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad. Es ésta el agua que aprovechan las plantas para satisfacer sus necesidades.

Agua libre o de gravedad. Es la que se mueve bajo la influencia de gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

Hay ocasiones en que esta franja no existe.

En la franja intermedia el espesor varía desde cero hasta varios metros. Es la que comunica a la franja del agua del suelo con la capilar. El

agua aquí existente se debe a fuerzas higroscópicas y capilares y el agua sobrante se mueve por gravedad.

La franja capilar es una capa humedecida por el agua que asciende de la zona de saturación debido a fenómenos capilares.

Al agua contenida en la zona de aereación se le conoce con el nombre de agua suspendida, ésta es el agua vadosa, es decir, agua infiltrada que se dirige hacia el manto freático.

En la zona de saturación se encuentra el agua subterránea propiamente dicha. En esta región el movimiento del agua es más lento debido a que todos los poros e intersticios se encuentran ocupados por ella, y es de aquí de donde se extrae el agua para los diversos usos que le da el hombre.

La capa saturada es el manto freático, y la parte superior de ésta, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa esta región es la superficie freática, que por lo general sigue débilmente las ondulaciones del terreno. Al agua que llega hasta esta zona le llama agua freática.

La parte inferior de la zona de saturación indica la presencia de una capa impermeable, la cual impide que el agua siga descendiendo.

Puede suceder que haya otras zonas de saturación de menor extensión sobre la principal, en este caso se les llama zonas de saturación colgadas.

El agua se mueve hacia el manto freático por infiltración y el movimiento lento que adquiere al llegar a la zona de saturación se llama percolación.

El movimiento del agua subterránea está controlado por dos fuerzas principales, la de gravedad y la de atracción molecular, interviniendo de manera especial la estructura de las formaciones de rocas.

Las formaciones de rocas según su aptitud para contener y dejar pasar

el agua a través de su masa, reciben distintos nombres:

Acuíferos. Formaciones que permiten al agua moverse a través de ellas bajo condiciones ordinarias y son capaces de suministrarla por gravedad o por bombeo.

Acuicierres. Formaciones capaces de contener agua pero incapaces de trasmitirla en cantidades suficientes como para su captación o manantiales.

Acuífugos. Formaciones impermeables que no absorben ni transmiten agua.

Los acuíferos pueden ser libres y confinados. Los primeros se conocen también como acuíferos no confinados, abiertos, freáticos o no artesianos y son los que se presentan en las condiciones antes indicadas, es decir, cuando el manto freático no está limitado, en la parte superior, por un estrato impermeable. Los acuíferos confinados, también conocidos como artesianos, ocluidos o de presión se tienen cuando el agua subterránea está limitada por un estrato relativamente impermeable. El agua que alimenta a este tipo de acuíferos proviene de un manto en el que el estrato limitante asciende hasta la superficie o termina bajo ella.

Casi siempre sobre el acuífero confinado yace uno no confinado.

Las aguas confinadas o artesianas tienen una presión que las hace subir a un cierto nivel cuando alguna fractura o perforación llega hasta el acuífero confinado. La presión causante de este ascenso es la presión hidrostática y el nivel al cual llegan estas aguas sin ser bombeadas se llama superficie piezométrica o superficie de presión. Cuando la superficie piezométrica queda debajo del terreno se dice que las aguas son ascendentes y cuando queda

arriba de la superficie, las aguas son brotantes. El nivel de un punto cualquiera de las superficies freática y piezométrica, sin haber bombeado el agua, da el nivel estático.

El agua subterránea tarde o temprano sale a la superficie.

1. La que está más cerca del suelo se pierde por evaporación y transpiración.

2. Hay sitios en los que tiene lugar la filtración excurrente que es un movimiento lento del agua subterránea hacia la superficie.

3. Por medio de los manantiales.

4. Mediante la descarga artificial a través de pozos, galerías filtrantes, etc.

Los manantiales son brotes concentrados de agua subterránea que aparecen en la superficie del suelo en forma de corrientes o simplemente como aguas brotantes. No se les debe confundir con la filtración excurrente en la que tiene lugar un escape difuso de agua la cual puede quedar estancada o escurrir, depende de la magnitud de dicho escape.

Los manantiales se clasifican desde diversos puntos de vista como por ejemplo:*

De acuerdo con las aberturas por las que salen, los manantiales pueden ser:

I. Manantiales de filtración. En los que el agua se filtra a través de pequeñas aberturas en material permeable.

II. Manantiales de fractura. Aquellos que brotan por las fisuras en las

* Meinzer, O. E. Outline of Ground Water Hidrology with definitions. pp. 50-55.

formaciones de rocas impermeables.

III. Manantiales tubulares. Las aberturas consisten en canales redondos de disolución o naturales, según el tipo de roca.

De acuerdo con la estructura de la roca:

I. Manantiales debidos a la presión producida sobre el agua por la acción de la gravedad.

1. Manantiales de gravedad. Se deben a un afloramiento del manto freático. Aquí las aguas se filtran de material permeable o corren por grandes aberturas de las rocas bajo la acción de la gravedad.

a. Manantiales de depresión. Cuando el agua fluye a la superficie del material permeable porque la superficie del terreno se prolonga hacia el manto freático.

b. Manantiales de contacto. Cuando el agua sale de un material permeable debido al afloramiento de un material menos permeable o impermeable que retarda o impide la percolación del agua subterránea, por lo que la desvía hacia la superficie.

c. Manantiales tubulares y de fractura.

2. Manantiales artesianos. Aquellos en los que el agua brota por presión hidrostática a través de fisuras que llegan hasta el acuífero confinado.

II. Manantiales debidos a la presión producida por agentes desconocidos que actúan a grandes profundidades dentro de la tierra.

1. Los asociados con el volcanismo.

2. Los asociados con fracturas que se extienden profundamente bajo la superficie.

Con respecto a la cantidad de agua descargada se dice que son fuertes y

débiles o grandes y pequeños pero no se dan límites cuantitativos por lo que Meinzer los ha clasificado por magnitudes de acuerdo con la descarga:

Magnitud	Descarga
Primera	100 pies cúbicos por segundo o más
Segunda	10 a 100 pies cúbicos por segundo
Tercera	1 a 100 pies cúbicos por segundo
Cuarta	100 galones por minuto a 1 pie cúbico por segundo
Quinta	10 a 100 galones por minuto
Sexta	1 a 10 galones por minuto
Séptima	1 pinta por minuto a 1 galón por minuto
Octava	menos de 1 pinta por minuto (180 galones por día)

Por la clase de roca de la que brotan, pueden ser manantiales de caliza, manantiales de lava, etc.

En relación a la permanencia de descarga:

I. Manantiales perennes. Los que descargan continuamente.

II. Manantiales intermitentes. Los que descargan sólo durante ciertos períodos pero en otros tiempos están secos o no existen como manantiales.

El géyser se puede considerar como un tipo especial de esta clase de manantiales en el que la descarga, más o menos en intervalos regulares, se debe a la fuerza de expansión del vapor altamente calentado de origen volcánico.

III. Manantiales periódicos. Los que tienen períodos relativamente grandes de descarga en intervalos más o menos regulares y frecuentes. Casi todos se presentan en terrenos calizos y su acción rítmica se supone que se debe a la existencia de sifones naturales en la roca. Estos manantiales pueden ser perennes o intermitentes.

En relación a la temperatura:

I. Manantiales termales. Aquellos cuyas aguas tienen una temperatura mayor que la media anual de los alrededores.

1. Manantiales calientes. Los que tienen una temperatura mayor que la del cuerpo humano.

2. Manantiales templados. Los que tienen una temperatura menor que la del cuerpo humano.

II. Manantiales no termales.

Los que tienen aguas con temperaturas que se aproximan a las temperaturas medias anuales de la atmósfera del lugar en que existen.

2. Los que tienen aguas frías (manantiales fríos).

Fernández Navarro* clasifica a los manantiales de acuerdo con sus temperaturas en:

Hipotermales	entre la media del punto de surgencia y 35°
Termales	de 35°C a 50°C
Hipertermales	más de 50°C

De la O Carreño** hace la siguiente división:

Escala fija de clasificación de las aguas subterráneas por su temperatura

De 0 a 4°C	muy frías
4 a 12	frías
12 a 15	frescas
15 a 18	normales
18 a 28	hipotermales
28 a 40	mesotermales
40 a 65	termales
Más de 65	hipertermales

Clasificación de las aguas subterráneas por su temperatura respecto a la del lugar de surgencia

Menor en 10°	frías
Igual o con \pm 10° de diferencia	normales
Mayor en 10°	termales

*Citado por De la O Carreño, A. en Las Provincias Geohidrológicas de México, Primera Parte. pp. 70-71.

** De la O Carreño, A. op. cit. pp. cit.

Los manantiales también pueden dividirse de acuerdo con las características topográficas que producen:

I. Los que descargan desde profundas hoyas, tal vez relacionadas con fallas (pool springs).

II. Los que al descargar precipitan, en parte o completamente, la materia mineral cuyas aguas llevan en solución formando un montículo, el que también se puede formar por la vegetación o con los sedimentos transportados por el viento (mound springs).

Las aguas subterráneas y en este caso las de los manantiales, pueden ser duras o suaves según los minerales que llevan en solución.

"La dureza del agua se toma en grados hidrométricos: un grado hidrométrico equivale a 10 miligramos de CaCO_3 por litro, o sean 10 partes por millón.

"Desde el punto de vista del grado hidrométrico se consideran los siguientes límites en relación con la pureza del agua:

	Dureza en grados	
	Total	Permanente
Muy dura	5 a 15	2 a 5
Potable	15 a 30	5 a 15
Sospechosa	30 a 100	15 a 20
Mala	más de 100	más de 20

Dureza total. La que presenta el agua natural
Dureza permanente. La que presenta después de hervirla.

La dureza de las aguas se debe principalmente a las sales de calcio y magnesio.

También se puede hablar en el valor del pH que es un "índice de acidez

* Ibid. p. 73.

o alcalinidad del agua; un pH igual a 7 indica que el agua es neutra o normal; un pH mayor de 7 indica alcalinidad y por último, si es menor que esta cifra indica acidez".*

Los manantiales con aguas minerales suelen ser de carácter medicinal.

La descarga artificial del agua subterránea se efectúa a través de excavaciones hechas por el hombre. Antes de hacerse estas excavaciones se requiere un estudio de la región con el objeto de ver si hay la posibilidad de encontrar agua aprovechable.

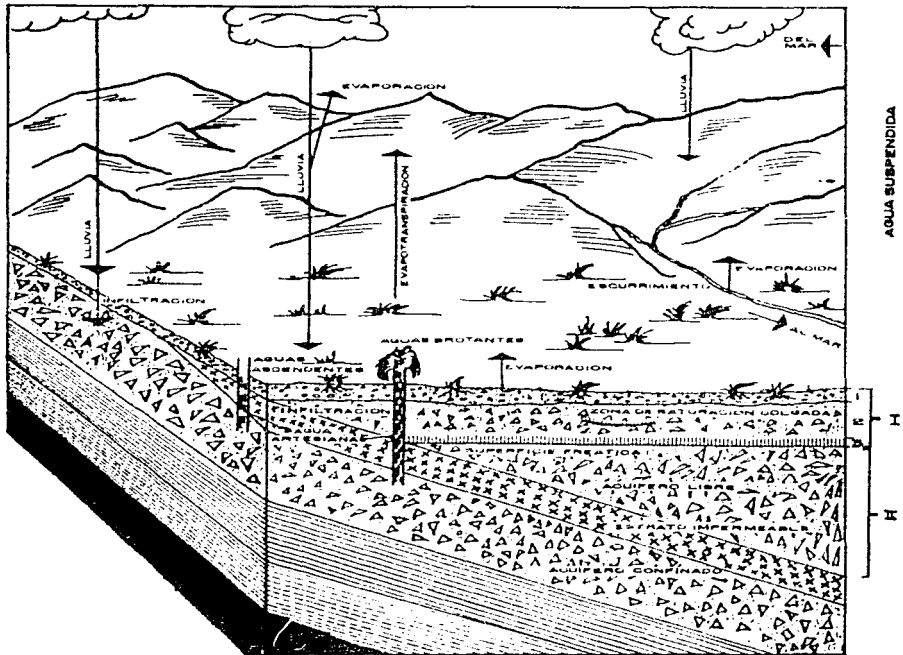
La localización del agua subterránea en tiempos antiguos, la realizaban los llamados buscadores de agua, individuos que por medio de ciertos instrumentos hacían creer que podían encontrar el agua en el subsuelo; también se inventaron aparatos con el mismo propósito. El medio seguro en la búsqueda de aguas subterráneas es el conocimiento estructural de la litosfera en la zona que se desea perforar, para esto se cuenta con métodos modernos de investigación, algunos de ellos son los geofísicos, los geológicos y la interpretación de fotografías aéreas. Una vez conocida la región se puede proceder, si conviene, a la excavación. Comunmente la extracción de agua subterránea se hace por medio de pozos que son desde muy simples, hasta los construídos con maquinaria moderna y cuya profundidad puede ser de unos cuantos metros hasta varios cientos de metros. Sin embargo, existen otras formas de alumbramiento, como por ejemplo, los famosos canales subterráneos (kanats), construídos en las zonas áridas del Viejo Mundo, las galerías filtrantes, etc.

La extracción artificial del agua subterránea puede llevar al agotamiento de los receptáculos naturales, por lo que son necesarias medidas de pro-

*Ibid.

tección y conservación. Dentro de la protección entra la explotación racional de este recurso y en la conservación, se incluye además de la protección, los procedimientos para incrementar las reservas de agua subterránea tales como la construcción de pozos de recarga en los que el agua se mueve en dirección opuesta a los pozos ordinarios, con objeto de depositar el agua en un manto permeable y así aumentar el caudal de dichas reservas; también hay las planicies de inundación en las que el agua se infiltra y va a enriquecer el manto freático. Entre los métodos naturales que ayudan a la conservación del agua subterránea, está el de mantener, donde se pueda, una cubierta vegetal con objeto de incrementar la infiltración, esto se refiere también al cuidado del suelo ya que sin él no hay vegetación de donde se deduce que la conservación del suelo es la conservación del agua subterránea.

EL AGUA SUBTERRANEA COMO PARTE DEL CICLO HIDROLOGICO



DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUBSUELO

- I ZONA DE AERACION
 - I- FRANJA DEL AGUA DEL BUELO
 - a) Agua higroscopica
 - b) Agua capilar
 - c) Agua libre o de gravedad
 - II FRANJA INTERMEDIA
 - a) Agua higroscopica
 - b) Agua capilar
 - c) Agua libre o de gravedad
 - III FRANJA CAPILAR
- II ZONA DE SATURACION

AGUA SUSPENDIDA (VADOZA)
 AGUA FREATICA

MANANTIALES

EN RELACION A LAS ABERTURAS POR LAS QUE SALEN

MANANTIALES DE FILTRACION
MANANTIALES DE FRACTURA
MANANTIALES TUBULARES

DE ACUERDO CON LA ESTRUCTURA DE LA ROCA

DEBIDOS A LA PRESION PRODUCIDA SOBRE EL AGUA POR LA ACCION DE LA GRAVEDAD

MANANTIALES DE GRAVEDAD

MANANTIALES DE DEPRESION
MANANTIALES DE CONTACTO
MANANTIALES TUBULARES Y DE FRACTURA

MANANTIALES ARTESIANOS

DE ACUERDO CON LA CLASE DE ROCA POR LA QUE BROTA

DEBIDOS A LA PRESION PRODUCIDA POR AGENTES DESCONOCIDOS

ASOCIADOS CON EL VULCANISMO
ASOCIADOS CON FRACTURAS QUE SE EXTIENDEN PROFUNDAMENTE BAJO LA SUPERFICIE

POR LAS CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS QUE PRODUCEN

MANANTIALES DE CALIZA

MANANTIALES DE LAVA, ETC.

LOS QUE DESCARGAN DESDE HOYAS PROFUNDAS (POOL SPRINGS)

LOS QUE AL DESCARGAR PRECIPITAN LA MATERIA MINERAL FORMANDO UN MONTICULO (MOUND SPRINGS)

POR LA CANTIDAD DE MINERALES DISUELTOS

MANANTIALES MINERALES

MANANTIALES NO MINERALES

DE ACUERDO CON LA DESCARGA

PRIMERA MAGNITUD
SEGUNDA MAGNITUD
TERCERA MAGNITUD
CUARTA MAGNITUD
QUINTA MAGNITUD
SEXTA MAGNITUD
SEPTIMA MAGNITUD
OCTAVA MAGNITUD

EN RELACION A LA PERMANENCIA DE DESCARGA

MANANTIALES PERENNES
MANANTIALES INTERMITENTES
MANANTIALES PERIODICOS

EN RELACION A LA TEMPERATURA

MANANTIALES TERMALES

MANANTIALES CALIENTES

MANANTIALES TEMPLADOS

MANANTIALES NO TERMALES

CON TEMPERATURA APROXIMADA A LA MEDIA ANUAL
MANANTIALES FRIOS

CAPITULO II
PRINCIPALES FACTORES CONDICIONANTES
DE LA PRESENCIA DEL AGUA SUBTERRANEA

La presencia del agua dentro de la litosfera está condicionada por ciertos factores que pueden facilitarla o impedirla. Entre los más importantes se encuentran la precipitación, la fisiografía, las formaciones de rocas (geología) y la presencia o ausencia de vegetación, incluyendo aquí el factor suelo.

A continuación se da una descripción general de los factores antes mencionados, en la República Mexicana, con objeto de apreciar posteriormente de manera aproximada las condiciones en que se encuentra nuestro territorio para el almacenamiento del agua en el subsuelo.

PRECIPITACION

Teniendo en cuenta que la mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de las aguas superficiales y que éstas proceden de la precipitación, es interesante analizar cómo se distribuye ésta en el territorio nacional.

En la República Mexicana la mayor parte de la precipitación es pluvial y su distribución es bastante irregular dada la situación geográfica y la orografía del país.

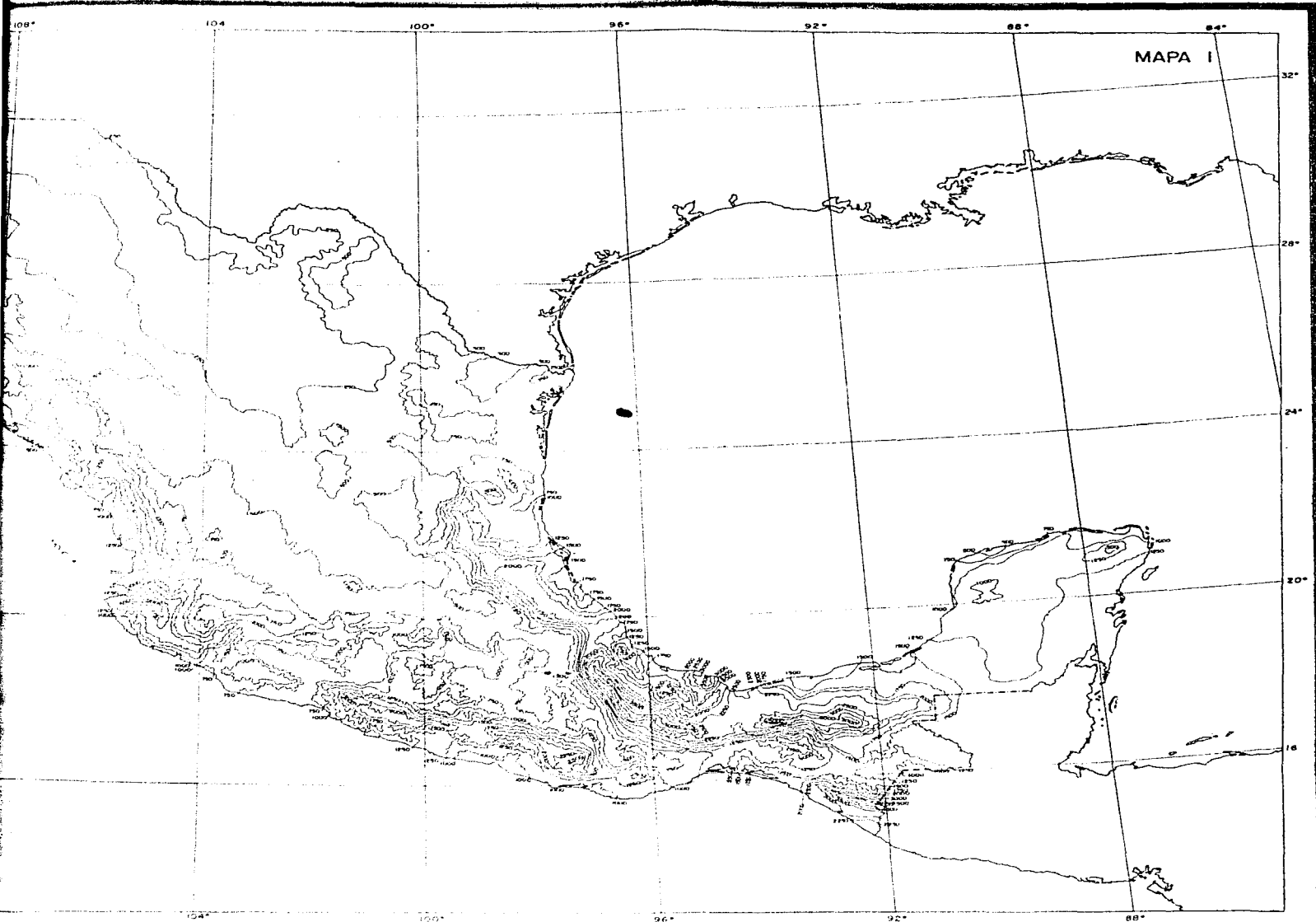
México se encuentra localizado, con respecto a la circulación general de la atmósfera, dentro de la influencia de la primera y segunda celdas meteorológicas. En el verano el ecuador térmico sufre un desalojamiento hacia el norte y como consecuencia las lluvias producidas por las calmas ecuatoriales afectan al centro y sur del país teniendo lluvias abundantes en esta estación. En invierno el desalojamiento del ecuador térmico es en dirección



PROYECCION CILINDRICA CONFORME DE LAMBERT

ESCALA 1:500,000

MAPA I



sur, por tal motivo la segunda celda viene a ocupar parte de nuestro territorio produciendo lluvias en la parte Noroeste de la República, nevadas en el Norte y los famosos nortes o masas de aire frío que invaden la zona costera del Golfo de México, llegándose a sentir su influencia en todo el país.

Los fenómenos provenientes de la circulación general de la atmósfera son en parte modificados por la circulación regional, la cual está representada por los monzones y los ciclones tropicales, meteoros característicos de zonas tropicales, afectando por lo tanto a México.

Las masas de aire originadas por el desarrollo de los monzones de verano se dirigen del mar hacia el continente cargados de humedad, éstas al ser interceptadas por las sierras, ascienden y depositan su humedad en los declives llegando con menos intensidad a la Altiplanicie.

Los ciclones tropicales que invaden nuestro territorio se originan en los mares tropicales del Atlántico del Norte y en regiones también tropicales del Océano Pacífico correspondientes al sur y oeste de México. Por lo general afectan la parte este y sureste del país y las costas occidentales, incluyendo el extremo sur de la península de Baja California. Estos ciclones tienen lugar a fines de verano y durante el otoño. Cabe agregar que a ellos se debe la mayor parte de la lluvia en nuestro país.

Las cadenas montañosas del territorio mexicano actúan como barreras e impiden que las lluvias originadas por la circulación regional lleguen de una manera más efectiva a la Altiplanicie de México, pues poco se deja sentir su influencia, sobre todo en la región del Norte. Sin embargo, existe otro tipo de fenómenos que pueden originar precipitaciones, éstos son los de la circulación local, como la brisa de mar, la de valle y la convección

local. Las lluvias producidas por estos fenómenos tienen lugar más bien en verano ya que en otras épocas el contraste de temperatura no es tan marcado o no hay la suficiente humedad.

Por lo visto anteriormente se puede decir en general, que México tiene un régimen de lluvias de verano y observando la carta No.1 de isoyetas elaborada por la sustentante para este trabajo, se notó una disminución en la cantidad de lluvia hacia el norte del país; además de la influencia que ejercen las montañas en la distribución de la precipitación. Más o menos a partir del Trópico de Cáncer, en las zonas montañosas y en sus respectivos declives exteriores, se ve que los meteoros acuosos producidos por los diversos tipos de circulación atmosférica descargan su humedad, alcanzando la lluvia una altura aproximada de más de 2000 mm., notándose una mayor cantidad de lluvia en la región del Golfo de México debido a que aquí se acentúan más, tanto los monzones como los ciclones tropicales, en cambio en la región norte la lluvia es de menos de 500 mm., teniendo una precipitación inferior a 50 mm. en la zona del río Colorado.

En el centro del país la cantidad de lluvia varía entre 500 mm. y más de 1000 mm., en las zonas de mayor altitud. En el sur y sureste de la República donde llueve durante todo el año, la altura de la lluvia llega a ser en algunos lugares superior a 3500 mm. En la península de Yucatán como consecuencia de su escaso relieve, la lluvia alcanza una altura aproximada de 1000 mm. anuales.

En la península de Baja California se observa una mayor cantidad de lluvia en el noroeste, debido a la invasión de la segunda celda meteorológica en invierno, y en el sur por la influencia de los ciclones tropicales. En

el resto de la península donde la cantidad de lluvia es alrededor de 100 mm., así como en la parte septentrional del país se ve que la lluvia es bastante escasa por la influencia de las calmas tropicales, y lo sería aún más si no fuera por la influencia de los ciclones tropicales.

Viendo la distribución de la lluvia, es lógico suponer que donde hay más precipitación, la infiltración será mayor pero para comprobarlo es necesario analizar otros factores.

FISIOGRAFIA

La fisiografía es un factor relacionado notablemente con la distribución de la lluvia como se hace notar en la explicación referente a la precipitación en el país y más objetivamente, en la carta de isoyetas.

Este aspecto interesa a la Hidrología tanto superficial como subterránea ya que el relieve da lugar a la formación de las cuencas hidrológicas, indicando así el camino que seguirá el agua al caer a la superficie.

Por lo que se refiere a la Geohidrología es importante porque según la forma del terreno, el agua tendrá mayor o menor oportunidad de infiltrarse y además, porque el agua ya infiltrada va a seguir una trayectoria determinada por dicho factor; así, en una región montañosa la pendiente del terreno por una parte, dará más facilidad al agua para escurrir que para infiltrarse y por otra, el agua que llegue a la zona de saturación tendrá un movimiento hacia las zonas más bajas, ya sea directamente al mar o a regiones en donde por tener una pendiente menor, el movimiento del agua sea más lento y facilite su acumulación, o también, según la constitución del terreno, puede salir como manantiales en las laderas de las montañas, lo cual es muy fre-

cuente; en cambio en una zona más o menos plana, el agua tendrá mayor oportunidad de infiltrarse, asimismo es más probable encontrar depósitos mayores de agua subterránea ya que ahí se tiene el agua infiltrada de la lluvia de la región a parte del agua que se desaloja de regiones montañosas vecinas.

De cualquier manera, aunque el agua no se infiltra al tocar la superficie, su escurrimiento en forma de ríos influye en el aumento de agua del subsuelo, pues parte del agua que llevan logra infiltrarse a través del material que se encuentra en sus valles y aún puede suceder que después encuentren un terreno favorable para perderse bajo él y convertirse en mantos subterráneos. Los lagos influyen de igual manera que las corrientes fluviales, pues parte de su agua se infiltra en el suelo.

La configuración del territorio mexicano da lugar a una división tal que permite la formación de cuencas exorreicas y endorreicas perteneciendo en el primer caso, a la vertiente exterior y en el segundo a la vertiente interior. México cuenta con dos vertientes exteriores, la del Golfo de México y la del Océano Pacífico, y una vertiente interior.

Entre las penínsulas, están la de Yucatán que tiene relieve de llanuras y carece de hidrología superficial, dada la constitución del terreno calizo que la forma, y la península de Baja California dividida por las sierras que la atraviesan de tal manera, que las aguas van a dar por un lado, al Golfo de California y por el otro, al Océano Pacífico. En esta zona la lluvia es muy escasa y está muy mal repartida en las diferentes épocas del año, por lo que el carácter de los escasos ríos es torrencial.

A las penínsulas y a algunas cuencas interiores se les considera regione,

arreicas debido a que no tienen un drenaje superficial definido. La península de Baja California y las cuencas interiores así consideradas, deben su condición a la escasez de lluvia, mientras que la península de Yucatán a la estructura geológica.

Al resto del país lo cruzan varios sistemas montañosos. La Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental con una dirección general de NW a SE. La Sierra Volcánica Transversal localizada más o menos a lo largo de la falla de los 19° de latitud norte, con una dirección de oeste a este. La Sierra Madre del Sur orientada de NW a SE y que a su vez es una prolongación del geoanticlinal de Baja California.

En el Istmo de Tehuantepec el relieve disminuye para después elevarse nuevamente en terrenos correspondientes al Estado de Chiapas donde se continúan la Sierra Madre del Sur con el nombre de Sierra Madre de Chiapas, y la Sierra Madre Oriental como Sierras y Mesetas Septentrionales de Chiapas.

Limitada por la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental y la Sierra Volcánica Transversal al sur, se extiende la Altiplanicie Mexicana, formada por extensas mesetas que llegan hasta la frontera con Estados Unidos.

La Altiplanicie se encuentra atravesada por numerosas sierras de poca elevación y además la atraviesa un conjunto de sierras desde Durango, incluyendo las de Zacatecas, Guanajuato, Gorda, Real del Monte y Pachuca hasta llegar al Estado de Puebla.

De esta manera la Altiplanicie Mexicana queda dividida en dos porciones por las montañas antes mencionadas, las que a su vez se encuentran

subdivididas en otras mesetas.

Al sur de la Sierra Volcánica Transversal y limitada por el declive norte de la Sierra Madre del Sur se localiza la Depresión del Balsas, continuación del sistema de sinclinatorios al que pertenece la depresión que forman el Golfo de California y las llanuras de Sonora, Sinaloa y Nayarit.

Entre la Sierra Madre de Chiapas y las Sierras y Mesetas Septentrionales de Chiapas se encuentra la llamada Depresión Central de Chiapas que corresponde al sistema de sinclinatorios al que pertenece la Depresión del Balsas.

Por otra parte están las regiones costeras del país; en la región oriental se extiende la llanura costera del Golfo de México cuyo relieve va en descenso del pie de la sierra hasta el litoral. Esta llanura se continúa en la península de Yucatán, hacia el norte se encuentra interrumpida por la Sierra de Tamaulipas y en el centro, por la región volcánica de Los Tuxtlas. En la zona occidental la llanura costera sólo se extiende en los Estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit ya que hacia el sur las sierras se aproximan mucho al litoral dejando una llanura mucho muy reducida y en ocasiones ninguna.

En la península de Baja California la parte occidental tiene llanura costera, pero la oriental carece de ella.

Viendo la configuración del país en el mapa No. 2 se nota cómo el relieve da lugar a las diversas vertientes. La línea divisoria de las aguas, que da lugar a las vertientes exteriores, viene desde el SE sobre la Sierra Madre de Chiapas, sigue hacia el NW atravesando la región del Istmo, una parte de la Sierra Madre Oriental y una parte de la Sierra Volcánica Trans-

versal hasta que a la altura de las sierras transversales se bifurca yendo una rama por la Sierra Madre Occidental y otra por la Sierra Madre Oriental, de tal manera que la región comprendida entre ellas, en parte corresponde a una vertiente interior.

También se forman cuencas endorreicas dentro de las vertientes exteriores, estas se encuentran en los Estados de Jalisco, Michoacán, Puebla, Chihuahua y Sonora. Algunas de las cuencas de este último Estado ocupan parte del vecino país.

Esta disposición del relieve, aunada a la cantidad de lluvia, permite suponer, de manera general, la distribución y movimiento de los recursos hidrológicos superficiales y subterráneos en el territorio mexicano, aunque estos últimos no con mucha precisión ya que se requiere de otros factores para señalar la posibilidad de encontrar agua en el subsuelo.

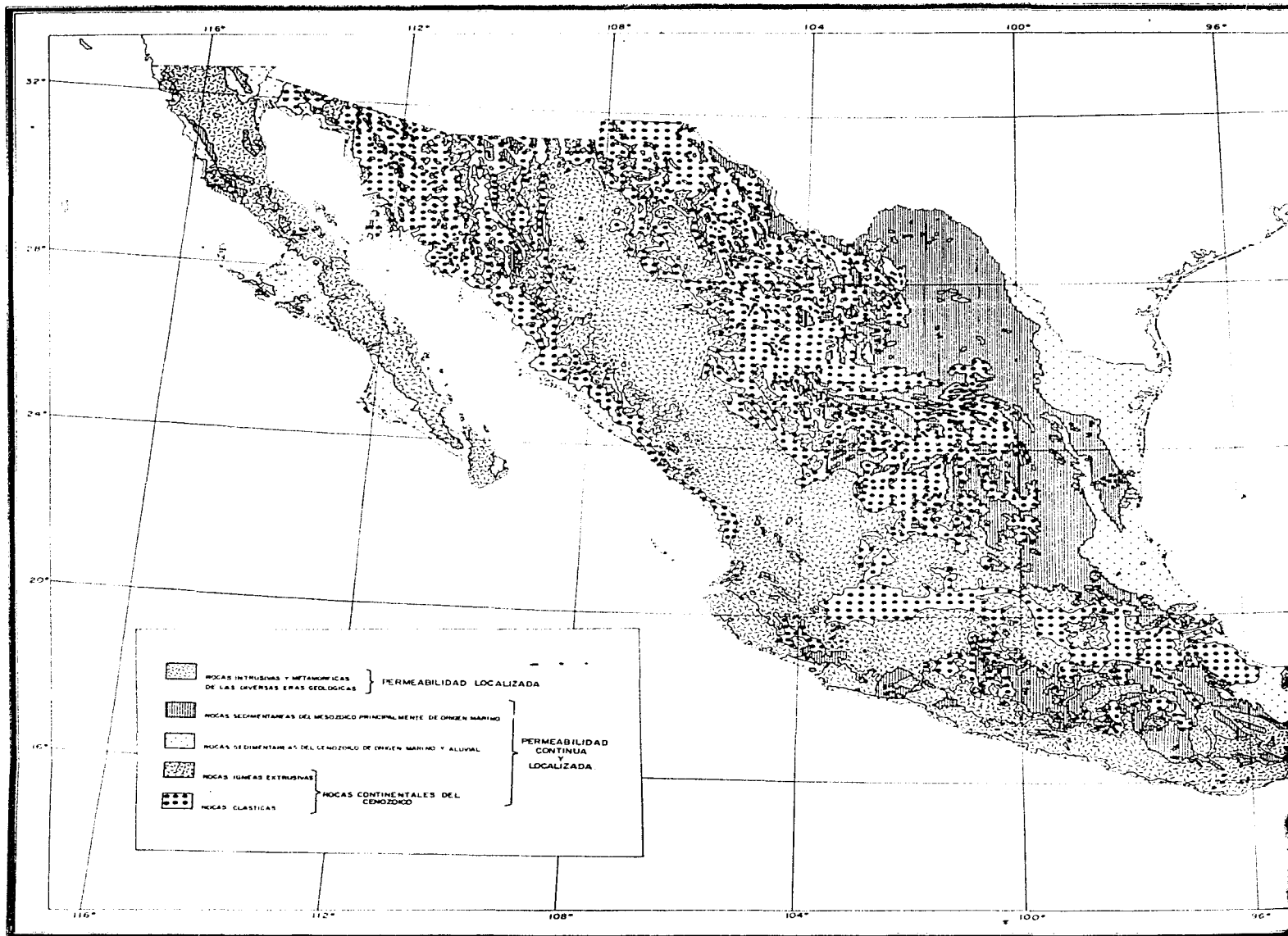
GEOLOGIA

El aspecto geológico desempeña un papel muy importante en la Geohidrología ya que, como se dijo antes, depende de la estructura de las formaciones de rocas que el agua pueda pasar o no al subsuelo.

Las diferentes formaciones de rocas poseen ciertas propiedades que son definitivas para poder constituir buenos acuíferos. Estas propiedades son la porosidad y la permeabilidad.

La porosidad es la particularidad que tienen las rocas de contener intersticios y su valor se da en porcentaje que indica el volumen de la roca ocupado por dichos intersticios. Se ha considerado que una porosidad inferior al 5%

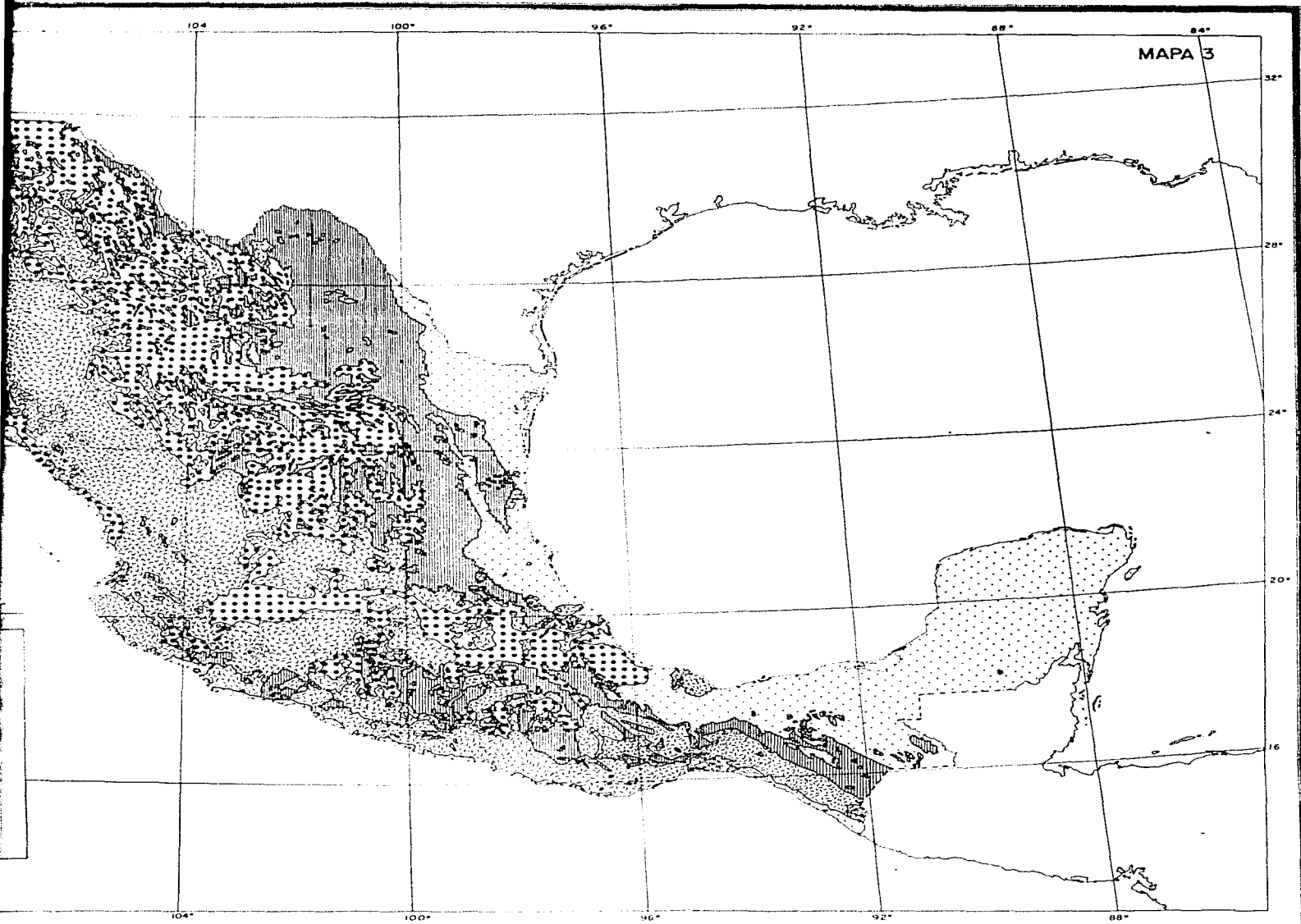
GEOLOGIA



PROYECCION CONICA CONFORME DE LAMBERT

ESCALA GRAFICA
0 50 100 200 300 400 KM

GEOLOGIA



ESCALA GRAFICA
0 50 100 200 Kilómetros

FUENTE: CARTA GEOLOGICA DE LA REPUBLICA MEXICANA (Escala 1:2000000)
1960

es baja, entre el 5% y el 20% es media y más del 20% es alta.

La permeabilidad es la facilidad que tienen las rocas para dejar pasar el agua a través de sus intersticios. Se han diferenciado dos clases de permeabilidad, la permeabilidad continua o en pequeño, que es aquella que se presenta cuando los poros e intersticios están comunicados entre sí y la permeabilidad localizada o en grande, que se presenta cuando el agua se infiltra a través de fisuras y grietas de las rocas.

Como se ve, no basta que las rocas o formaciones de rocas tengan un alto porcentaje de porosidad sino además es necesario que sus poros estén intercomunicados.

A continuación se dan unos datos de porosidad de varias rocas y suelos compilados por M. L. Fuller:*

	Porcentajes		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Granito, esquisto y gneis	0.20	0.56	0.16
Obsidiana			0.52
Arenisca	4.81	28.28	15.89
Cuarcita			0.80
Pizarra	0.49	7.55	3.95
Caliza, dolomita y mármol	0.53	13.36	4.85
Gis			53.00
Yeso	1.32	3.96	2.64
Arena (uniforme)	26.00	43.00	35.00
Arena (mixta)	35.00	40.00	38.00
Arcilla	44.00	47.00	45.00
Suelos	45.00	65.00	55.00

* Citado por Meinzer, O.E., Ground Water in the United States. p. 10

En cuanto a la permeabilidad Thurman da la siguiente tabla de permeabilidad relativa:*

Rocas permeables	Muy permeables	lavas cavernosas, basaltos, traquitas muy agrietadas, gravas, arenas gruesas, lapilli.
	Permeables	arenas puras finas, conglomerados, areniscas, calizas no muy agrietadas.
	Poco permeables	gravas con arcillas interpuestas, margas, calizas margosas, gredas o arcillas silíceas.
Rocas impermeables	Impermeables	pizarras cristalinas, areniscas antiguas, cuarcitas, calizas cristalinas, calizas compactas no cavernosas.
	Muy impermeables	granitos y rocas en masa, pizarras arcillosas, gneiss, arcillas, margas, gredas muy arcillosas.

Como se puede observar en la tabla anterior, las rocas sedimentarias son las más apropiadas para ser buenos acuíferos, puesto que tienen más permeabilidad, aunque cuando se encuentran muy compactas se convierten en acuífugos, pero en general se considera a las rocas sedimentarias las de más valor geohidrológico.

Entre las rocas ígneas las extrusivas son las más permeables, como por ejemplo los derrames de lava que contienen cavernas y los basaltos que son bastante porosos.

Son rocas impermeables las ígneas intrusivas, las metamórficas y en general las sedimentarias antiguas. Hay que recordar que la referencia a estas rocas es en cuanto a su permeabilidad continua o en pequeño.

* Citado por De la O Carreño, A., en Las provincias Geohidrológicas de México. pp. 55-56.

Las rocas impermeables por naturaleza o por encontrarse muy consolidadas, pueden tener permeabilidad localizada o en grande; ésta generalmente se encuentra en las formaciones de gran antigüedad ya que han estado más expuestas a la acción de la intemperización; esta permeabilidad localizada se debe a fracturas de diferentes dimensiones o a canales de solución producidos por la acción disolvente del agua en rocas que contienen minerales solubles.

En México la distribución y origen de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, varía de acuerdo con la era geológica en que se produjeron.

En cuanto a las rocas ígneas, que son las más abundantes en nuestro país, las hay extrusivas e intrusivas de diversas eras geológicas.

Por lo que se refiere a las rocas sedimentarias, pueden ser de origen continental o de origen marino.

Si se observa el mapa No. 3 de las formaciones geológicas, es posible darse cuenta de que las rocas continentales ocupan gran parte del país: una gran extensión de la Sierra Madre Occidental, puede decirse que casi la totalidad de la Altiplanicie Mexicana, parte de la Sierra Madre Oriental y desde luego la Sierra Volcánica Transversal. También hay formaciones continentales en la parte sur en Oaxaca, en parte de la Depresión del Balsas y en pequeñas regiones de las Sierras Septentrionales de Chiapas. En Baja California Sur cubren las sierras del territorio con excepción de las de la parte más meridional; en el Estado de Baja California sólo abarcan algunas zonas pequeñas.

Las regiones antes mencionadas están constituidas principalmente por rocas sedimentarias clásticas y por rocas ígneas. Las rocas sedimentarias están formadas en su mayoría por fragmentos de rocas volcánicas piroclás-

ticas, aunque también hay otros tipos de rocas sedimentarias. Las rocas ígneas comprenden en general rocas volcánicas, predominando las basálticas y andesíticas.

En conjunto, las rocas volcánicas efusivas ocupan más bien las partes positivas del relieve, encontrándonos con que las regiones más o menos planas están cubiertas por fragmentos de estas rocas, producidos por la erosión, dando lugar a la formación de rocas sedimentarias.

Así la Sierra Madre Occidental está en su totalidad cubierta por rocas volcánicas, predominando las andesíticas, la Sierra Volcánica Transversal se encuentra formada de rocas andesíticas, riolíticas y basálticas y la región transversal que atraviesa la Altiplanicie está constituida por conos volcánicos formados en su mayoría de rocas andesíticas, en cambio las regiones vecinas de menor altitud, reciben los productos de erosión de éstas, y en este caso se encuentran las diversas mesetas de la Altiplanicie Mexicana, las llanuras de Sonora, Sinaloa y Nayarit, parte de la Depresión del Balsas y otras.

Estos depósitos continentales tuvieron lugar en la era cenozoica y por su edad y composición se encuentran, en parte, consolidados.

Una roca sedimentaria muy extendida en el país es la caliza que corresponde a diferentes eras geológicas. Las calizas del paleozoico y mesozoico son más compactas que las del cenozoico. Las del paleozoico por su antigüedad están algo metamorfoseadas y se localizan principalmente en los Estados de Sonora y Chiapas, casi en los límites con Guatemala.

Las rocas del mesozoico son predominantemente sedimentarias, abundando entre ellas las calizas. A fines de esta época se empezó a formar la:

Sierra Madre Oriental y por lo tanto está constituida casi toda por esta clase de rocas. Las calizas de esta era geológica ocupan también gran parte de la Depresión del Balsas, extensas zonas de las Sierras Septentrionales de Chiapas y de la Depresión Central de Chiapas, pequeñas partes en el occidente de la península de Baja California y pequeñas localidades del noroeste y oeste del país.

La Altiplanicie Mexicana es una región formada durante la era mesozoica, pero posteriormente fue cubierta por las rocas denudadas de las montañas circundantes y ahora las rocas de esta era, aparecen principalmente en la parte este de dicha región.

Las calizas del cenozoico se localizan principalmente en la península de Yucatán, región peculiar en la que no existe hidrología superficial precisamente por su constitución geológica, en la que ha intervenido además, el tiempo, pues es mucho más reciente y las rocas no se encuentran tan consolidadas.

Las regiones costeras de México pueden considerarse constituidas por material poco consolidado, su formación es principalmente de origen marino y su desarrollo tuvo lugar en el cenozoico. En estos terrenos hay depósitos aluviales, los cuales son favorables para la infiltración.

También pueden considerarse como aluviales los terrenos antes ocupados por la región lacustre de la cuenca del Valle de México.

Las rocas que no poseen mucho valor geohidrológico, como son las masas ígneas y las rocas metamórficas ya mencionadas, se localizan en la mayor parte de la península de Baja California, en regiones de la Sierra Madre Occidental, en casi toda la Sierra Madre del Sur y en la Sierra Madre de

Chiapas.

En vista de que grandes porciones del territorio mexicano están constituidas por rocas ígneas y sedimentarias, se hará una breve descripción del comportamiento del agua subterránea en ellas.

Agua subterránea en terrenos de rocas ígneas. Las corrientes basálticas son por lo general bastante permeables, encontrándose en éstas, manantiales de grandes dimensiones. Las rocas piroclásticas constituyen buenos acuíferos siempre y cuando no se encuentren muy consolidadas. las rocas de esta clase, impermeables por naturaleza, casi siempre se encuentran fracturadas, y aunque no se les tiene como buenos acuíferos permiten el paso del agua al subsuelo, pudiendo salir posteriormente a través de manantiales o aún ser alumbradas de manera artificial.

Agua subterránea en terrenos sedimentarios. Estos como ya se sabe, son los mejores para la acumulación del agua subterránea, puesto que por sí mismos son bastante permeables, excepto cuando se encuentran muy consolidados.

La caliza, una de las rocas sedimentarias más abundantes, se comporta de modo especial cuando se pone en contacto con el agua. Mucho cuenta la edad y composición de esta roca en cuanto a su valor geohidrológico; la caliza antigua es más compacta, por lo que no tiene permeabilidad continua, sin embargo puede encontrarse fracturada o bien, como es una roca altamente soluble, casi siempre el agua con su acción disolvente, la convierte en permeable, cavando en ella canales a través de los cuales se mueve para después brotar en forma de manantiales o desembocar directamente en el mar.

Si la caliza es reciente tiene tanto permeabilidad continua, como locali-

zada, no existiendo entonces hidrología superficial, ya que el drenaje se convierte en subterráneo; con las zonas de roca caliza está asociado el paisaje kárstico.

Hay diferentes clases de caliza, de acuerdo con su composición, pero en general ésta es afectada por la acción del agua en la manera antes descrita.

Otras formaciones sedimentarias en las que el agua se acumula, son los valles de los ríos donde se encuentra material no consolidado, a través del cual el agua se infiltra, aumentando así el caudal de agua subterránea (agua subálvea), y lo mismo sucede en los fondos de los lagos.

El agua también encuentra facilidad de infiltrarse en las mesetas y llanuras que se originan por el depósito de materiales derivados de la erosión de las zonas montañosas. Estas regiones por lo general no se encuentran muy consolidadas por el hecho de que siempre están en proceso de formación, gracias al acarreo y depositación de los diversos agentes de erosión. A este tipo de morfología corresponde la Altiplanicie Mexicana y las regiones de llanuras costeras. Estas últimas están formadas en parte por el levantamiento de los terrenos marinos y en otra por el material denudado de las sierras.

Se llaman aguas subterráneas fósiles a las aguas que se acumularon en algunas formaciones geológicas del pasado cuando existía un clima más húmedo u otras condiciones, ahora ausentes, que permitieron su almacenamiento.

Estas aguas tienen gran importancia, aunque muchas veces se les explota sin tener en cuenta su origen, provocando su agotamiento como está sucediendo en regiones del norte de nuestro país.

Tomando en cuenta el panorama geológico general de México se puede

decir que muchas de las rocas de la era cenozoica, por ser de formación más o menos reciente tendrán, principalmente, permeabilidad continua.

En las rocas de las eras mesozoica y paleozoica la permeabilidad de las diversas formaciones será menor debido a su antigüedad y por lo mismo a su compactación. Desde luego corresponden a este tipo de permeabilidad las rocas ígneas intrusivas y las metamórficas de todas las eras geológicas.

VEGETACION

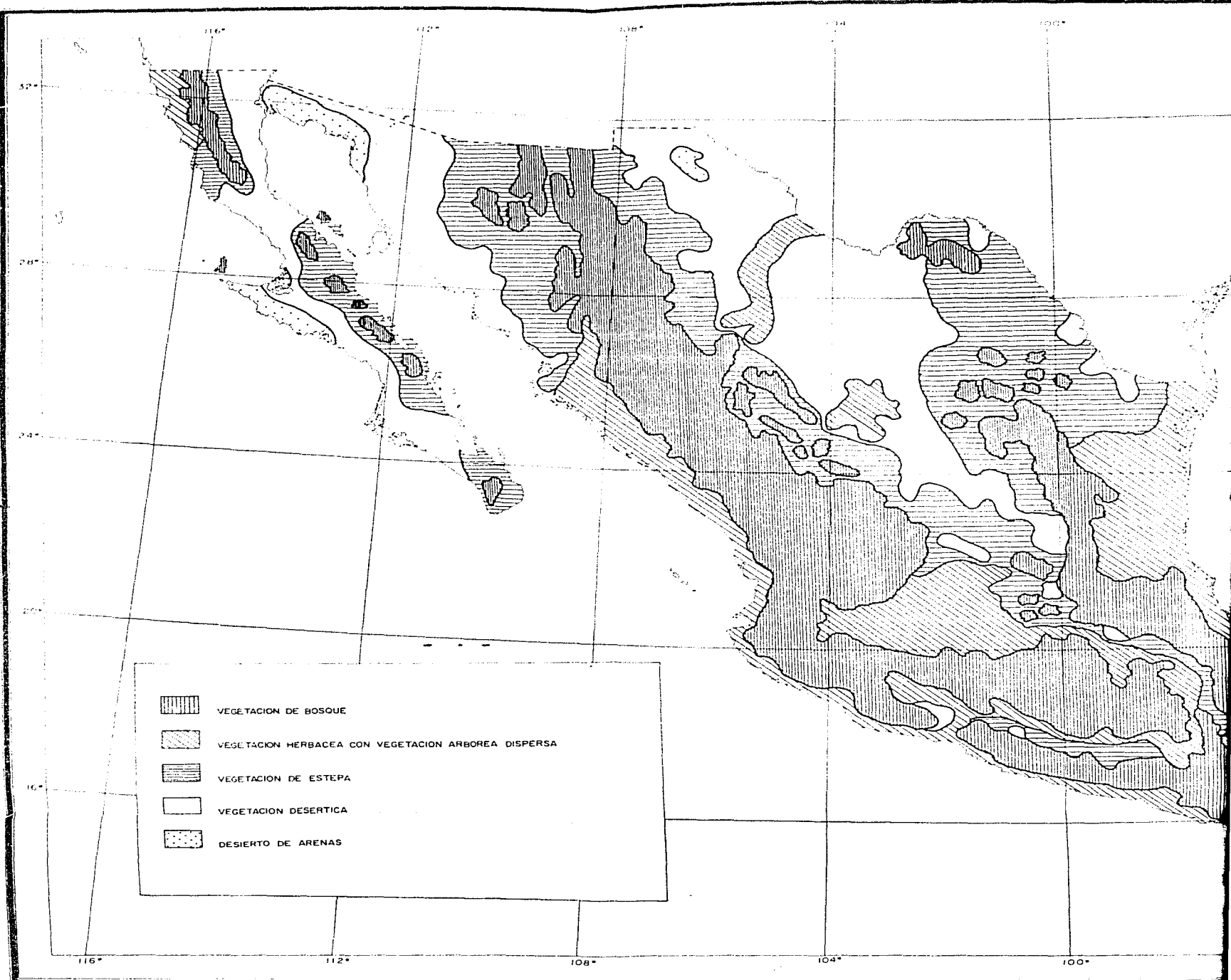
La vegetación es un factor que influye en la infiltración y que por lo tanto contribuye al incremento del agua subterránea.






Se ha dicho que la vegetación, sobre todo si es de tipo boscoso, aumenta la cantidad de lluvia de la región en que se encuentra, pero más bien es la ausencia de vegetación la que favorece el desarrollo de fenómenos locales de convección que a su vez dificultan las lluvias.

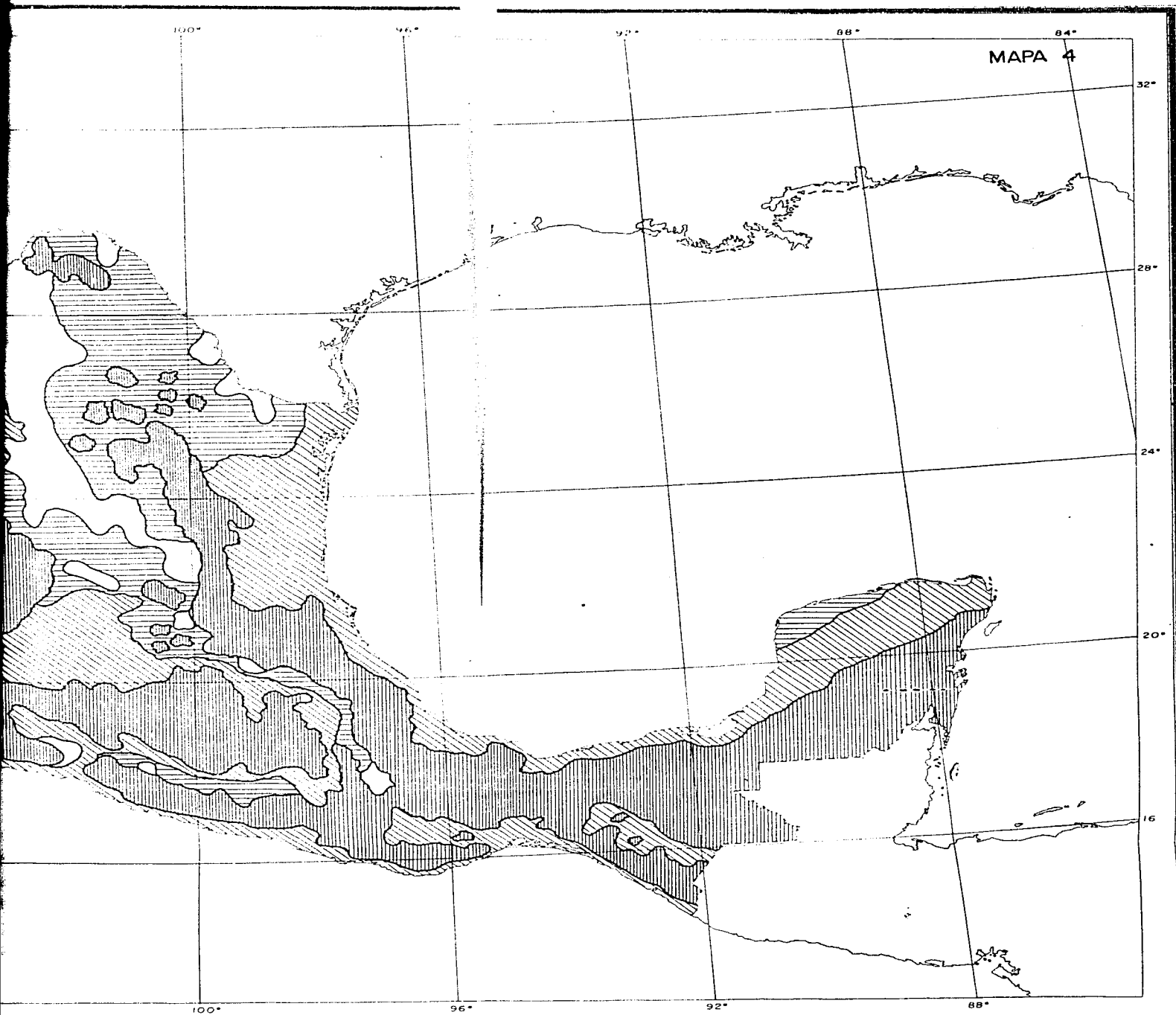
Independientemente de la cantidad de lluvia que puede precipitarse en una zona con cubierta vegetal, puede afirmarse que la influencia de ésta es benéfica desde otros puntos de vista.

Al mencionar los principales factores condicionantes de la presencia del agua subterránea se incluyó dentro de la vegetación, al factor suelo. La razón de ello es que el suelo geohidrológicamente hablando está estrechamente relacionado con la cubierta vegetal. Las raíces de las plantas y los animales propios del suelo, lo horadan haciéndolo más poroso y dándole así oportunidad al agua para pasar a través de él.

La vegetación puede facilitar la infiltración aun en los suelos duros y arcillosos. En general la mayoría de los suelos son bastante porosos, por lo



-  VEGETACION DE BOSQUE
-  VEGETACION HERBACEA CON VEGETACION ARBOREA DISPERSA
-  VEGETACION DE ESTEPA
-  VEGETACION DESERTICA
-  DESIERTO DE ARENAS



ESCALA GRAFICA
0 50 100 150 200 250 300 350 400 km

FUENTE: LORENZO V. I. Y PINTO P. N. CARTA DE VEGETACION NATURAL DE MEXICO

que M.L. Fuller les da una porosidad media de 55%, como puede observarse en el cuadro relativo a la porosidad de diversas rocas, al tratar el aspecto geológico.

Por otra parte, al abordar el tema acerca de la morfología se vió cómo influyen las formas del terreno en la infiltración y el movimiento de los mantos de agua subterránea. Se dijo que en un terreno inclinado al agua le es más fácil escurrir que infiltrarse; sin embargo, cuando una región en estas condiciones está cubierta de vegetación, el humus, las ramas o troncos que se caen y las raíces de los árboles forman una especie de esponja y de red que absorbe y retiene el agua que cae, y en vez de escurrir a manera de torrentes, se infiltra y el suelo se conserva protegido, pero cuando está desprovisto de una cubierta vegetal, el agua que escurre será mayor que la de infiltración y por lo tanto el escurrimiento desnudará el suelo de manera más o menos lenta pero constante, convirtiéndolo en improductivo desde todos puntos de vista.

El tipo de cubierta vegetal más indicado para la protección de los suelos con pendiente, es el bosque, es decir, la vegetación arbórea, ya que posee una constitución más firme y el desarrollo de sus raíces alcanza mayores profundidades, logrando detener el suelo de una manera más efectiva.

Las regiones que se encuentran en las condiciones antes descritas corresponden a las zonas montañosas, las cuales precisamente por su altitud o por su latitud, tienen el tipo de vegetación natural requerido.

En especial se ha hecho referencia a las regiones que tienen pendiente, como son las zonas montañosas, debido a que es en ellas donde el escurrimiento del agua tanto superficial como subterránea, es más pronunciado y porque son las regiones llanas las que van a sufrir las consecuencias producidas por

las condiciones en que se encuentren las regiones montañosas ya mencionadas; es decir, una llanura o meseta próxima a un terreno inclinado cubierto por vegetación, va a recibir los beneficios correspondientes que en este caso son la existencia de mantos de agua subterránea que provienen de la infiltración de agua en las zonas montañosas y de las corrientes fluviales que se pueden utilizar con diversos fines. De lo contrario cuando una llanura o meseta está situada cerca de un terreno inclinado sin vegetación, sufrirá los perjuicios consiguientes, como son la gran profundidad a la que se localiza el agua subterránea, el cegamiento de manantiales y en cuanto a las corrientes superficiales, se producirán serias inundaciones.

El mapa No. 4, en el que se representa la vegetación, muestra lo anteriormente expuesto, es decir, cómo los bosques cubren las sierras o bien ocupan zonas más o menos sin relieve, debido a que el clima así lo permite, principalmente en lo que respecta a la precipitación.

Las Sierras Madres están cubiertas por bosques, los cuales también ocupan las laderas, extendiéndose más en los declives exteriores debido a que es mayor la cantidad de precipitación. La Sierra Volcánica Transversal se encuentra en igual situación, lo mismo que las sierras de las zonas septentrional y meridional de Baja California, los sistemas montañosos de Puebla y Oaxaca, la Sierra Madre del Sur y las sierras del Estado de Chiapas.

Las regiones de escaso relieve en las que se encuentra vegetación boscosa se localizan hacia el sur o en las zonas costeras en donde el clima permite su desarrollo.

Claro está que el tipo de bosque varía con la altitud y la latitud pero para el presente trabajo es suficiente considerar en conjunto el bosque ya sea

tropical, templado o de coníferas, pues lo que interesa es la vegetación arbórea.

Por lo que respecta a la vegetación que se desarrolla en las regiones de menos relieve, es de importancia porque las mantiene protegidas de la erosión y además le da al suelo mayor posibilidad de absorber el agua. Esta vegetación varía de acuerdo con la cantidad de precipitación, pues en donde hay bastante lluvia es más cerrada y aporta mayores beneficios en lo que al agua subterránea se refiere, y donde casi no llueve, la vegetación llega a convertirse en xerófita o a desaparecer.

Otra ventaja que presenta la cubierta vegetal, ya sea en zonas llanas o con pendiente, es la de disminuir la evaporación, lo cual ayuda a aumentar el agua disponible para infiltrarse. En un terreno desprovisto de vegetación el agua del suelo cercana a la superficie, sufre mayor evaporación, lo cual retarda o impide su llegada al manto freático; en una superficie con vegetación, sobre todo si es arbórea, existe doble protección, pues por un lado retiene el agua y facilita su paso al subsuelo, y por el otro el follaje de los árboles ofrece una sombra que evita que los rayos del sol toquen el suelo y por lo tanto la pérdida de agua por evaporación.

En la vegetación de las zonas de escaso relieve son de interés los pastizales, ya que contribuyen grandemente a la protección del suelo, tanto de la erosión como de la evaporación del agua de lluvia que reciben, causas por las que deben conservarse, sobre todo en el norte del país, y aún cultivarse, pues además constituyen una valiosa fuente para el desarrollo de la ganadería.

La mejor manera de aumentar la infiltración y de convertir a los suelos

impermeables en permeables es evitando la deforestación o cuando se trate de terrenos cultivados, llevar a cabo prácticas de conservación del suelo, las cuales en la mayoría de los casos consisten en mantenerlo cubierto de vegetación y en la construcción de obras destinadas a impedir la pérdida de agua y por lo tanto el deslave del suelo.

En México el problema en lo que respecta al factor vegetación es la gran deforestación que se hace con el objeto de emplear el suelo con fines agrícolas, actividad en la que no se tiene, en la mayoría de las veces, el cuidado de proteger debidamente el suelo. Por esta causa se han cegado muchos manantiales, ha bajado su caudal o sólo descargan en la época de lluvia..

El factor vegetación a la vez que sirve para ayudar a una mayor infiltración, es un elemento esencial en la conservación de los recursos hidráulicos y edafológicos, por lo que se hace doblemente importante y necesario fijar en él mucha atención.

En lo que respecta al factor vegetación es interesante hacer alusión a la existencia de ciertos tipos de plantas que se alimentan del agua subterránea, que no pertenecen a un género o familia en especial, sino que su única característica en común, es que satisfacen sus necesidades extendiendo sus raíces hasta el manto freático. A este grupo peculiar de plantas se les ha dado el nombre de freatofitas.*

Las freatofitas dada su característica especial, pueden servir como indicadoras de la presencia de agua subterránea e inclusive de la calidad de la misma. Hay algunas de ellas que indican la presencia del manto freático a po-

*Meinzer, O.E. Plants as indicators of Ground Water.

cos metros bajo la superficie; en cambio otras pueden extender sus raíces para alcanzar el agua a gran profundidad, siendo éstas de un tamaño menor y de consistencia más raquílica que las que se desarrollan donde el manto freático está cercano a la superficie. en cuanto a la calidad del agua hay unas plantas freatofitas que son bastante tolerantes al agua mineralizada, en cambio otras no lo son.

Este tipo de vegetación suele presentarse en las márgenes de los ríos y es propia de regiones semiáridas puesto que aquí es donde el agua es escasa.

Las freatofitas han venido a constituir un problema serio porque es muy grande la cantidad de agua que utilizan y que por lo tanto se desperdicia por la evapotranspiración, pero no es conveniente eliminarlas por completo precisamente porque protegen el suelo de la erosión; sin embargo, se han ideado otros medios para evitar la salida del agua subterránea, de esa manera, es decir, por la evapotranspiración.

En seguida se da una clasificación de algunas plantas freatofitas como indicadores de la cercanía a la superficie, del manto freático y de la calidad del agua.*

Cercanía del manto freático a la superficie:

1. Washingtonia filamentosa. (Palmas) a unos cuantos pies.
2. Phragmites communis. No tiene nombre vulgar en español; en inglés corresponde al giant reed grass. Extiende sus raíces hasta una profundidad aproximada de 8 pies. Existe en Sotolamarina, Tamaulipas, y Villa Unión, Sinaloa.

*Meinzer, O.E. Op. Cit.

3. Elymus condensatus. No tiene nombre vulgar en español; en Estados Unidos es el giant wild rye. Extiende sus raíces hasta 12 pies. La hay cerca de Tijuana, Baja California, sobre dunas.

4. Distichilis spicata. Su nombre vulgar en inglés es salt grass. Sus raíces llegan hasta los 12 pies. Tiene una amplia distribución en casi toda la República, ejemplo: Mexicali, Baja California; Lago Texcoco; Tlanepantla, Estado de México; Progreso, Yucatán; Durango, Durango; Bahía de San Carlos, Sonora; noroeste de Tamaulipas, etc.

5. Salix. Nombre vulgar sauce. Extiende sus raíces hasta los 12 pies.

6. Eragrostis obtusiflora. Su nombre vulgar en inglés es mexican salt grass. Sus raíces llegan hasta los 12 pies de profundidad y se encuentra al norte del país.

7. Chrysothamnus graveolens. En Estados Unidos se le llama rabbit bush. Sus raíces alcanzan una profundidad de 2 a 15 pies y se localiza en el norte de México.

--

8. Allenrolfea occidentalis. Su nombre vulgar es hierba de burro. Sus raíces alcanzan 20 pies o más de profundidad. Es abundante en suelos salinos: Cuatro Ciénegas, Coahuila; Matehuala, San Luis Potosí; Bahía Magdalena, Baja California; Laguna Madre, Tamaulipas, etc.

9. Pluchea sericea. Su nombre vulgar es cacharilla. Sus raíces llegan hasta los 20 pies o más, se le halla en el norte de México.

10. Prosopis juliflora. (Mezquite). Sus raíces llegan hasta los 50 pies o más.

11. Medicago sativa. Su nombre vulgar es alfalfa; puede desarrollar sus raíces hasta los 65 pies de profundidad.

Calidad del agua:*

Los árboles y arbustos que crecen en regiones húmedas con frecuencia indican la existencia de agua de buena o mala calidad. Entre las plantas indicadoras de la calidad del agua pueden mencionarse las que siguen:

1. Los sauces, fresnos, álamos indican agua buena.
2. El Mezquite por lo general indica agua buena.
3. Las Palmas indican agua de calidad dudosa.
4. El Distichlis spicata, salt grass, indica agua muy mineralizada; sin embargo, el agua más profunda puede ser de mejor calidad.

Es conveniente indicar que en las regiones áridas existe otra clase de plantas, las cactáceas, que están acondicionadas de tal manera al clima se-co que no necesitan mucha agua del suelo, pues presentan ciertas adaptaciones que les facilitan el almacenamiento de agua y la reducción de la transpiración, con lo que logran subsistir en la época de sequía.

Como antes se dijo, el agua subterránea forma parte del ciclo hidrológico, proviene de la infiltración del agua que se precipita sobre la superficie, por lo que los factores antes expuestos se refieren únicamente a este aspecto del ciclo hidrológico, es decir, cuando se trata de agua disponible a la que los factores mencionados: lluvia, fisiografía, geología y vegetación, permiten o no dicha infiltración.

Cierto es que las demás fases del ciclo hidrológico originan según su intensidad, una disminución o aumento de la cantidad de agua disponible para la infiltración.

* Buena o mala desde el punto de vista mineral.

Así en un lugar en el que las condiciones son favorables para que exista una gran evaporación, la cantidad de agua susceptible de escurrimiento e infiltración, será menor y en una zona en la que las condiciones sean más propicias para un mayor escurrimiento, habrá menor evaporación e infiltración o bien, en otros lugares en los que el agua puede infiltrarse fácilmente, se reducirá la cantidad de agua evaporada y escurrida.

De cualquier manera, la fase del ciclo hidrológico que más afecta a la circulación del agua, es la evaporación, pues es la que determina una mayor pérdida de agua.

Pero estas consideraciones más bien tendrían que ser tratadas en caso de que el objetivo fuera hacer una evaluación de los recursos hidrológicos y en el presente estudio sólo se trata de establecer una distribución geográfica del agua subterránea, de acuerdo con los principales factores que intervienen en la infiltración, fuente esencial de su origen; sin embargo, en el capítulo siguiente se darán algunos datos numéricos acerca del ciclo hidrológico.

El factor precipitación sí es necesario incluirlo, cualquiera que sea el estudio hidrológico que se efectúe, puesto que de él depende el agua con que se cuenta en una región dada.

CAPITULO III

CONDICIONES GENERALES DEL TERRITORIO
MEXICANO PARA EL ALMACENAMIENTO DEL
AGUA SUBTERRANEA

Es difícil determinar la distribución del agua subterránea puesto que es frecuente que cuando se excava puede obtenerse agua; además en algunos lugares se encuentra cerca de la superficie, en otros está bastante profunda, a veces es abundante y otras escasa, pero casi siempre se encontrará; sin embargo, si se considera que las condiciones varían en cada lugar de acuerdo con la superficie de recarga, con el movimiento del agua y con la utilidad económica que de ella se puede hacer, sí resulta posible determinar la distribución de las aguas del subsuelo.

Combinando los factores analizados en el capítulo anterior, se ha hecho una división del país en regiones geohidrológicas.

Para hacer esta división se adoptó la idea del autor estadounidense Oscar Edward Meinzer* quien ha dividido el territorio de Estados Unidos en provincias geohidrológicas tomando en cuenta principalmente la geología. En este caso se consideraron principalmente la constitución geológica, la fisiografía y la precipitación pluvial y de ese modo resultaron 14 regiones geohidrológicas en territorio mexicano.

ZONA NORTE DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA. Las formaciones geológicas corresponden en su mayor parte a rocas de permeabilidad continua nula, y son las que forman las sierras de la región; por otra parte son escasas las llanuras costeras en la región del Golfo de California y las situadas en el Océano Pacífico no son muy amplias; sin embargo, en la parte occidental la geología constituida por rocas sedimentarias facilita una ma-

*Meinzer, O.E. The Occurrence of Ground Water in the United States with a Discussion of Principles.

yor infiltración, pues la región situada hacia el Golfo de California se encuentra ocupada principalmente por rocas impermeables. El hecho de que las formaciones geológicas sean impermeables, no significa que no dejen pasar el agua, puesto que por sus fracturas puede infiltrarse, pero en comparación son menos propias para ello.

De acuerdo con esto la posibilidad de la existencia de grandes reservas de agua subterránea en la zona norte de la península de Baja California, son escasas excepto en la región costera del Pacífico en donde existen corrientes de agua y ésta es más fácilmente absorbida.

La realimentación de los acuíferos existentes en la región se lleva a cabo muy lentamente, ya que la lluvia es escasa.

Por otra parte, dado que se trata de una región de vulcanismo, existen manantiales termales.

ZONA CENTRAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA. Las condiciones para la infiltración de acuerdo con los factores considerados, son mejores que en la provincia anterior.

Las sierras están formadas en gran parte por material ígneo extrusivo y las llanuras por terrenos sedimentarios que absorben el agua con facilidad.

Existe una llanura costera occidental y la oriental es demasiado estrecha en donde se presenta..

Esta parte central es donde se encuentran las mejores condiciones geohidrológicas de la península. Las sierras volcánicas actúan como regiones alimentadoras de los acuíferos de la costa occidental. El agua que aquí se encuentra, dada la homogeneidad del material geológico, es más bien de carácter freático, aunque puede haber estratos menos permeables que den lugar a

acuíferos confinados.

Esta provincia se abastece esencialmente de agua subterránea, la cual proviene de los terrenos sedimentarios ya mencionados. La lluvia es escasa por lo que la realimentación de los mantos subterráneos es lenta.

Aquí el terreno absorbe el agua fácilmente pero la dificultad para su almacenamiento es la poca cantidad de precipitación que corresponde a la región.

ZONA SUR DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA. La mayor parte de esta provincia está ocupada por material intrusivo y por lo tanto relativamente permeable y poco propicio para el almacenamiento del agua en el subsuelo; sin embargo, las poblaciones aquí localizadas se abastecen de ella. La lluvia es más abundante aquí que en el resto de la península.

ALTIPLANICIE DEL NORTE Y LLANURAS DE LA COSTA NOROESTE DEL PACIFICO. Esta provincia comprende la mayor parte de la Altiplanicie Mexicana y la región costera norte del Pacífico y se caracteriza por ciertas variantes de los factores determinantes de la acumulación de agua.

Las formaciones geológicas son sedimentarias y se trata con frecuencia de terrenos aluviales que han sido depositados por corrientes superficiales, pero a pesar de ello se encuentran algunos estratos que son impermeables, debido a que las rocas que los componen están cementadas o muy consolidadas, por su composición o por su edad respectivamente.

La lluvia es bastante escasa por lo que se puede considerar que en esta provincia la mayor parte del agua subterránea corresponde a mantos que proceden de regiones de mayor altitud, y por lo mismo de una precipitación superior, que actúan como zonas de recarga.

El agua que se infiltra directamente en la región es poca y más bien pertenece a terrenos bajo la influencia de los ríos que por allí corren.

Por lo que se refiere a las condiciones en que se encuentra con respecto a las diversas formaciones geológicas, puede decirse que por tratarse éstas de material heterogéneo, en cuanto a consolidación y cementación, hay acuíferos freáticos y confinados.

En esta provincia es indispensable este recurso natural, pues gracias a él se han podido desarrollar en varios lugares actividades tan importantes como la agricultura, además de que sirve para abastecer a las poblaciones aquí localizadas.

SIERRA MADRE OCCIDENTAL Y SIERRAS TRANSVERSALES DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA. Las rocas volcánicas de estas regiones facilitan el paso del agua al subsuelo pero dada la topografía de la zona el agua no se acumula sino más bien sigue su curso hacia los lugares bajos del lado de la Altiplanicie y hacia la llanura costera del Pacífico, de manera que actúa como zona de realimentación.

Esta circunstancia da lugar a una serie de manantiales en la zona de contacto entre el material sedimentario y el volcánico que forma esta provincia, ejemplo de ello es el nacimiento del río Tepic afluente del río Santiago, cuyas aguas provienen de varios manantiales de la parte sur del Estado de Nayarit, y el río Zula afluente del sistema fluvial Lerma-Santiago que nace por el escurrimiento de varios manantiales que brotan en las sierras transversales de la Altiplanicie.

LLANURAS COSTERAS DE SINALOA Y NAYARIT Y PARTE DE SONORA. Corresponde a una porción del territorio formada por depósitos aluviales que

absorben el agua de lluvia, pero por otra parte tiene la contribución de los mantos acuíferos provenientes de la Sierra Madre Occidental, de manera que las condiciones para la presencia de agua subterránea son buenas. Esta es una región favorable para hacer un uso combinado del agua subterránea y la superficial debido al régimen pluvial.

SIERRA MADRE ORIENTAL Y ZONA NORESTE DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA. Esta sección del país está constituida por terrenos del cretácico, formados por rocas sedimentarias principalmente calizas.

La infiltración es de mayor importancia que en la Sierra Madre Occidental y en las sierras que atraviesan la Altiplanicie, pues aún cuando está constituida por terrenos de más antigüedad, el valor geohidrológico de las rocas que la componen, es más importante tomando en cuenta a las calizas que, a pesar de estar más compactas y ser diferentes a las de Yucatán, son afectadas por el agua, formando en ellas cavernas de disolución.

La lluvia es suficiente y el agua infiltrada en la Sierra Madre Oriental corre principalmente hacia la llanura costera del Golfo de México y en pequeña proporción a la Altiplanicie, por lo que se considera como una fuente de realimentación.

El noreste de la Altiplanicie es una región excelente para el almacenamiento del agua subterránea.

Dada la constitución de esta provincia, son frecuentes los manantiales de contacto en las laderas de la sierra como por ejemplo el ojo de agua El Salto, que brota en el Estado de Nuevo León y da lugar al río Sotolamarina y el río Mante afluente del Tamesí que nace en un afloramiento de agua subterránea en el sitio llamado El Nacimiento.

LLANURA COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO. Los acuíferos aquí localizados corresponden a terrenos sedimentarios especialmente aluviales provenientes de la denudación de la Sierra Madre Oriental y son alimentados tanto por la lluvia de la región como por los mantos subterráneos de la sierra. Sin embargo es una zona relativamente favorable para el almacenamiento de agua subterránea porque la roca basal es más bien impermeable, de manera que los acuíferos corresponden a los terrenos formados por los ríos que por ahí corren.

SIERRA VOLCANICA TRANSVERAL Y SUR DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA. En esta provincia se localiza la Sierra Volcánica Transversal y una serie de mesetas que corresponden a la parte sur de la Altiplanicie, limitadas por estribaciones de dicho sistema montañoso y del conjunto de sierras volcánicas que se hallan a lo largo de la Altiplanicie en los Estados de Durango, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Puebla.

El material que constituye las sierras de esta provincia es volcánico de tipo basáltico principalmente, y el relleno de las mesetas es de rocas clásticas formadas gracias a la erosión de las zonas montañosas.

La lluvia es en general abundante y la infiltración se efectúa tanto en las planicies como en las montañas.

Los acuíferos se encuentran en los lugares de poca pendiente que reciben además el agua subterránea que desciende de los lugares más altos y de mayor inclinación.

Esta realimentación ha disminuído notablemente en los últimos tiempos debido a la gran deforestación de que ha sido objeto esta provincia.

Dada la composición geológica de las sierras y de las partes llanas, los

manantiales son abundantes en las zonas de contacto entre el material volcánico y el sedimentario; así se origina el río Lerma en las inmediaciones de Almoloya del Río, por manantiales de contacto que brotan entre las lavas basálticas del Monte de las Cruces y el material de relleno del Valle de Toluca; el río San Juan afluente del Santiago que nace en el manantial conocido como Agua Azul en la ciudad de Guadalajara, el río Cupatitzio, afluente del Tepalcatepec, que debe su origen al manantial que brota en la población de Uruapan; el río Tarecuato formador del río Tepalcatepec, cuyo nacimiento se debe a la unión del escurrimiento de varios manantiales localizados al norte de Tarecuato.

Dentro de esta provincia se encuentran las lagunas de Cempoala, que reciben alimentación subterránea y el lago Pátzcuaro que también recibe aportaciones subterráneas.

Por otra parte están los exmanantiales que surten a la ciudad de México que brotaban al pie de las sierras volcánicas. En estos exmanantiales, debido a la deforestación y el bombeo excesivo, su cuantioso caudal ha desaparecido.

En esta región, por ser de carácter volcánico, se concentran los manantiales termales, los cuales brotan, igual que los fríos, en la zona de contacto de las diferentes clases de material.

La explotación del agua subterránea en esta región se ha hecho más necesaria a causa del desarrollo industrial y el aumento de población como se observa en el Valle de México.

SIERRA MADRE DEL SUR Y ZONAS COSTERAS DE JALISCO, MICHOACAN, GUERRERO Y OAXACA Y EL ESTADO DE COLIMA. Se trata de una superficie de relieve complicado cuya geología es en su mayor parte poco propi-

cia para permitir la presencia del agua subterránea.

La mayoría de las formaciones geológicas son metamórficas e intrusivas por lo tanto impermeables y se extienden hasta las zonas costeras. La llanura costera es muy angosta o bien hay lugares en que no existe.

Se puede considerar que es más fácil encontrar agua subterránea en las mesetas situadas entre las zonas montañosas que sirven de regiones alimentadoras y en los valles de los ríos que por aquí corren.

En general las condiciones no son muy buenas para encontrar agua subterránea

DEPRESION DEL BALSAS - TEPALCATEPEC. Pertenece a la cuenca del río Balsas. En esta región la lluvia es mayor a medida que se asciende a las partes más altas de la cuenca y además son diversas las formaciones geológicas que la ocupan.

Esta provincia está limitada por el declive sur de la Sierra Volcánica Transversal y por el declive norte de la Sierra Madre del Sur, por lo que sus principales componentes son las rocas volcánicas y las intrusivas y metamórficas respectivamente, aunque también afloran grandes porciones de rocas del cretácico en regiones que son de menor altitud.

Con respecto a la infiltración, ésta es en mayor cantidad en la zona correspondiente a la Sierra Volcánica Transversal, porque en la Sierra Madre del Sur, por estar constituida por rocas intrusivas y metamórficas, las rocas son impermeables.

Esta región tiene el agua procedente del declive sur de la Sierra Volcánica Transversal y en menor proporción la proveniente de la Sierra Madre del Sur, además de la infiltración del río que corre en esta región.

Las posibilidades de agua subterránea en esta zona, dada la constitución del terreno, son buenas en algunos lugares y malas en otros.

En la porción de esta región cubierta por rocas del cretácico, han tenido lugar fenómenos propios de los terrenos calizos, así se han formado las famosas Grutas de Cacahuamilpa y el Lago Tequesquitengo, que recibe alimentación subterránea.

ZONA SURESTE DE MEXICO. En esta región aunque el agua en el subsuelo parece ser abundante, en realidad no lo es, pues la saturación del terreno que da lugar a los pantanos característicos de esta zona, representa una limitación en la infiltración, lo cual quiere decir que las formaciones de rocas que yacen bajo la gran llanura aluvial no tienen una buena permeabilidad, lo que impide al agua descender a niveles inferiores y como consecuencia una gran parte de ella se evapora.

No es una zona muy buena para el almacenamiento del agua subterránea porque la infiltración no es muy efectiva y la evaporación es intensa de manera que el manto freático no tiene un espesor de importancia.

SIERRA MADRE Y ZONA COSTERA DE CHIAPAS. Esta es la región en la que se registra la cantidad más grande de lluvia en la República; sin embargo, la infiltración no es muy efectiva ya que predominan los terrenos impermeables salvo en la llanura costera en la que es por lo tanto mayor y donde se acumula el agua en el subsuelo, por lo que la presencia del agua subterránea en abundancia no es fácil.

Los manantiales de contacto son frecuentes por la composición geológica de la región.

PENINSULA DE YUCATAN. Esta es una zona muy especial en el territo-

rio mexicano y reúne las condiciones óptimas para la presencia del agua subterránea, de manera que la geohidrología tiene una gran significación.

En general el relieve no sobrepasa a los 200. m. de altitud, y el componente principal del terreno es la roca caliza que por su edad y composición es fácilmente afectada por el agua y no permite que haya un drenaje superficial, ya que el agua al ponerse en contacto con ella la disuelve; a causa de esto la hidrología es esencialmente subterránea.

La lluvia es abundante pero aún cuando no lo fuera, la poca que cayera sería absorbida debido a la clase de roca que ocupa esta región.

Es característica la morfología de esta península debido a la hidrología y constitución geológica, las cuales producen ciertos efectos en el terreno, convenientes de señalar.

La disolución de la roca caliza es la causa de todas las formas del terreno allí existentes que reciben diversos nombres de acuerdo con el proceso de su formación.

La acción del agua del subsuelo da lugar a cavernas subterráneas y a oquedades en el terreno, producidas por el hundimiento de los techos de dichas cavernas o por disolución, que llevan el nombre de dolinas, más bien conocidas en México como cenotes; cuando estas oquedades se unen unas con otras reciben el nombre de uvalas.

Otras oquedades que se forman de la misma manera que las dolinas, pero de menor extensión, son las sartenejas y aguadas. Todas estas formaciones dan a la llanura un aspecto ondulado.

El agua freática es abundante en esta región y además se han hecho estudios que comprueban la existencia de estratos impermeables que originan aguas confinadas que brotan en el mar como manantiales de agua dulce.

PRESENCIA DEL AGUA SUBTERRANEA EN MEXICO

CONDICIONES EXCELENTES	[SIERRA MADRE ORIENTAL Y ZONA NORESTE DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA SIERRA VOLCANICA TRANSVERSAL Y SUR DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA PENINSULA DE YUCATAN
CONDICIONES BUENAS	[SIERRA MADRE OCCIDENTAL Y SIERRAS TRANSVERSALES DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA LLANURAS COSTERAS DE SINALOA Y NAYARIT Y PARTE DE SONORA
CONDICIONES REGULARES	[ZONA CENTRAL DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA ALTIPLANICIE DEL NORTE Y LLANURAS DE LA COSTA NOROESTE DEL PACIFICO LLANURA COSTERA DEL GOLFO DE MEXICO DEPRESION DEL BALSAS-TEPALCATEPEC ZONA SURESTE DE MEXICO
CONDICIONES MALAS	[ZONA NORTE DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA ZONA SUR DE LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA SIERRA MADRE DEL SUR, ZONAS COSTERAS DE JALISCO, MICHOACAN, GUERRERO, OAXACA Y ESTADO DE COLIMA SIERRA MADRE Y ZONA COSTERA DE CHIAPAS

El inconveniente del agua es su calidad, ya que se encuentra mineralizada porque al pasar a través de la roca la disuelve en gran parte, llevándose un alto porcentaje de materia mineral.

INFLUENCIA DE LA VEGETACION EN LAS REGIONES GEOHIDROLOGICAS

El factor vegetación actúa como gran auxiliar en el aumento de la infiltración y, como ya se dijo, tiene una importancia decisiva en las regiones de recarga o realimentación, principalmente si éstas corresponden a zonas de pendiente pronunciada, mas no se ha tomado en cuenta en la división del país en regiones geohidrológicas porque no determina el movimiento ni necesariamente la presencia del agua subterránea; acto seguido se describe brevemente su situación.

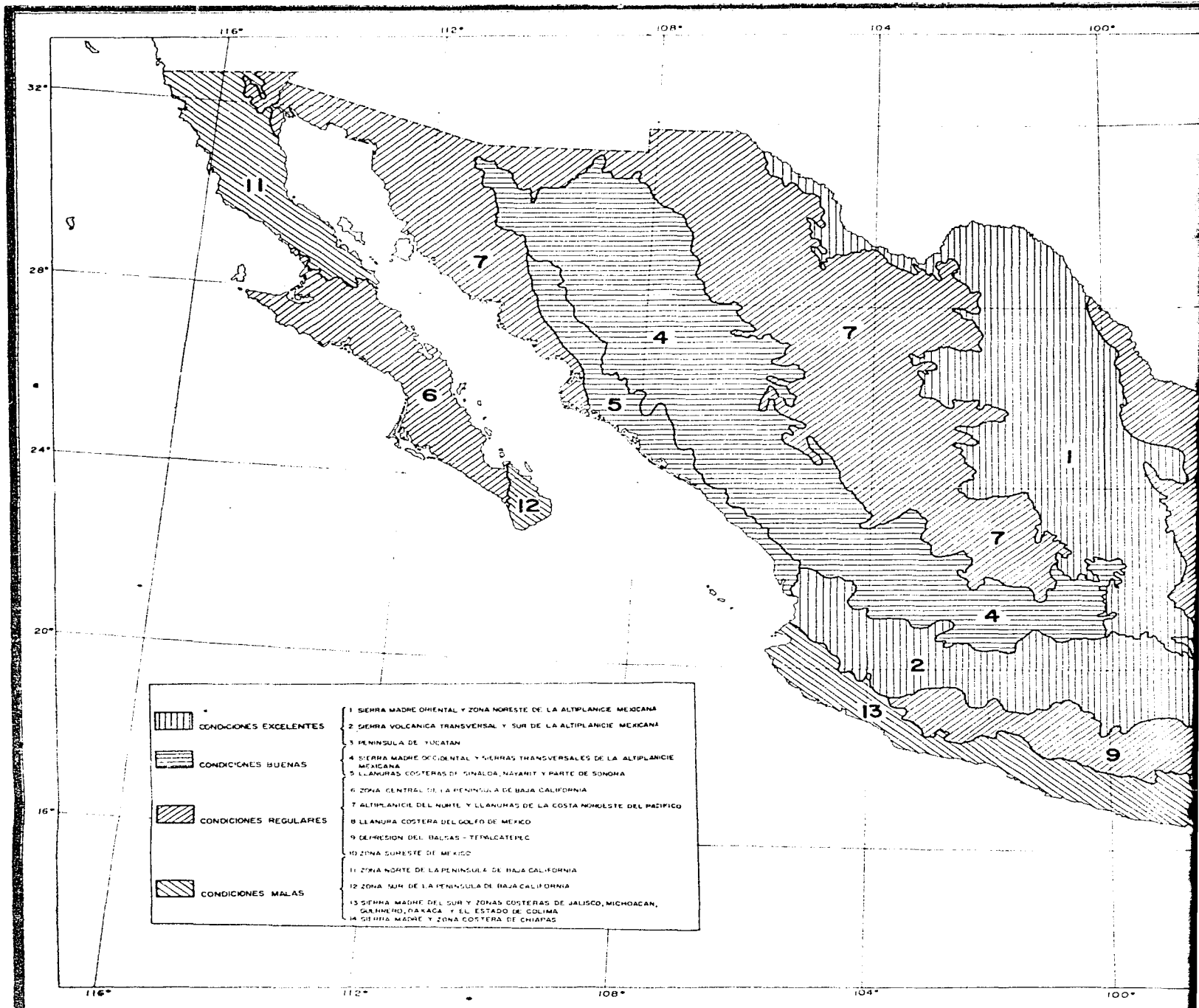
Las partes montañosas de nuestro territorio en donde la pendiente es más pronunciada, se encuentran cubiertas de bosques, debido en algunos casos a la altitud y en otros a la latitud; estos bosques son más escasos en las sierras de la península de Baja California.

En consecuencia, los bosques, como se puede ver, se encuentran situados precisamente en las zonas de recarga o realimentación de regiones más lejanas a ellas, de manera que la ayuda que proporcionan es muy importante.

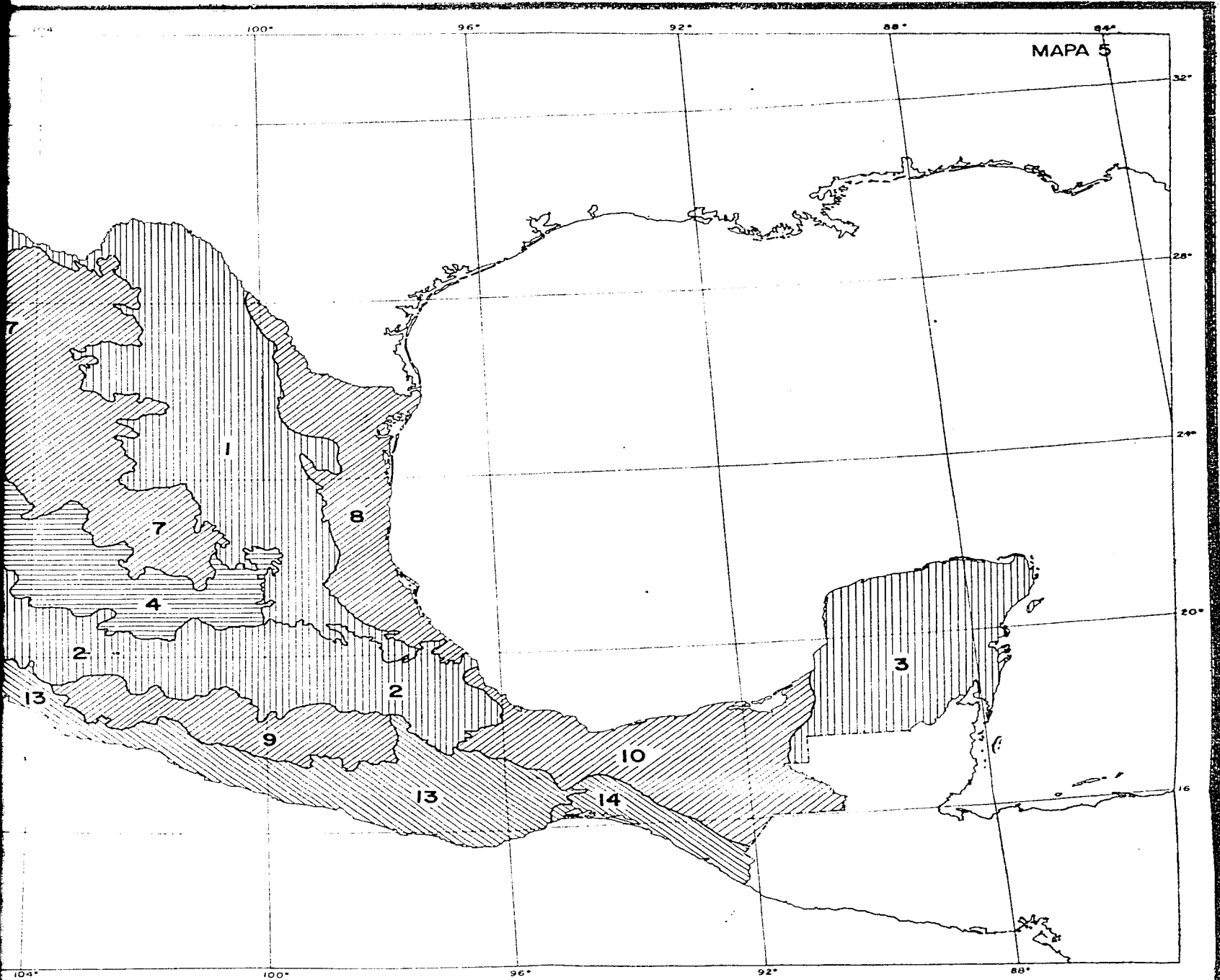
En las zonas llanas la vegetación también ayuda a aumentar la infiltración, pero dada la falta de pendiente, tiene una importancia menor.

México ha sido víctima de una gran deforestación, por lo que en algunas regiones la capacidad de infiltración ha disminuído alimentando los mantos de agua subterránea de manera muy lenta o dejándolos sin alimentación causando así, si éstos son explotados, su rápido agotamiento ya que por lo general los acuíferos se explotan en cantidad mayor que la de recarga.

REGIONES GEOHIDRO



ES GEOHIDROLOGICAS



ESCALA GRAFICA
0 50 100 200 300 400 KM

LAURA ELENA MADREY

En el mapa No. 5 se representa la división del país en regiones geohidrológicas, de acuerdo con las conclusiones obtenidas de la unión de los factores estudiados.

Si se compara el mapa de regiones geohidrológicas con los de geología, fisiografía, isoyetas y vegetación, es posible observar que dichas regiones coinciden en general con las que resultan de los otros mapas mencionados.

Para llevar a cabo una evaluación de los recursos hidrológicos de la nación se necesitaría contar con una cantidad tal de datos, que en México no existen debido a que las fuentes que los deben proporcionar son pocas y el personal que en ellas trabaja, en ocasiones no cuenta con los instrumentos necesarios para dar una información completa.

Sin embargo, algunos autores utilizando los datos disponibles y auxiliándose de fórmulas o de métodos empleados en otros países, han hecho estudios al respecto.

Uno de los trabajos más completos, y casi se puede afirmar que el único sobre geohidrología general de México, es el de Alfonso de la O Carreño que lleva por nombre "Las Provincias Geohidrológicas de México", en el que el autor ha expuesto, en la primera parte, aspectos generales acerca del agua subterránea en cuanto a su origen, composición, temperatura, etc., y en la segunda parte resolvió la ecuación hidrológica:

$$P = S - E + I$$

en la que

P = precipitación

S = escurrimiento

E = evaporación

I = infiltración

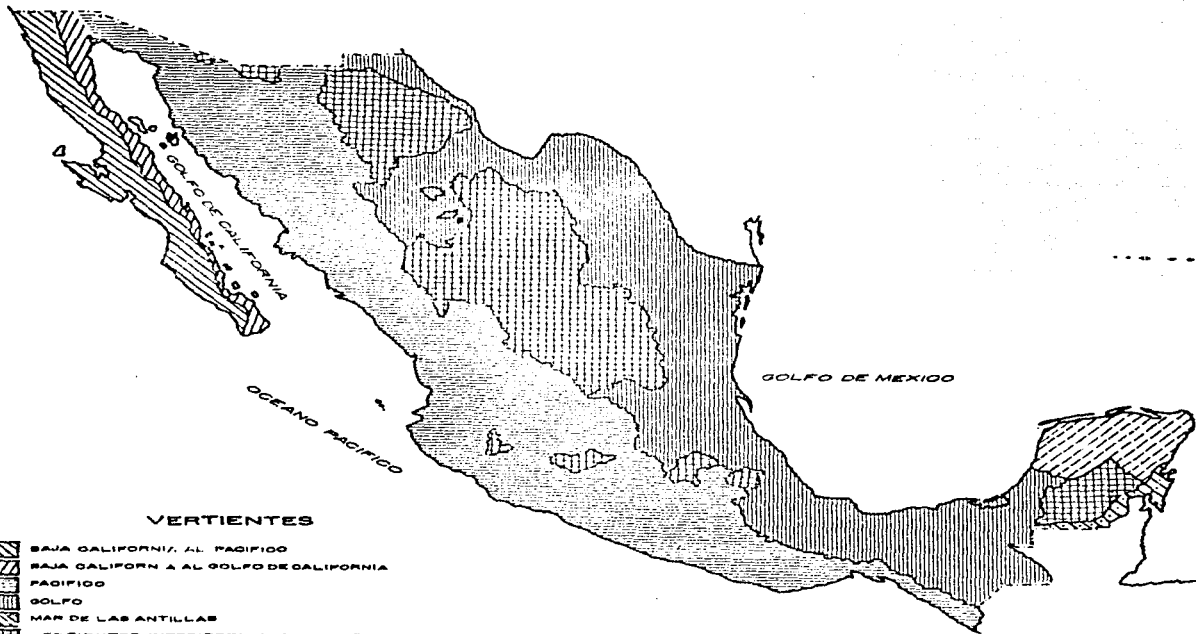
Calculó la cantidad de precipitación, la evaporación y el escurrimiento y con estos datos dedujo la cantidad de agua infiltrada:

$$I = P - (S + E)$$








Esta ecuación hidrológica la aplicó a cada una de las cuencas del país para después sacar los valores que corresponden a las vertientes exterior e interior y hacer un cálculo aproximado para todo el territorio mexicano.

A continuación se dan los datos obtenidos por el autor mencionado, para las diversas vertientes y para todo el país.

	Elementos de la ecuación hidrológica	Millones de metros cúbicos	Porcentaje
Vertiente de Baja California-Pacífico	Precipitación	15 294.934	100.00
	Escurrimiento	710.137	4.65
	Evaporación	7 862.034	51.40
	Infiltración	6 722.763	44.00
Vertiente de Baja California-Golfo de California	Precipitación	6 578.775	100.00
	Escurrimiento	275.517	4.19
	Evaporación	3 511.950	53.38
	Infiltración	2 791.308	42.00
Vertiente del Pacífico Delta del Colorado-Río Verde	Precipitación	476 116.259	100.00
	Escurrimiento	84 795.166	17.81
	Evaporación	310 405.397	65.19
	Infiltración	80 913.696	17.00
Costa Central de Oaxaca	Precipitación	26 037.687	100.00
	Escurrimiento	3 374.206	12.96
	Evaporación	15 307.338	58.78
	Infiltración	7 356.143	28.00
Costa de Chiapas	Precipitación	35 900.69	100.00
	Escurrimiento	5 899.478	16.43
	Evaporación	19 624.585	54.66
	Infiltración	10 376.636	28.81
Vertiente del Golfo Río Bravo	Precipitación	85 060.108	100.00
	Escurrimiento	9 876.079	11.61
	Evaporación	58 307.438	68.55
	Infiltración	16 876.590	20.00



VERTIENTES

-  BAJA CALIFORNIA AL PACIFICO
-  BAJA CALIFORNIA AL GOLFO DE CALIFORNIA
-  PACIFICO
-  GOLFO
-  MAR DE LAS ANTILLAS
-  VERTIENTES INTERIORES Y COLINDANTES CON ESTADOS UNIDOS
-  ORIENTE PENINSULA DE YUCATAN

ESCALA 1:1000000

MAPA TOMADO DE LA OBRA LAS PROVINCIAS
 GEOROLOGICAS DE MEXICO
 SEGUNDA PARTE

	Elementos de la ecuación hidro- lógica	Millones de me- tros cúbicos	Por ciento
Vertiente del Golfo Conjunto sin incluir al río Bravo	Precipitación	468 589.669	100.00
	Escurrimiento	135 553.589	28.93
	Evaporación	264 203.521	56.38
	Infiltración	68 832.559	15.00
Vertiente de Yucatán	Precipitación	68 040.596	100.00
	Escurrimiento	0.000	0.00
	Evaporación	35 313.069	51.89
	Infiltración	32 727.527	48.00
Vertiente del Mar de las Antillas	Precipitación	16 425.672	100.00
	Escurrimiento	3 925.735	23.90
	Evaporación	8 508.498	51.80
	Infiltración	3 991.439	24.00
Vertientes Interiores en Territorio Nacio- nal y de los Estados Unidos	Precipitación	7 584.361	100.00
	Escurrimiento	348.924	4.60
	Evaporación	4 364.254	57.54
	Infiltración	2 871.182	37.86
Vertientes Interiores en Territorio Nacional	Precipitación	172 250.714	100.00
	Escurrimiento	13 866.611	8.05
	Evaporación	121 148.685	70.33
	Infiltración	37 235.418	21.00
Totales para toda la República Mexicana (Período analizado 1932-1946)	Se precipitan	1 377 879.474	100.00
	Escurren	258 626.442	19.00
	Se evaporan	848 557.770	61.00
	Se infiltran	270 695.262	20.00

Se observa en estas estimaciones que la mayor parte de la lluvia tiene por destino la evaporación, en cambio el escurrimiento y la infiltración varían según las regiones.

En la península de Baja California la infiltración casi llega al 50% de la

lluvia, lo que se explica por la aridez de la región; el agua al llegar al terreno se infiltra y cuando el suelo ya no puede absorber más agua, ésta escurre pero como la evaporación es muy intensa, dicho escurrimiento queda reducido al mínimo.

Este mismo fenómeno sucede en la vertiente interior y en la cuenca del río Bravo, pues tanto esta última como la mayor parte de las cuencas correspondientes a la vertiente mencionada, se localizan en las zonas áridas del país.

En la vertiente del Pacífico el escurrimiento es igual a la infiltración, excepto en las costas de Oaxaca y Chiapas en donde la infiltración excede al escurrimiento. Esto es fácil de comprender, pues en las llanuras de Sonora, Sinaloa y Nayarit la lluvia es escasa y al sur en donde ésta aumenta el material del terreno, impide una mayor infiltración; en cambio en Oaxaca y Chiapas la llanura costera se extiende más hacia el interior y la lluvia es abundante.

En la vertiente del Golfo de México sin incluir la cuenca del río Bravo ni la península de Yucatán, el escurrimiento excede a la infiltración casi en el doble.

En este caso en que el terreno parece ser permeable, la lluvia es abundante, la vegetación desempeña un papel en favor de la infiltración y la pendiente es suave, cabe preguntar ¿Por qué la infiltración es tan escasa? Esto sucede debido a que aquí las rocas pertenecen a formaciones arcillosas, por lo tanto impermeables, y los acuíferos que se encuentran en esta zona corresponden a terrenos aluviales transportados y depositados por las corrientes fluviales de la región.

En la región Sureste la infiltración del agua disminuye considerablemente y la evaporación aumenta, pues la falta de pendiente y la impermeabilidad de los estratos que se encuentran bajo los depósitos aluviales hacen que el agua permanezca más tiempo en la superficie, dando lugar a que se evapore en mayor cantidad.

En la península de Yucatán las consideraciones hechas anteriormente coinciden con las estimaciones de De la O Carreño, es decir, dada la constitución de la península el escurrimiento es muy escaso, en cambio la infiltración casi iguala a la evaporación; sólo en la parte correspondiente a la vertiente del Mar de las Antillas hay escurrimiento y éste casi es igual a la infiltración, pero siempre esta última es mayor.

Esto se debe a que en esta zona de la península sí hay suelo por lo que el agua queda retenida más tiempo en la superficie, dando lugar al escurrimiento, mientras que en el resto de la península la roca caliza se encuentra aflorando y el agua de lluvia se halla directamente con ella produciendo los efectos ya conocidos, y por otra parte la roca caliza en esta región es menos permeable.

Otro autor que se ha preocupado por hacer investigaciones con respecto al agua infiltrada en el territorio mexicano es Jorge L. Tamayo,* quien se basó en el estudio de De la O Carreño, y las cantidades que obtuvo para el volumen infiltrado, presentan ligeras modificaciones debido a la adopción de otros criterios, como el de considerar que cuando la cantidad de lluvia anual es inferior a 250 mm. se evapora en su totalidad, es decir, que tanto el escurrimiento como la infiltración son nulos, y además contó con un nú-

*Tamayo, J. L. Geografía General de México. Tomo II pp. 509-513

mero mayor de observaciones puesto que ya se han instalado nuevas estaciones hidrométricas que proporcionan los datos necesarios para este tipo de estudios.

VOLUMEN DE AGUA INFILTRADA EN
MILLONES DE METROS CUBICOS

	Cantidades obtenidas por De la O Carreño	Cantidades obtenidas por Jorge L. Tamayo
Cuenca del río Bravo	16 876.590	16 100
Vertiente del Golfo, excluí- da la cuenca del río Bravo	68 832.559	68 832*
Vertiente de la península de Baja California	9 514.071	3 050
Vertiente del Pacífico	98 646.475	95 067
Vertientes interiores	40 106.600	40 042
Vertiente de Yucatán	32 727.527	32 728
Vertiente del Caribe	3 991.439	
Infiltración total calculada para toda la República	270 695.262*	254 880*

La diferencia entre las cantidades obtenidas por estos autores no es mucha, excepto la de la península de Baja California debido a la diferencia de criterios, sin embargo, en lo personal, creo que la estimación de De la O Carreño es más certera porque aún cuando la lluvia sea menos de 250 mm. anuales, se concentra en una determinada estación y así, aunque la evaporación se efectúe en gran cantidad, el agua tiene oportunidad de infiltrarse.

En el NW de Sonora y NE de la península de Baja California sí es posible que no llegue a haber infiltración, pero en esta región la lluvia es inferior a los 100 mm. y aún a los 50 mm. anuales; sin embargo, las aguas de los ríos de esta zona que nacen en la Sierra Madre Occidental no llegan a desembocar

* Al hacer las sumas parciales y luego el total para rectificar, se obtuvieron resultados diferentes: Cálculos de De la O Carreño: 270 695.261. Cálculos de Tamaño, Vertiente del Golfo, excluída la Cuenca del río Bravo: 68 831, suma total: 254 918

en el Golfo de California, pues se infiltran en las arenas de la llanura costera; ejemplo de ello son los ríos Sonoyta, Concepción, Bacavachi, Sonora y una serie de arroyos cuyos cauces no están bien definidos y en los que cuando llega a haber una lluvia fuerte, el agua que acumulan se infiltra o escurre para después ser absorbida por el suelo.

Hay otros autores que también se han preocupado por investigar el destino que tiene el agua de la lluvia y han obtenido cifras más o menos parecidas a las anteriores:

Estimaciones hechas bajo la dirección de Adolfo Orive Alba:*

	Millones de metros cúbicos	Porcentaje
Escurrecimiento superficial	357 257	23
Evapo-transpiración	945 500	61
Infiltración	247 243	19
Volumen medio anual de lluvia	<u>1 550 000</u>	<u>100</u>

Cantidades obtenidas bajo la dirección de Luis Echegaray:**

	Millones de metros cúbicos	Porcentaje
Escurrecimiento superficial	357 257	23
Evapo-transpiración rel calculada en forma simplificada por el método Thornthwaite	1 040 000	67
Infiltración del subsuelo deducida para estimar la precipitación total	152 743	10
Volumen medio anual de lluvia	<u>1 550 000</u>	<u>100</u>

Las estimaciones antes indicadas únicamente se refieren a la cantidad

*Orive A., A. La Política de Irrigación en México. pp. 15-16

** Citado por Orive A., A. en Op. cit.

aproximada de agua que interviene en cada fase del ciclo hidrológico; en cuanto a la cantidad de agua infiltrada no da una idea del volumen que se puede aprovechar del agua subterránea, pero Jorge L. Tamayo en sus estudios, llegó a la conclusión de que el volumen económicamente aprovechable llega a 27 800 millones de metros cúbicos distribuidos en las siguientes regiones:*

	Millones de metros cúbicos	Porcientos
Planicie Costera de Sonora y de la parte norte de Sinaloa hasta el río Sinaloa	4 050	14.56
Resto de la Planicie Costera del Pacífico hasta el río Verde de Oaxaca	8 820	31.72
Costa de Oaxaca (desde Chacahua hasta el río Niltepec)	729	2.69
Costa de Chiapas	1 115	4.01
Planicie Costera del Golfo dentro de Tamaulipas (sólo se consideró el 10% del área llana)	693	2.49
Porción de la cuenca del río Bravo en la Altiplanicie Septentrional	3 421	12.30
Vertientes interiores de la Altiplanicie Septentrional y en la Altiplanicie Meridional	8 325	29.94
Península de Baja California	647	2.36
Suma:	27 800	100.00

* Tamayo, J. L., Geografía General de México. Tomo IV p. 40

CAPITULO IV
USOS DEL AGUA SUBTERRANEA

El aprovechamiento del agua subterránea en México data de los tiempos precoloniales, en los que cenotes o pozos naturales correspondientes a dolinas de la zona de Yucatán permitieron el abastecimiento de agua para la civilización que ahí se desarrolló, y en el Valle de México los manantiales de la región permitieron el florecimiento de diversas culturas, entre ellas la grandiosa cultura Azteca.

El primer pozo perforado del que se tiene noticia existe en Campeche, y fue localizado en 1517 por don Francisco Hernández de Mendoza; no se sabe de aprovechamientos por métodos artificiales hasta la época de la Colonia cuando los misioneros emplearon las aguas del subsuelo mediante excavaciones para el abastecimiento de las ciudades.

La extracción del agua subterránea fue haciéndose cada vez en mayor superficie y volumen, de manera que se hizo necesaria su reglamentación y con este fin, en la Constitución de México se especifica en el párrafo quinto de Artículo 27, que el agua subterránea se puede alumbrar libremente y se considera propiedad del dueño del suelo bajo el que se encuentre.

El alumbramiento libre puede ser suspendido cuando afecte al interés público o a los aprovechamientos existentes, en tal caso el Jefe del Ejecutivo puede decretar la prohibición de nuevas obras de alumbramiento declarando vedada la región de que se trate.

Toda operación para extraer agua del subsuelo en zona libre, debe ser registrada en la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el departamento correspondiente, y cuando se trate de zona vedada habrá necesidad de solicitar un permiso a dicha Secretaría.

La utilización del agua subterránea es semejante a la que se hace del agua superficial; sin embargo, se ha hecho un mayor aprovechamiento de esta última excepto en las zonas en las que escasea. Se emplean ambas clases de aguas para usos domésticos, industriales, agrícolas y para establecer centros de recreo.

Es de interés hacer notar que el empleo del agua subterránea para el abastecimiento de ciudades, independientemente del uso que se le dé, tiene gran importancia, pues hay un buen número de ellas que satisfacen esta necesidad con agua del subsuelo, ya sea por medio de alumbramientos o manantiales.

Se puede llevar a cabo un aprovechamiento combinado del agua superficial y del agua subterránea.

El agua del subsuelo presenta ciertas ventajas sobre la superficial: un depósito de agua subterránea se encuentra resguardado contra la evaporación, sobre todo si el terreno bajo el que se encuentra está cubierto por vegetación.

El agua al pasar al subsuelo va sufriendo una purificación porque los estratos por los que atraviesa sirven de filtros. En este aspecto la vegetación ofrece otra ventaja, pues impide que el agua se contamine, da un suelo limpio al agua de infiltración. En general, las aguas freáticas cercanas a la superficie, están más propensas a la contaminación mientras que las profundas son más puras desde el punto de vista bacteriológico.

En la actualidad, en la que se llevan a cabo experimentos atómicos, el suelo constituye una protección para el agua que se encuentra bajo él contra cualquier contaminación atmosférica.

Sin embargo, si bien el agua subterránea está protegida contra toda contaminación superficial, en ocasiones se encuentra demasiado mineralizada y no sirve como agua potable pero se le puede asignar otros usos.

No existen en el país estudios generales acerca de la mineralización o dureza de las aguas del subsuelo, pero de manera superficial se puede decir que cuando el agua circula por terrenos de materiales solubles tiene mayor contenido de sales que cuando circula por terrenos de materiales duros; en el primer caso están los terrenos calizos y en el segundo los de origen volcánico. Las aguas que brotan en zonas con manifestaciones volcánicas también suelen tener contenido de material mineral.

Estas ventajas deben tomarse en cuenta para hacer un mejor uso del agua del subsuelo, la cual se puede aprovechar directamente de los manantiales o por medio de excavaciones.

La actividad en la que se emplea una mayor cantidad de agua en México es la agricultura, * gran parte del porcentaje del agua subterránea utilizada corresponde al riego, sobre todo en las regiones áridas del país. El empleo del agua subterránea para esta actividad tiene gran importancia en nuestro país, ya que, como se ha visto, dado el régimen pluvial, grandes zonas requieren de ella para que la agricultura tenga éxito, como son los distritos de riego establecidos en la zona Norte del territorio. Además el agua subterránea permite que los cultivos den un rendimiento mayor, pues en las zonas

Año	Distribución de los usos del agua en México en millones de metros cúbicos		Irrigación		Total			
	Industrial	Por- ciento	Municipal	Por- ciento	Por- ciento	Por- ciento		
1960	2 480	7.4	822	2.5	30 000	90.1	33 302	100.0
1980	16 944	20.0	2033	2.4	65 800	77.6	84 777	100.0

Fuente: Secretaría de Recursos Hidráulicos.

donde llueve en una determinada estación, se pueden utilizar los acuíferos subterráneos para otra estación y en donde la lluvia no es suficiente, el agua del subsuelo puede servir como complemento. Le sigue la industria y después los usos domésticos, municipales y recreativos, aunque hay lugares en los que estos últimos tienen gran importancia.

Con respecto al agua que brota naturalmente, es decir, los manantiales, sería muy difícil hacer un registro total de los existentes; sólo se tienen de aquellos de los que por su temperatura o composición química se les puede sacar provecho, y aún así la información es incompleta.

A este respecto la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México ha llevado a cabo un estudio muy completo de las aguas subterráneas de esta región y se han registrado todos los manantiales observados con sus respectivos usos, lo mismo se ha hecho con los pozos perforados en la zona.

Se han hecho estudios geológicos en el país que tienen por objeto la búsqueda de zonas propicias para la explotación geotérmica en la que se aprovechan precisamente las manifestaciones de la geotermia para la generación de fuerza motriz. Estas manifestaciones son los fenómenos hidrotermales.

El fenómeno de la geotermia está ligado al vulcanismo, se presenta en zonas débiles de la corteza terrestre y se cree que se debe a la presencia de cámaras magmáticas a poca profundidad.

De acuerdo con los estudios realizados se han establecido seis provincias geotérmicas* en las cuales se concentran los focos hidrotermales. Los que quedan fuera de estas provincias se deben probablemente a que las aguas

* Mooser, F. Provincias Geotérmicas de México.

recorren caminos a gran profundidad antes de aflorar.* Las manifestaciones geotérmicas son en su mayoría manantiales de los cuales varios se han convertido en centros de recreo debido a que se les atribuyen propiedades curativas por sus aguas minerales, por otro lado a estos fenómenos también se les ha puesto atención para su aprovechamiento en la generación de la energía.

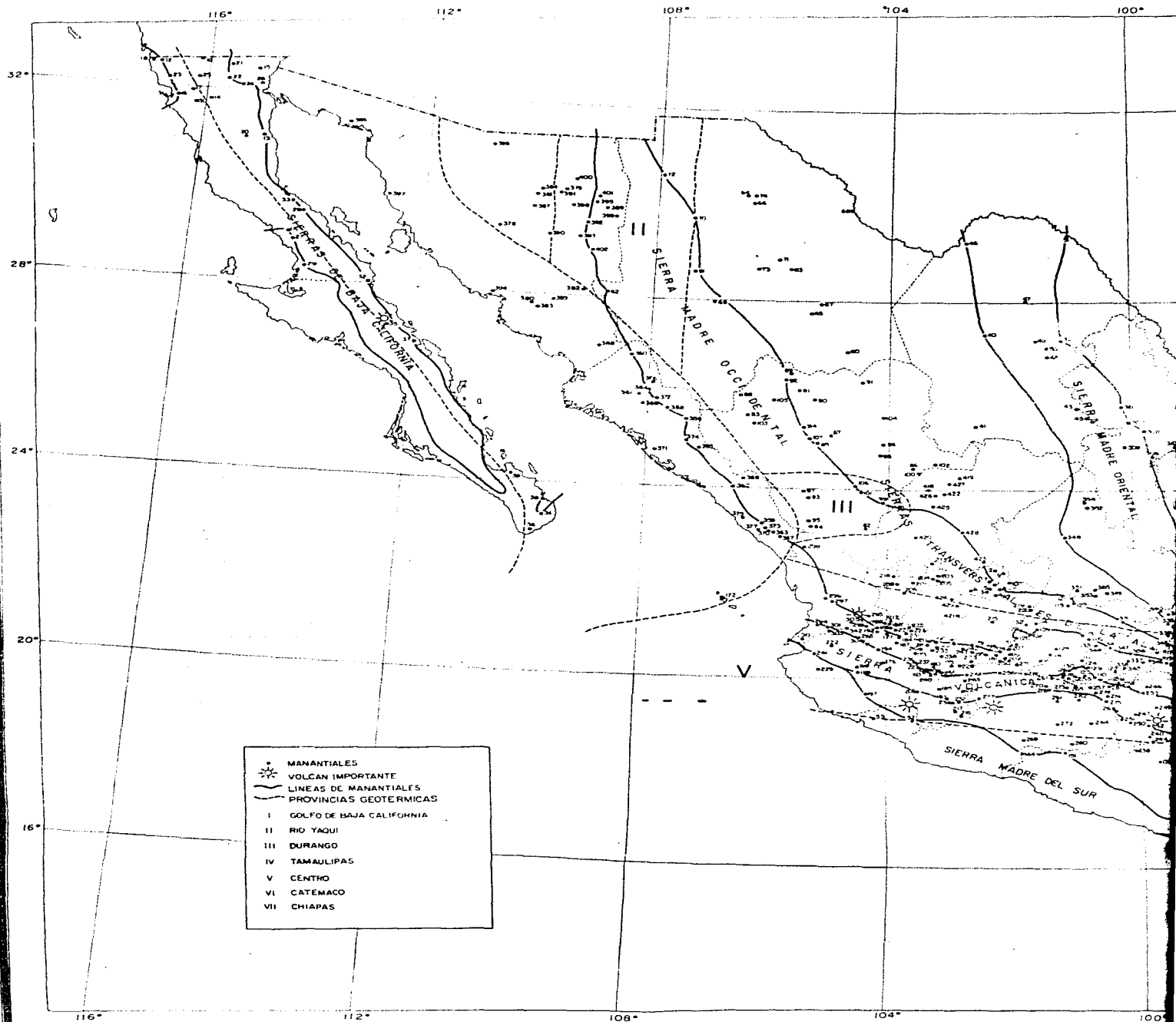
Es la Comisión Federal de Electricidad la que se ha preocupado por estudios e investigaciones sobre geotermia con el propósito de establecer, en los lugares en los que haya posibilidad, plantas generadoras de energía eléctrica. Con este objeto se han hecho estudios principalmente en tres localidades. Cerro Prieto, Estado de Baja California; Extlán de los Hervores, Michoacán y Pathé, Hidalgo, zonas en las que las aguas alcanzan temperaturas muy cercanas al punto de ebullición y por lo tanto la manifestación principal es en forma de vapor.

En Pathé, Hidalgo, funciona desde el 20 de noviembre de 1959, una planta geotérmica en la que se emplea la fuerza del vapor de agua subterránea para la producción de electricidad. Es la primera región en la que se ha aprovechado la energía geotérmica en México.

Según informaciones proporcionadas por las personas encargadas de las instalaciones, se hicieron más de cien perforaciones y sólo funcionan 20 pozos aproximadamente en los que el vapor alcanza una temperatura alrededor de 250°C, la profundidad de los pozos varía, pues el vapor se ha encontrado desde 36 m. hasta los 380 m. más o menos.

Dos pozos son los que mueven la planta y hay proyectos para efectuar una

* Espinosa, H.A.; de Anda, L.F. y Mosser, F. Focos Termales en la República Mexicana.





ESCALA GRAFICA
 0 50 100 200 400 km

ampliación. El agua subterránea no es potable y las sales que lleva disueltas no son aprovechadas. La región en sí es árida y esta aridez se manifiesta más porque el vapor al condensarse quema la vegetación por los minerales que contiene; el suelo tiene un color amarillento debido a la precipitación de dichos minerales.

En el mapa No. 6 se presenta la distribución de zonas que constituyen las provincias geotérmicas y manifestaciones hidrotermales. A ello se agregan algunos manantiales no termales, a los cuales se les atribuyen propiedades curativas. Obsérvese la concentración de los manantiales en las zonas geotérmicas.

Por otra parte, aprovechando el mapa geológico y todos los manantiales que se lograron reunir, se trazaron las líneas de manantiales de contacto.

Estas líneas de manantiales se refieren a las zonas de contacto donde brotan los manantiales, es decir, donde el agua infiltrada encuentra dificultades para seguir su camino subterráneo, debido a la presencia de un material menos permeable que por el que corría originalmente, no encontrando otra dirección que la de salir a la superficie.

A continuación se dan los datos de los manantiales localizados en el mapa.*

*Espinosa, H.A.; de Anda, L.F. y Mosser, F. Op. cit. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, pp. 148-151.
Tamayo, J.L. Geografía General de México. Tomo II, pp. 515-574.
Otras obras geográficas citadas en la bibliografía.

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
* 1	El Salitre	Aguascalientes	Aguascalientes	Manantial		Termal
2	El Saucillo	Rincón de Romos	Aguascalientes	Manantial		Termal
* 3	La Cantera	Aguascalientes	Aguascalientes	Manantial		
4	Los Arellanos	Municipio de Aguascalientes	Aguascalientes	Manantial		Termal
5	Negritos	Municipio de Aguascalientes	Aguascalientes	Manantial		Termal
* 6	Ojo Calientillo	Calvillo	Aguascalientes	Manantial		
* 7	San José de Gracia	San José de Gracia	Aguascalientes	Manantial		
8		Aguascalientes	Aguascalientes	Manantial		Termal
9	- - -	Asientos	Aguascalientes	Manantial		Termal
10		Charco Azul	Aguascalientes	Manantial		Termal
11	Agua Caliente	Ensenada	Baja California	Manantial	50	Termal
* 12	Agua Caliente	Tijuana	Baja California	Manantial	50	Termal
13	Azufreras	San Felipe	Baja California	Manantial	75	Termal
* 14	Cerro Blanco	Punta Rocosa	Baja California	Manantial		
15	Cerro Prieto	Mexicali	Baja California	Hervideros,		
16		Ensenada	Baja California	Volcanes de lodo	98	Termal
* 17	Escalerillas	Ensenada	Baja California	Manantial	70	Termal
* 18	Hot Springs	Río Tijuana	Baja California	Manantial	20	Termal
* 19	Jacunba	Mexicali	Baja California	Manantial		Termal
20	La Grulla	Sierra de San Pedro Mártir	Baja California	Manantial		Termal
21	Laguna Salada (Este)	Mexicali	Baja California	Manantial	90	Termal
22	Laguna Salada (Oeste)	La Rumorosa	Baja California	Manantial	90	Termal
* 23	La Misión	Ensenada	Baja California	Manantial		Termal
24	La Puerta	Sierra Cucapah	Baja California	Vapor	98	Termal
* 25	Real del Castillo	Real del Castillo	Baja California	Manantial	31	Termal
26	Riito	Río Colorado	Baja California	Manantial	90	Termal
* 27	San Borja	Punta Rocosa	Baja California	Manantial	36	Termal
28		Bahía San Luis Gonzaga	Baja California	Manantial		Termal
29		Guerrero Negro	Baja California	Manantial	45	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
* 30		El Alamo	Baja California	Manantial	40	Termal
* 31		Punta Banda	Baja California	Manantial	62	Termal
32		Santa Gertrudis	Baja California	Manantial		Termal
33		Santa María	Baja California	Manantial		Termal
* 34	Agua Caliente de Santiago y San Jorge	Santiago	Baja California Sur	Manantial		Termal
* 35	Agua Caliente de las Vírgenes	Santa Rosalía	Baja California Sur	Manantial		Termal
* 36	Agua Caliente del Rosario	San José del Cabo	Baja California Sur	Manantial		Termal
* 37	Aguaajito	Mulegé	Baja California Sur	Manantial	31	Termal
* 38	Buenavista	La Paz	Baja California Sur	Manantial		Termal
39		La Paz	Baja California Sur	Manantial	45	Termal
* 40	Agua Verde	Ocampo	Coahuila	Manantial		Termal
41	Bilbao	Municipio de Viesca	Coahuila	Manantial	31	Termal
* 42	Hermanas	San Buenaventura	Coahuila	Manantial		
* 43	La Azufrosa	Ramos Arizpe	Coahuila	Manantial		Termal
* 44	La Noria	Municipio de Abasolo	Coahuila	Manantial		Termal
* 45	Ojo Caliente	Ramos Arizpe	Coahuila	Manantial		Termal
46	Ojo Caliente	Río Bravo	Coahuila	Manantial		Termal
* 47	Potrero	Múzquiz	Coahuila	Manantial		No Termal
* 48	Pozuelos	Municipio de Frontera	Coahuila	Manantial		No Termal
* 49	San Lucas	San Buenaventura	Coahuila	Manantial	33	Termal
* 50	Santa Gertrudis	San Buenaventura	Coahuila	Manantial		Termal
* 51	Villa Acuña	Villa Acuña	Coahuila	Manantial		Termal
* 52	Agua Caliente	La Estancia	Colima	Manantial		
* 53	Chandiablo	Chandiablo	Colima	Manantial		Termal
54	Agua Caliente	Pichucalco	Chiapas	Manantial		Termal
55	Río Salado	Atcalá	Chiapas	Manantial	40	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
* 56	Santa Ana	Comitán	Chiapas	Manantial		No Termal
* 57	Sesacapa	Municipio de Mapastepec	Chiapas	Manantial	49	Termal
* 58		Escuintla	Chiapas	Manantial	40	Termal
59		Tapachula	Chiapas	Manantial		Termal
60	Agua Caliente	Hormigas-Jiménez	Chihuahua	Manantial		Termal
61	Agua Caliente	La Junta	Chihuahua	Manantial		Termal
62	Babanori	Municipio de Moris	Chihuahua	Manantial		Termal
* 63	Baños Salud	San Diego de Alcalá	Chihuahua	Manantial		
* 64	Capellán	Capellán	Chihuahua	Manantial		
65	Ojo Caliente	Ciudad Caruzgo	Chihuahua	Manantial		Termal
* 66	Ojo Caliente de Santa Rosalía	Villa Ahumada	Chihuahua	Manantial		Termal
* 67	Ojo de Jabalí	Ojo de Jabalí	Chihuahua	Manantial		No Termal
68	Presidio	Municipio de Ojinaga	Chihuahua	Manantial		Termal
* 69	San Borja	San Borja	Chihuahua	Manantial		
* 70	San Buenaventura	Municipio de San Buenaventura	Chihuahua	Manantial		
71		Aldama	Chihuahua	Manantial	50	Termal
72		Casas Grandes	Chihuahua	Manantial		Termal
73		Chihuahua	Chihuahua	Manantial	50	Termal
74		Rancho Castellanos	Chihuahua	Pozo artesiano		Termal
* 75	Agua Caliente	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial	48	Termal
* 76	Elba	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial	28	Termal
* 77	Las Termas	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial	38	Termal
* 78	Olímpico	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial		
* 79	Peñón de los Baños	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial	41	Termal
* 80	Pocito de Guadalupe	Ciudad de México	Distrito Federal	Manantial	35	Termal
81	Agua Caliente	Animas, Rfo Presidio	Durango	Manantial		Termal
82	Agua Caliente	Mezquital	Durango	Manantial		Termal
* 83	Agua Caliente	Tepehuanes	Durango	Manantial		
* 84	Agua Caliente	Xocuxtli	Durango	Manantial	60	Termal
85	Alamillo	Municipio de Santiago Papasquiaro	Durango	Manantial		

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
86	Atotonilco	Municipio de Cuencamé	Durango	Manantial		Termal
* 87	Atotonilco	Santiago Papasquiaro	Durango	Manantial	50	Termal
88	Cieneguita	Municipio de Guanaceví	Durango	Manantial		
89	Cochinera	Municipio de San Bernardo	Durango	Manantial		Termal
90	Corral de Piedras	Municipio de San Bernardo	Durango	Manantial		Termal
* 91	De Pelayo	Pelayo	Durango	Manantial		
92	El Carmen	Municipio de San Bernardo	Durango	Manantial		Termal
* 93	El Consuelo	El Salto	Durango	Manantial		Termal
94	Hervideros	Municipio de Santiago Papasquiaro	Durango	Manantial		Termal
* 95	Huinacaste	San Patricio	Durango	Manantial		Termal
96	Jacales	Municipio del Peñón Blanco	Durango	Manantial		Termal
* 97	Jesús María	Santa María del Oro	Durango	Manantial		Termal
98	La Concha	Municipio del Peñón Blanco	Durango	Manantial		Termal
99	Los Berros	Nombre de Dios	Durango	Manantial		Termal
*100	Ojo Caliente	Estanzuela	Durango	Manantial		
*101	Ojo de agua del Potrero	Navacoyán	Durango	Manantial		Termal
102	Ojo de agua de Santa Clara	Santa Clara	Durango	Manantial		Termal
*103	Presidio de Arriba	Presidio de Arriba	Durango	Manantial		
104	San Pedro del Gallo	Municipio de San Pedro del Gallo	Durango	Manantial		Termal
105	Zape	Municipio de Guanaceví	Durango	Manantial		Termal
106		Durango	Durango	Manantial		Termal
107		Santiago Papasquiaro	Durango	Manantial		Termal
108	Agua Blanca	Cerro del Cubilete	Guanajuato	Manantial	40	Termal
*109	Agua Buenas	Silao	Guanajuato	Manantial	46	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
*110	Agua Caliente	Acámbaro	Guanajuato	Manantial		
111	Ballesteros	Municipio de Salvatierra	Guanajuato	Manantial		Termal
*112	Caldera	Abasolo	Guanajuato	Manantial y hervideros	93	Termal
*113	Cieneguita	San Miguel de Allende	Guanajuato	Manantial	35	Termal
*114	Comanjilla	San Diego de la Unión	Guanajuato	Manantial	91	Termal
*115	Chirimoya	Ciudad Doctor Hernández Alvarez	Guanajuato	Manantial	28	Termal
*116	El Chorro	San Miguel Allende	Guanajuato	Manantial		
*117	La Playa	Ciudad Manuel Doblado	Guanajuato	Manantial	40	Termal
*118	Lodos de Munguía	Irapuato	Guanajuato	Manantial		Termal
*119	Los Organos	Ciudad Manuel Doblado	Guanajuato	Manantial		Termal
*120	Los Tanques	San Francisco del Rincón	Guanajuato	Manantial		
*121	Lucio	Ciudad Doctor Hernández Alvarez	Guanajuato	Manantial	45	Termal
*122	Manantial de Puruagua	Jerécuaro	Guanajuato	Manantial		Termal
*123	Manantial de Urireo	Urireo	Guanajuato	Manantial		
*124	Ojo de Agua	Salvatierra	Guanajuato	Manantial		Termal
125	Rancho Colorado	Salamanca	Guanajuato	Manantial	42	Termal
*126	San Bartolo	Celaya	Guanajuato	Manantial		
*127	San Bartolo	Ciudad Doctor Hernández Alvarez	Guanajuato	Manantial	28	Termal
*128	Salados	San Francisco del Rincón	Guanajuato	Manantial		
*129	San José	Salvatierra	Guanajuato	Manantial		Termal
*130	San Juan	Salvatierra	Guanajuato	Manantial		Termal
*131	San Nicolás	Acámbaro	Guanajuato	Manantial	40	Termal
*132		León	Guanajuato	Manantial	32	Termal
*133		San Miguel Octopan	Guanajuato	Manantial	53	Termal
*134		Santiago Maravatío	Guanajuato	Manantial		
*135		Victoria	Guanajuato	Manantial	40	Termal
136	Atlitenco	Mochitlán	Guerrero	Manantial		Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
137	Atotonilco	Mesequititlán	Guerrero	Manantial		Termal
138	Azulaque	Taxco	Guerrero	Manantial		Termal
*139	El Manantial	Iguála	Guerrero	Manantial		Termal
*140	El Tabasco	Ayutla	Guerrero	Manantial	40	Termal
141		Alcozauca	Guerrero	Manantial		Termal
142		Atlamajalcingo	Guerrero	Manantial		Termal
143		Cualac	Guerrero	Manantial		Termal
144		Churumuco	Guerrero	Manantial		Termal
145		Ixcateopan	Guerrero	Manantial		Termal
146		Malinaltepec	Guerrero	Manantial		Termal
147		Ometepec	Guerrero	Manantial		Termal
148		San Marcos	Guerrero	Manantial		Termal
149		Río Papagayo	Guerrero	Manantial		Termal
150		San Marcos	Guerrero	Manantial		Termal
151		Zirándaro	Guerrero	Manantial		Termal
152	Ajacuba	Ajacuba	Hidalgo	Manantial	48	Termal
153	Atotonilco el Grande	Pachuca	Hidalgo	Manantial		Termal
*154	Banza	Tecoautla	Hidalgo	Manantial		Termal
*155	Baño de la Concordia	Tasquillo	Hidalgo	Manantial		Termal
156	Baños San Marcos	Tula	Hidalgo	Manantial		Termal
157	Calinoli	Molango	Hidalgo	Manantial		Termal
*158	La Calera	Acatlán	Hidalgo	Manantial		Termal
159	Las Adjuntas	Jacala	Hidalgo	Manantial		Termal
160	Mina-Parícutin	Pachuca	Hidalgo	Manantial		Termal
161	Pathé	Tecoautla	Hidalgo	de la mina Hervideros	70	Termal
162	Pathecito	Huichapan	Hidalgo	Manantial	96	Termal
163	Tonaltongo	Cardonal	Hidalgo	Manantial	60	Termal
164	Vito	Atotonilco-Tula	Hidalgo	Manantial	42	Termal
165		Atempa	Hidalgo	Manantial		Termal
*166		Hacienda de Xacphá	Hidalgo	Manantial		Termal
167		Ixtacapa	Hidalgo	Manantial		Termal
*168		Rancho de Cahay	Hidalgo	Manantial		Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
169		Mixquiahuala	Hidalgo	Manantial		Termal
170		Taxidhó	Hidalgo	Manantial		Termal
171		Zacuaitipan	Hidalgo	Manantial		Termal
172	Agua Caliente	Santa María Norte	Islas Mariñas	Manantial		Termal
173	Agua Caliente	Ameca	Jalisco	Manantial		Termal
*174	Agua Caliente	Municipio de Ayo el Chico	Jalisco	Manantial		Termal
175	Agua Caliente	Chapala	Jalisco	Manantial		Termal
176	Agua Caliente	Tecolotlán	Jalisco	Manantial		Termal
177	Agua Caliente	Tequila	Jalisco	Manantial		Termal
178	Agua Caliente	Tizapán	Jalisco	Manantial		Termal
179	Atotonilco	Atotonilco el Alto	Jalisco	Manantial		Termal
*180	Chapala	Chapala	Jalisco	Manantial	42	Termal
*181	Charco Verde	Ayo el Chico	Jalisco	Manantial		
*182	El Tule	Acatic	Jalisco	Manantial		Termal
183	La Angostura	Tamazula	Jalisco	Manantial		Termal
184	La Laja	Valle de Ahualulco	Jalisco	Manantial	93	Termal
185	La Rosa	Tamazula	Jalisco	Manantial		Termal
186	La Torna	Tequila	Jalisco	Manantial		Termal
*187	La Vega	Valle de la Tala	Jalisco	Manantial	94	Termal
188	Las Cuevas	Hostotipaquillo	Jalisco	Manantial		Termal
189	Los Borbollones	Río Santiago	Jalisco	Manantial y géyser	98	Termal
*190	Oblatos	Guadalajara	Jalisco	Manantial	38	Termal
191	Primavera	Guadalajara	Jalisco	Manantial	74	Termal
192	San Matías	Hostotipaquillo	Jalisco	Manantiales		Termal
*193	Soyatlán del Oro	Soyatlán del Oro	Jalisco	Manantial		
194		Ameca	Jalisco	Manantial		
195		Atotonilco el Alto	Jalisco	Manantial		Termal
196		Atotonilco el Alto	Jalisco	Manantial		Termal
197		Autlán	Jalisco	Manantial		Termal
198		Ayutla	Jalisco	Manantial		Termal
199		Ayutla	Jalisco	Manantial		Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C
200		Barranca del Río Grande (Guadalajara)	Jalisco	Manantial	
201		Bolaños	Jalisco	Manantial	Termal
202		Ciudad Guzmán	Jalisco	Manantial	Termal
203		Colotlán	Jalisco	Manantial	Termal
204		Colotlán	Jalisco	Manantial	Termal
205		Colotlán	Jalisco	Manantial	Termal
206		Chimaltitan	Jalisco	Manantial	Termal
207		Degollado	Jalisco	Manantial	Termal
208	-----	Degollado	Jalisco	Manantial	Termal
209		Degollado	Jalisco	Manantial	Termal
210		Guadalajara	Jalisco	Manantial	Termal
211		Hacienda de Santa Lucía	Jalisco	Manantial	Termal
212		Hostotipaquillo	Jalisco	Manantial	Termal
213		Huejucar	Jalisco	Manantial	Termal
214		Huejuquilla	Jalisco	Manantial	Termal
215		Jalostotitlán	Jalisco	Manantial	Termal
216		Jilotlán	Jalisco	Manantial	Termal
217		Jilotlán	Jalisco	Manantial	Termal
218		Jocotepec	Jalisco	Manantial	Termal
219		Lagos	Jalisco	Manantial	Termal
220		Lagos	Jalisco	Manantial	Termal
221		La Soledad	Jalisco	Manantial y géysers	94 Termal
222		Mascota	Jalisco	Manantial	Termal
223		Ocotlán	Jalisco	Manantial	Termal
224		Quitupan	Jalisco	Manantial	Termal
225		Rancho Atisique	Jalisco	Manantial	Termal
226		Rancho de Sosocala	Jalisco	Manantial	Termal
227		San Marcos	Jalisco	Manantial	Termal
228		San Pedro	Jalisco	Manantial	Termal
229		Santa María	Jalisco	Manantial	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
230		Santa Rita	Jalisco	Manantial		Termal
231		Santa Rosa	Jalisco	Manantial	90	Termal
*232		Soyatlán	Jalisco	Manantial		Termal
233		Tala	Jalisco	Manantial		Termal
234		Tamazula	Jalisco	Manantial		Termal
*235		Tizapán el Alto	Jalisco	Manantial		Termal
236		Tizapanito	Jalisco	Manantial		Termal
237		Tizapanito	Jalisco	Manantial		Termal
238		Tlajomulco	Jalisco	Manantial		Termal
239		Tortugas	Jalisco	Manantial		Termal
240		Tuxcueca	Jalisco	Manantial		Termal
241		Zapotlán	Jalisco	Manantial		Termal
242		Zapotlanejo	Jalisco	Manantial		Termal
243		Zapotlanejo	Jalisco	Manantial		Termal
*244	Agua Amarga	Ixtapan	México	Manantial	37	Termal
245	Atotonilco	Atizapán	México	Manantial		Termal
*246	Atotonilco	San Pedro de los Baños	México	Manantial	50	Termal
247	Donato Guerra	Valle de Bravo	México	Manantial		Termal
*248	Ixtapan	Ixtapan de la Sal	México	Hervideros y Manantiales	95	Termal
249	Ixtlahuaca	Toluca	México	Manantial		Termal
*250	Las Salinas	San Miguel	México	Manantial		Termal
251	Los Baños	Ixtapan del Oro	México	Manantial	36	Termal
252	Tenango del Valle	Tenancingo	México	Manantial		Termal
*253	Toxhi	Tetnascalcingo	México	Manantial		Termal
*254		Atizapán	México	Pozo artesiano	22	Termal
255	Agua Caliente	Lago Cuitzeo (Norte)	Michoacán	Manantial	37	Termal
256	Agua Caliente	Yurécuaro	Michoacán	Manantial	34	Termal
257	Atzimba	Zinapécuaro	Michoacán	Manantial	25	Termal
258	Baños de Tepetongo	Maravatío	Michoacán	Manantial		Termal
259	Buenavista	Tepuxtepec	Michoacán	Manantial		Termal
260	Cahuaro	Huetamo	Michoacán	Manantial		Termal
*261	Cointzio	Morelia	Michoacán	Manantial	32	Termal
*262	Cuamio	Municipio de Cuitzeo	Michoacán	Manantial	22	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
*263	El Platanar	Jiquilpan	Michoacán	Hervideros	97	Termal
*264	El Salitre	Rancho Los Planes	Michoacán	Manantial		Termal
*265	Hervideros Huingo	Morelia	Michoacán	Hervideros	98	Termal
*266	Ixtlán de los Hervores	Zamora	Michoacán	Hervideros y géysers	95	Termal
*267	Jeroche	Puruándiro	Michoacán	Manantial	40	Termal
*268	Jesús del Río	Zitácuaro	Michoacán	Manantial		
*269	La Huacana	La Huacana	Michoacán	Manantial	60	Termal
*270	Las Arenas	Las Arenas	Michoacán	Manantial	41	Termal
*271	Los Baños	La Piedad	Michoacán	Manantial	34	Termal
*272	Pedernales	Pedernales	Michoacán	Manantial		Termal
*273	San Agustín	Lago de Cuitzeo (Sur)	Michoacán	Manantial	32	Termal
*274	San Andrés	Ciudad Hidalgo	Michoacán	Hervideros	95	Termal
*275	San José Purúa	Zitácuaro	Michoacán	Manantial	35	Termal
*276	San Lorenzo	Mariano Escobedo	Michoacán	Manantial		Termal
*277	San Rafael	San Rafael	Michoacán	Manantial	28	Termal
*278	San Sebastián	San Sebastián	Michoacán	Manantial		
279		Bocaneo	Michoacán	Manantial		
*280		Huandacareo	Michoacán	Manantial	38	Termal
281		Jerahuaró	Michoacán	Manantial		Termal
282		Queréndaro	Michoacán	Manantial		Termal
*283	Agua Hedionda	Cuautila	Morelos	Manantial	27	Termal
*284	Atotonilco	Jomacatepec	Morelos	Manantial	38	Termal
*285	Chiconcuac	Chiconcuac	Morelos	Manantial		
286	Fundición	Tehuixtla	Morelos	Manantial		Termal
*287	Oriztepec	Cuernavaca	Morelos	Manantial	25	Termal
288	Puerto Hediondo	Xochitopeca	Morelos	Manantial		Termal
*289	Santa Ana Cuau-	Santa Ana Cuau-				
	chimola	chimola	Morelos	Manantial		Termal
*290	Tehuixtla	Tehuixtla	Morelos	Manantial	34	Termal
291	Tula	San Gabriel	Morelos	Manantial		Termal
292		Tlaltzapán	Morelos	Manantial		Termal
*293	Agua Caliente	Amatlán de Canas	Nayarit	Manantial		

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
* 294	Agua Caliente	Mazatlán	Nayarit	Manantial	40	Termal
295	Agua Caliente	Río Santiago	Nayarit	Manantial		Termal
296	Aguamiloya	Tepic	Nayarit	Manantial		Termal
* 297	Bella Vista	Tepic	Nayarit	Manantial	32	Termal
* 298	Caramota	Huajicori	Nayarit	Manantial		Termal
* 299	Comisaría del Terrero	Ixtlán del Río	Nayarit	Manantial	40	Termal
300	El Tecomate	Valle de Banderas	Nayarit	Manantial		
* 301	La Concha	Zapotán	Nayarit	Manantial		
302	Las Tinajas	Santa Isabel	Nayarit	Manantial	39	Termal
* 303	Olga	Zapotán	Nayarit	Manantial		Termal
* 304	San Blasito	Amatlán de Cañas	Nayarit	Manantial		Termal
* 305	Uzeta	Tetiltlán	Nayarit	Manantial	No	Termal
* 305	Fernandita y Loma Atravesada	Rancho del Fresno	Nuevo León	Manantial		
* 307	La Boca	Santiago Guajuca	Nuevo León	Manantial	35	Termal
308	Las Huertas	Montemorelos	Nuevo León	Manantial		
309	Potrero Prieto	Iturbide	Nuevo León	Manantial		Termal
* 310	San Ignacio	Rancho Guadalupe	Nuevo León	Manantial	60	Termal
* 311	Topo Chico	Monterrey	Nuevo León	Manantial		Termal
312	Agua Caliente	La Ventosa	Oaxaca	Manantial	46	Termal
* 313	Juchitán	Juchitán	Oaxaca	Manantial		50
* 314	Paraje Totonilco	Nopala	Oaxaca	Manantial	42	Termal
* 315	San José	San José	Oaxaca	Manantial		40
* 316	Santa María Solá	Solá	Oaxaca	Manantial	30	Termal
* 317	Yucutindoo	Yucutindoo	Oaxaca	Manantial		
318		Teotepac	Oaxaca	Manantial		
319		Zimatlán	Oaxaca	Manantial	38	Termal
* 320	Agua Azul	Ciudad de Puebla	Puebla	Manantial		Termal
* 321	Balneario de la Paz Balneario San Carlos Balneario San Sebastián Paseo Bravo	Ciudad de Puebla	Puebla	Manantiales	29	Termales

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
* 322	Baños de Atotonilco	Huehuetlan el Grande	Puebla	Manantial		Termal
323	Baños de Axocopan	Axocopan	Puebla	Manantial		Termal
324	Baños de Axuxco o Petlanco	Hacienda Axuxco	Puebla	Manantial		
325	Baños de Colucan	Colucan	Puebla	Manantial		Termal
326	Baños de Iztatlala	Municipio de Matamoros	Puebla	Manantial	55	Termal
* 327	Chignahuapan	Chignahuapan	Puebla	Manantial	35	Termal
* 328	El Riego Garci-Crespo San Lorenzo	Tehuacán	Puebla	Manantiales	29	Termales
* 329	Rancho Colorado	Ciudad de Puebla	Puebla	Manantial		Termal
330	Tlacomulco	Chignahuapan	Puebla	Manantial	53	Termal
* 331	Tlaltenango	Municipio de Chiconautla	Puebla	Manantial		Termal
332		Libres	Puebla	Manantial	92	Termal
333		Torija	Puebla	Manantial		Termal
* 334		Zacatlán	Puebla	Manantiales		
335	Acatitlán	Municipio de Jalpan	Querétaro	Manantial		Termal
336	Amascala	Municipio de Querétaro	Querétaro	Manantial		Termal
*337	Baños de la Cañada	Querétaro	Querétaro			
* 338	Batan	Pueblito	Querétaro	Manantial		
339	Canoa	Municipio de San Joaquín	Querétaro	Manantial		
340	Concá	Municipio de Arroyo Seco	Querétaro	Manantial		Termal
* 341	Juriquilla	Querétaro	Querétaro	Manantial		
342	La Purísima	Municipio de Arroyo Seco	Querétaro	Manantial		
* 343	San Bartolo	San Juan del Río	Querétaro	Manantial		Termal
344	Tancamá	Municipio de Jalpan	Querétaro	Manantial		Termal
345	Tashiró	San Juan del Río	Querétaro	Manantial	45	Termal

NUMERO	ENTIDAD	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
346	Tequisquiapan	San Juan del Río	Querétaro	Manantial	35	Termal
347		Querétaro	Querétaro	Hervideros	95	Termal
348	Don Diego	Municipio de Venado	San Luis Potosí	Manantial	30	Termal
* 349	Gogorrón	Villa de Reyes	San Luis Potosí	Manantial	40	Termal
* 350	El Bañito	Ciudad Valles	San Luis Potosí	Manantial	34	Termal
351	Las Rusias	Municipio de Villa de Reyes	San Luis Potosí	Manantial		Termal
* 352	Laureles	Matchuala	San Luis Potosí	Manantial		
* 353	Lourdes	La Labor del Río	San Luis Potosí	Manantial	35	Termal
354	Mina Santa María de la Paz	Matchuala	San Luis Potosí	Manantial en la mina	70	Termal
* 355	Ojo Caliente	Santa María del Río	San Luis Potosí	Manantial	36	Termal
* 356	Tamuín	Tamuín	San Luis Potosí	Manantial		
* 357	Taninul	Agua Caliente	San Luis Potosí	Manantial	42	Termal
358	Agua Caliente	Atotonilco	Sinaloa	Manantial		Termal
* 359	Agua Caliente	Concordia	Sinaloa	Manantial		Termal
* 360	Agua Caliente	El Fuerte	Sinaloa	Manantial		Termal
* 361	Agua Caliente	Sinaloa				
* 362	Agua Caliente de Yurcar	San Ignacio	Sinaloa	Manantial		
* 363	Cacalotán	Cacalotán	Sinaloa	Manantial		
* 364	Huerta de los Ríos	Alicamá	Sinaloa	Manantial		Termal
* 365	Imala	Culiacán	Sinaloa	Manantial		Termal
* 366	La Ciénaga	La Ciénaga	Sinaloa	Manantial		Termal
* 367	Matatán	Matatán	Sinaloa	Manantial		
* 368	Palmarito	Palmarito	Sinaloa	Manantial		Termal
* 369	Potrerrillo	Guadalupe de los Reyes	Sinaloa	Manantial	45	Termal
* 370	Potrerrillos	Potrerrillo	Sinaloa	Manantial		
371		Altata	Sinaloa	Manantial	90	Termal
372		Bacubierta	Sinaloa	Manantial		Termal
373		Concordia	Sinaloa	Manantial		Termal
374		Culiacán	Sinaloa	Manantial	97	Termal
375		Mazatlán	Sinaloa	Hervideros	97	Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
376		San José de Gracia	Sinaloa	Manantial		Termal
377		Santa Fé	Sinaloa	Manantial		Termal
378	Agua Caliente	Municipio de Aconchi	Sonora	Manantial	32	Termal
379	Agua Caliente	Municipio de Cumpas	Sonora	Manantial	36	Termal
380	Agua Caliente	Ciudad Obregón	Sonora	Manantial		Termal
* 381	Banamichi	Arizpe	Sonora	Manantial		
382	Cajoncito	Municipio de Rosario	Sonora	Manantial	37	Termal
* 383	Cocorito	Cocorito	Sonora	Manantial		
384	Cueva Santa	Municipio de Arizpe	Sonora	Manantial	38	Termal
385	El Tufanito	Ciudad Obregón	Sonora	Manantial		Termal
386	Punta Peñasco	Punta Peñasco	Sonora	Manantial		Termal
* 387		Aconchi	Sonora	Manantial		Termal
* 388		Alamos	Sonora	Manantial		Termal
* 389		Bacadehuachi	Sonora	Manantial		Termal
* 390		Batúc	Sonora	Manantial		Termal
* 391		Cumpas	Sonora	Manantial		Termal
392		Divisadero (Norte)	Sonora	Manantial		Termal
393		Divisadero (Sur)	Sonora	Manantial		Termal
394		Guaymas	Sonora	Manantial	70	Termal
* 395		Huasabás	Sonora	Manantial		Termal
* 396		Imuris	Sonora	Manantial		Termal
397		La Libertad	Sonora	Manantial		Termal
* 398		Moctezuma	Sonora	Manantial		Termal
* 399		Nacori Chico	Sonora	Manantial		Termal
* 400		Nacoziari de García	Sonora	Manantial		Termal
* 401		Oputo	Sonora	Manantial		Termal
402		Sahuaripa	Sonora	Manantial		Termal
* 403	Húimanguillo	Macatepec	Tabasco	Manantial		
* 404	La Guadalupe	Cárdenas	Tabasco	Manantial		
* 405	Tapijulapa	Tlacotalpa	Tabasco	Manantial		
406	Agua Caliente	Aldama	Tamaulipas	Manantial		Termal
* 407	La Azufrosa	Ciudad Mier	Tamaulipas	Manantial		Termal
* 408	Pozo Azufroso	Antiguo Morelos	Tamaulipas	Manantial		Termal

NUMERO	NOMBRE	POBLACION O ACCIDENTE GEOGRAFICO CERCANO	ENTIDAD	TIPO DE MANIFESTACION	TEMPERATURA °C	
409		Sotolamarina	Tamaulipas	Manantial		Termal
* 410	Apizaquito	San Luis Apizaquito	Tlaxcala	Manantial		
* 411	Atotonilco	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Manantial		No Termal
* 412	Totolozingo	El Carmen	Tlaxcala	Manantiales		
413		Molino de Tepeyanco	Tlaxcala	Manantial		
* 414	Carrizal	Carrizal	Veracruz	Manantial		Termal
* 415	El Coyame	Catemaco	Veracruz	Manantial		
* 416	Palmar	Palmar	Veracruz	Manantial		Termal
* 417	Zontecomapán	Catemaco	Veracruz	Manantial	50	Termal
418	Almoloya	Municipio de Río Grande	Zacatecas	Manantial		Termal
419	Atotonilco	Río Aguanaval	Zacatecas	Manantial		Termal
* 420	Atotonilco	Valparaíso	Zacatecas	Manantial	75	Termal
* 421	Apozol	Apozol	Zacatecas	Manantial		Termal
422	Ciénaga	Municipio de Río Grande	Zacatecas	Manantial		Termal
423	Ojo Caliente	Luis Moya	Zacatecas	Manantial		Termal
* 424	Ojo de Agua de la Higuera	Higuera	Zacatecas	Manantial		
425	Sain Alto	Sain Alto	Zacatecas	Manantial	32	Termal
426	San Felipe	Municipio de Río Grande	Zacatecas	Manantial		Termal
427	San Martín	Municipio de Nieves	Zacatecas	Manantial		Termal
428	Santa Cruz	Fresnillo	Zacatecas	Manantial	40	No Termal
429	Tepizcuasco	Jalpa	Zacatecas	Manantial		Termal

* Manantiales a cuyas aguas se les atribuyen propiedades curativas.

Las localidades números 15, 161 y 266 son zonas donde se efectúan actualmente estudios para aprovechar las posibilidades geotérmicas manifestadas.

Muchos de los manantiales antes citados son sitios de recreo debido a que la gente se interesa en ellos, porque considera que sus aguas son de carácter medicinal; todos tienen gran contenido de sales y en su mayoría son termales.

Los manantiales no termales tienen menor cantidad de minerales en disolución; por lo tanto, en la generalidad de los casos, se trata de agua potable, la cual se emplea para abastecer las ciudades y para riego.

Con respecto al alumbramiento del agua subterránea en México, el método más común y usual es la perforación de pozos.

Cualquier pozo que se construya debe ser registrado según el Reglamento de las Aguas Subterráneas, en el Departamento de Aguas del Subsuelo, sin embargo, según informaciones de este departamento, sólo se tienen registrados 11 819 pozos.

Parece ser que esta deficiencia en el registro de obras de alumbramiento se debe a que más bien se avisa a la Secretaría de Recursos Hidráulicos cuando la zona en la que se desea extraer el agua está vedada, pero en donde hay alumbramiento libre ni el usuario ni la propia Secretaría se preocupan por hacer el debido registro.

En seguida se da el número de pozos registrados oficialmente hasta abril de 1965, anotando los distintos usos que se les da.

...

ESTADO	RIEGO	USOS DOMESTICOS	INDUSTRIA	TOTAL
Aguascalientes	450	27	23	500
Baja California	77	8		85
Baja California Sur	17			17
Coahuila	314	10	16	340
Chihuahua	515	35	20	570
Distrito Federal		31	724	755
Durango	1 204	56		1 260
Guanajuato	239	38	5	282
Hidalgo	5	100		105
Jalisco	460		3	463
México	1 437	83	110	1 630
Nayarit	7	1	5	13
Morelos	3	35	50	88
Nuevo León	8	2 016	612	2 636
Puebla			590	590
Querétaro	161	150	239	550
San Luis Potosí	142	19	14	175
Sinaloa	125	10		135
Sonora	1 000			1 000
Tamaulipas	170		20	190
Tlaxcala	56	35	64	155
Zacatecas	272	8		280
	<u>6 662</u>	<u>2 662</u>	<u>2 495</u>	<u>11 819</u>

En realidad no se pueden sacar conclusiones muy exactas de esta información porque se podría dar el caso de que los pozos que están registrados de un Estado, sean de zona vedada y exclusivamente se utilicen para la industria; en cambio en el resto del Estado, donde hay libre alumbramiento, puede que exista mayor número de pozos y se empleen éstos para usos domésticos o bien para riego. Además en otras regiones de alumbramiento libre se perforan pozos por lo general para usos domésticos; tal vez si éstos

estuvieran registrados igualarían la suma de pozos empleados para riego, que es la actividad en la que más agua se emplea; tal es el caso de Yucatán donde, dada la condición del terreno, el abastecimiento de agua se hace por medio de pozos que muchas veces son naturales, además de los aljibes que almacenan el agua de lluvia.

Estos datos muestran la importancia que tiene el empleo de agua subterránea en la agricultura y en las zonas con desarrollo industrial.

Además del empleo que se le da al agua subterránea en nuestro país, se le puede dar otros usos, especialmente al agua termal que en otros países se utiliza para el clima artificial y para extraer las sustancias disueltas en ella, que bien pueden utilizarse en la industria. Seguramente esto se hará en México en un futuro no muy lejano, debido a la importancia que se le está otorgando al estudio de la geotermia, precisamente para aprovechar los fenómenos hidrotermales.

La extracción de agua subterránea para las actividades ya mencionadas ha provocado la necesidad de declarar vedadas varias zonas del país por diversas causas que varían según la región.

CAPITULO V
PROBLEMAS DERIVADOS

La extracción del agua subterránea puede provocar ciertos problemas, ya sea por no llevar un control de su explotación o por explotarla en una proporción mayor a la de realimentación del acuífero.

Cuando estos problemas se presentan, se procede a establecer vedas con el objeto de evitar el avance del perjuicio causado por el alumbramiento exhaustivo del agua del subsuelo. Aunque muchas veces se declara vedada una región, aún cuando no se haya presentado problema alguno, con el objeto de proteger y controlar la extracción del agua subterránea para así cuidar de su conservación y hacer un mejor uso de ella.

En seguida se anotan las zonas vedadas en el país y las causas que han dado lugar a su decreto. En el mapa No. 8 se muestra la localización de esas regiones.

De acuerdo con el artículo 11 de la Ley Reglamentaria del párrafo quinto del Artículo 27 constitucional en materia de aguas del subsuelo, las zonas de veda se clasifican en:

I. Zonas de veda en las que no es posible aumentar las extracciones sin el riesgo de abatir peligrosamente o agotar los mantos acuíferos.

II. Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos sólo permite extracciones para usos domésticos.

III. Zonas de veda en las que la capacidad de los mantos acuíferos permite extracciones limitadas para usos domésticos, industriales, de riego y otros.

Cuando se decreta la veda debe indicarse la fracción dentro de la cual

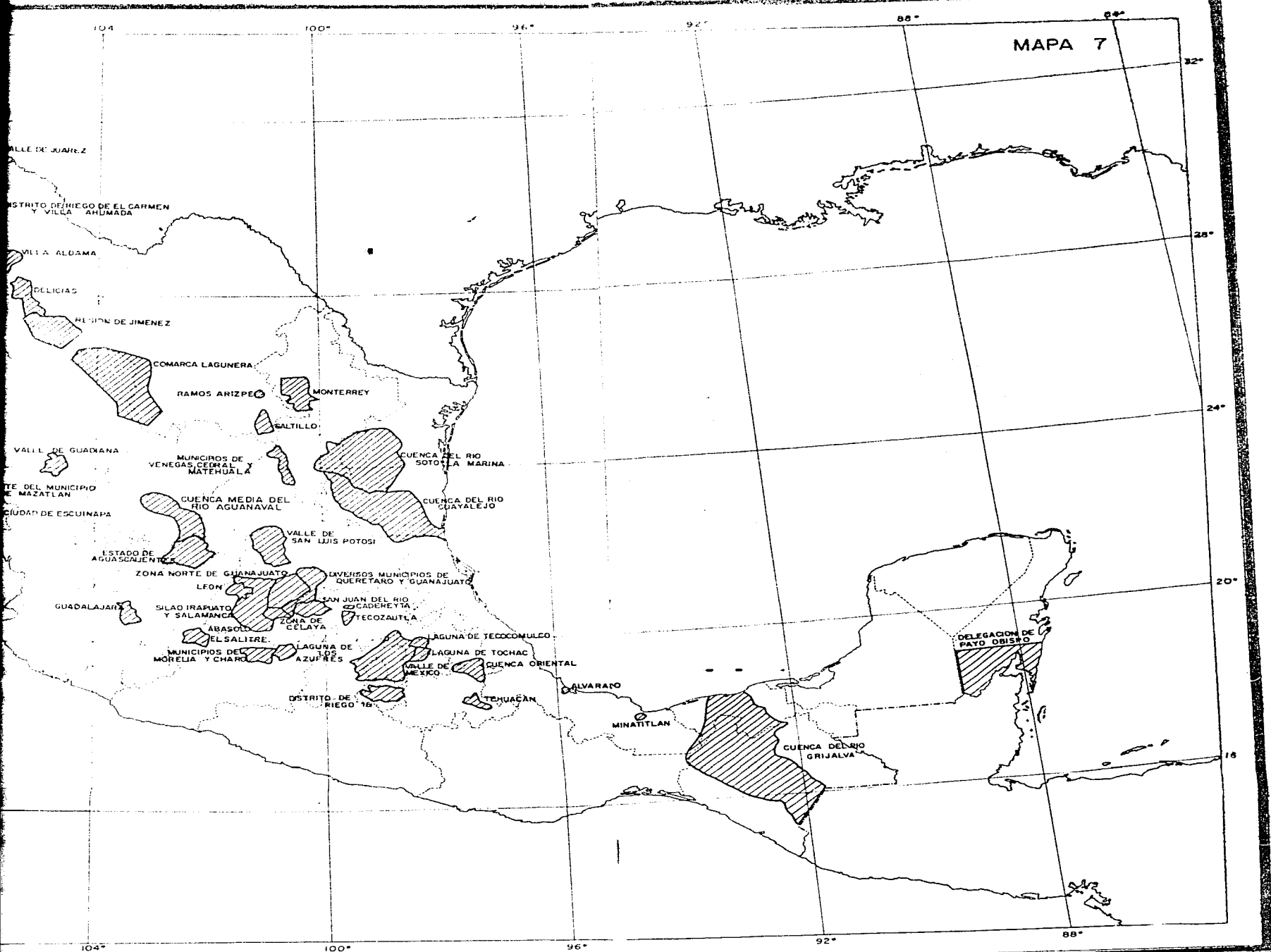
REGIONES VEDADAS PARA EL ALUMBRAMIENTO



PROYECCION CONICA CONFORME DE LAMBERT

ESCALA GRAFICA

MAPA 7



ESCALA GRAFICA 0 100 200 400 Km

queda clasificada; de no ser así se entenderá comprendida en la fracción I.

Fracción I.

Un peligro en la extracción inmoderada del agua subterránea, en las regiones costeras, es el que se presenta cuando descende el nivel de los mantos acuíferos y se rompe el equilibrio que hay entre éstos y el agua del mar, pudiéndose contaminar con las saladas, las aguas del subsuelo aprovechables, por tal causa se han vedado las siguientes regiones:

Costa de Hermosillo, Sonora; establecida el 11 de julio de 1951 y ampliada el 11 de diciembre de 1954 y posteriormente el 2 de marzo de 1963, debido a que las extracciones en los terrenos colindantes de libre alumbramiento afectaban los aprovechamientos de la región originalmente vedada. Dichas ampliaciones se hicieron con el objeto de que la utilización de las aguas subterráneas se haga de una manera ordenada y provechosa.

Distrito de Riego del Río Colorado, Baja California; establecida el 16 de diciembre de 1955.

Distrito de Riego de Culiacán, Sinaloa; establecida el 26 de noviembre de 1957.

Distrito de Riego del Río Sinaloa; establecida el 14 de noviembre de 1958.

El descenso del nivel de los mantos acuíferos puede indicar su próximo agotamiento o hacer incosteable su explotación; esta razón ha motivado las vedas de:

León, Guanajuato; establecida el 25 de octubre de 1948.

Ramos Arizpe, Coahuila; establecida el 10 de marzo de 1951 y ampliada el 8 de octubre del mismo año. En esta región afloran los manantiales denominados de Guanajuato, con los que se abastece la ciudad de Ramos Arizpe, y

cuyo caudal en algunos casos ha bajado y en otros se ha agotado, dada la poca profundidad de las corrientes que los alimentan y a las obras de alumbramiento que extraen una cantidad de agua mayor que la que puede proporcionar el manto acuífero, por lo que se estableció la veda mencionada que posteriormente se amplió con el objeto de proteger la zona.

San Juan del Río, Querétaro; establecida el 3 de enero de 1958.

Zona Norte de Guanajuato; establecida el 7 de febrero de 1958.

Existen ciertos terrenos que al perder el agua por ellos contenida, sufren una consolidación produciendo como consecuencia un hundimiento en la superficie; en este caso se encuentra la ciudad de México.

Este es un fenómeno muy singular en el país, aquí la demanda de agua para la creciente población ha provocado un excesivo bombeo para satisfacer las diversas necesidades y dado el carácter del material del subsuelo se ha creado un problema bastante serio, el hundimiento de la ciudad con sus consiguientes consecuencias como lo son las inundaciones y el cuarteamiento de los edificios. Este hundimiento se efectúa a razón de 30 cm. aproximadamente cada año, y en la actualidad algunas zonas del centro de la ciudad, están a unos 10 m. de su nivel original.*

Para aliviar la situación se pensó en construir pozos de absorción con el objeto de ver si se podía reponer, por lo menos en parte, el volumen de agua que se ha extraído y en 1953 se puso en funcionamiento un pozo de manera experimental en el Jardín de San Fernando. Los resultados fueron buenos y tiempo después se contruyeron pozos de absorción en Mixcoac, Colonia Cuauhtémoc, Colonia Hipódromo, en el centro y en diversas empresas

* UNESCO México, "Capital Inundada", Revista El Correo, julio-agosto, 1964, p. 41.

industriales; sin embargo, a pesar de los buenos resultados, estos pozos tienen más bien utilidad para facilitar el drenaje, ya que para reponer las cantidades de agua bombeada sería necesario suspender las obras de extracción.

Por otra parte con el propósito de proteger los mantos acuíferos y de evitar que continuara el hundimiento, se estableció la veda del Valle de México, el 14 de agosto de 1954, que incluye toda la cuenca porque de seguir el bombeo desenfrenado correrá la misma suerte que la capital del país.

Dentro de esta primera fracción del artículo 11 se incluye, aunque indebidamente, la veda de la Cuenca del Río Grijalva, establecida el 19 de octubre de 1957, por no estar especificada la fracción a la cual pertenece. No es propio que se comprenda en este grupo ya que en esta zona no hay el peligro de abatir o de agotar los mantos de agua subterránea, puesto que en la zona no se necesita el agua subterránea ya que el agua de lluvia es suficiente para satisfacer las necesidades.

De cualquier manera, la causa por la cual se decretó vedada esta región, es la de realizar una explotación racional y ordenada de los recursos hidráulicos, tanto superficiales como subterráneos, y así hacer un mejor aprovechamiento de ellos.

Fracción II

Hay lugares donde los mantos acuíferos disponibles se encuentran a tal grado explotados, que es necesario decretar vedas para asegurar el abastecimiento de aguas para usos domésticos, ya que gran número de poblaciones por su desarrollo tanto demográfico como industrial, van requiriendo con el tiempo mayor cantidad de agua, por este motivo se establecieron las siguientes vedas:

Cañada del Marqués, Querétaro; establecida el 13 de febrero de 1949.

Abasolo, Guanajuato; establecida el 22 de diciembre de 1949.

Tequisquiapan, Querétaro; establecida el 27 de octubre de 1950 y ampliada el 3 de diciembre de 1960.

Alvarado, Veracruz; establecida el 3 de febrero de 1951.

Guadalajara, Jalisco (Valles de Atemajac, Tetistán y Toluquilla), establecida el 3 de febrero de 1951.

Monterrey, Nuevo León; establecida el 17 de julio de 1951, ampliada después el 19 de diciembre de 1956 y el 8 de mayo de 1958.

Cadereyta, Querétaro; establecida el 3 de octubre de 1951.

Saltillo, Coahuila; establecida el 7 de febrero de 1952.

Chihuahua, Chihuahua; establecida el 7 de febrero de 1952.

Cuenca del Río Tijuana, Baja California; establecida el 13 de noviembre de 1956.

Valle de San Luis Potosí; establecida el 30 de junio de 1961, ampliada el 18 de octubre de 1962.

Fracción III.

Las vedas clasificadas dentro de este grupo se han establecido más bien con el propósito de proteger los mantos acuíferos explotados con diversos fines, de los que aún en el caso de que estén abatidos, es necesario extraer el agua para cubrir las necesidades de la región de que se trate; así se encuentran los siguientes lugares vedados:

Tehuacán, Puebla; establecida el 28 de junio de 1950, ampliada después el 2 de marzo de 1959.

Región de Jiménez, Chihuahua; establecida el 12 de junio de 1951.

Valle de Juárez, Chihuahua; establecida el 18 de marzo de 1952.

Parte del Municipio de Mazatlán, Sinaloa; establecida el 25 de abril de 1952.

Zona de Celaya, Guanajuato (Región del Bajío); establecida el 29 de octubre de 1952.

Villa Aldama, Chihuahua; establecida el 31 de diciembre de 1953.

Distrito Nacional de Riego de Baja California Sur (Desde el paralelo 28°); establecida el 2 de julio de 1954.

Distrito Nacional de Riego de Casas Grandes, Chihuahua; establecida el 6 de julio de 1954.

Cuencas de las Lagunas de Tochac y Tecocomulco, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala; establecida el 19 de agosto de 1954.

Cuenca de Oriental, Puebla; establecida el 19 de agosto de 1954.

Distrito de Riego del Río Yaqui, Sonora; establecida el 14 de octubre de 1954.

Cuenca del Río Guayalejo, Tamaulipas; establecida el 21 de febrero de 1955.

El Salitre, Michoacán; establecida el 11 de febrero de 1956.

Tecoautla, Hidalgo; establecida el 11 de febrero de 1956.

Laguna de los Azufres, Michoacán; establecida el 13 de febrero de 1956.

Distrito de Riego del Río Mayo, Sonora; establecida el 21 de febrero de 1956.

Zona de Riego del Río Fuerte, Sinaloa; establecida el 25 de agosto de 1956.

Zona de Cieneguillas, Sonora; establecida el 19 de septiembre de 1956.

Distrito de Riego del Río Mocorito, Sinaloa; establecida el 18 de diciembre de 1956.

Valle del Guadiana, Durango; establecida el 19 de diciembre de 1956.

Valle de Guaymas, Sonora; establecida el 20 de diciembre de 1956.

Distrito de Riego de El Carmen y Villa Ahumada, Chihuahua; establecida el 30 de enero de 1957.

Silao, Irapuato y Salamanca, Guanajuato; establecida el 5 de junio de 1957 y ampliada el 6 de diciembre de 1958.

Comarca Lagunera; establecida el 6 de diciembre de 1958. Comprende las zonas de Ceballos y La Laguna que cubren respectivamente, parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila; aquí el agua se emplea principalmente para la agricultura y su demanda es mayor que la que se puede utilizar tanto superficial como subterránea. El nivel estático de los mantos acuíferos se está abatiendo considerablemente a causa del constante bombeo, por lo que con objeto de proteger y conservar los acuíferos del lugar se decretó la veda.

Cuenca Media del Río Aguanaval, Zacatecas; establecida el 16 de mayo de 1960.

Distrito de Riego 16, Morelos; establecida el 23 de junio de 1960 y ampliada posteriormente el 26 de marzo de 1962.

Cuenca del Río Santa Cruz, Municipios de Nogales y Santa Cruz, Sonora; establecida el 25 de enero de 1961.

Valle del Maneadero, Baja California; establecida el 21 de febrero de 1961.

Minatitlán, Veracruz; establecida el 26 de marzo de 1962.

Cuenca del Río Guadalupe, Municipio de Ensenada, Baja California; es-

tablecida el 26 de marzo de 1962.

Delicias, Chihuahua; establecida el 16 de julio de 1962.

Región de Altar, Pitiquito y Caborca, Sonora; establecida el 18 de octubre de 1962.

Ciudad de Escuinapa, Sinaloa; establecida el 23 de mayo de 1963.

Estado de Aguascalientes; establecida el 24 de mayo de 1963.

Municipios de Morelia y Charo, Michoacán, establecida el 10 de febrero de 1964.

Cuenca del Río Sotolamarina, Municipios Villagrán, Mainero, San Carlos y otros, Tamaulipas; establecida el 10 de febrero de 1964.

Diversos Municipios de los Estados de Querétaro y Guanajuato; Querétaro, Querétaro; San José de Iturbide, Doctor Mora y San Luis de la Paz, Guanajuato; establecida el 7 de mayo de 1964.

Delegación de Payo Obispo, Quintana Roo; establecida el 7 de mayo de 1964.

En realidad el problema general derivado de la extracción de las aguas subterráneas, cuando ésta se hace irracionalmente, es el abatimiento y agotamiento de los mantos acuíferos aprovechables, con sus lógicas consecuencias como el ya citado hundimiento de la ciudad de México, el peligro de la invasión del agua salada del mar a los mantos subterráneos de agua dulce, haciendo que éstos se vuelvan inútiles, o simplemente convirtiendo los mantos de agua subterránea en inaprovechables desde el punto de vista económico, dada la profundidad a la que se abaten.

Otro problema se presenta en las zonas pantanosas, donde el terreno se encuentra sobresaturado de agua y da lugar a la creación de focos propicios

para el desarrollo de enfermedades como en el caso del sureste del país.

Un fenómeno que hasta cierto punto puede considerarse como un problema causado por el agua subterránea, es el producido en las regiones de karst constituídas por terrenos calizos. Constituye un problema porque la acción del agua en estos lugares, por lo general no permite el desarrollo del suelo ya que su acción sobre la roca provoca la disolución de ésta, haciendo que la morfología típica del terreno sea diferente de la generalidad.

Como se sabe, las formas características de este tipo de terreno se deben a la acción disolvente del agua sobre las rocas calizas que lo constituyen lo cual ocasiona que al infiltrarse el agua, a través de las oquedades por ella misma producidas, se lleve los materiales que en condiciones normales ayudarían a la formación del suelo.

Este tipo de fenómeno se encuentra principalmente en la península de Yucatán en donde influye en el desarrollo de la vegetación, pues aún cuando la lluvia es suficiente, el suelo erosionado no permite un tipo de vegetación boscosa, excepto en la parte meridional de la península, debido a que la roca más antigua y consistente ha dado lugar a la formación del suelo, estableciéndose el bosque tropical.

En esta región también se presenta el problema del agua para uso doméstico, pues gran parte de ella se obtiene de las lluvias, ya que el agua del subsuelo en ocasiones está muy mineralizada.

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

Este estudio de las aguas subterráneas se ha realizado tomando en cuenta los factores condicionantes de este recurso natural, de manera general, para todo el país y es posible afirmar que en gran parte la solución al problema de la escasez de agua, está condicionada a la explotación de las aguas del subsuelo.

Pero para llevar a cabo una extracción racional de este recurso se requieren las investigaciones geohidrológicas correspondientes, ya que como se puede observar en capítulos anteriores, el agua subterránea se utiliza en gran escala y a pesar de que se han protegido las regiones en las que la extracción ha causado algún perjuicio, por medio del decreto de vedas, dicho perjuicio no se enmienda, ya que las vedas únicamente impiden la construcción de nuevas obras de alumbramiento, mas no incluyen ningún método de conservación para los acuíferos explotados.

En consecuencia, los estudios que se hagan en el futuro deberán tratar no sólo el aspecto cuantitativo, es decir, no únicamente determinar cuánta es el agua que existe para satisfacer las necesidades de la población, sino también estudiar cuál es la posibilidad de realimentación de los mantos acuíferos, con objeto de no incurrir en los errores ya cometidos y así con una explotación racional, aprovechar el agua subterránea al máximo, sin consecuencias desfavorables.

La conservación del agua subterránea es un factor primordial en cualquier estudio que se haga al respecto y la vegetación desempeña un papel muy importante en este caso. De los factores que influyen en la infiltración del agua, el único que se puede modificar más o menos es la vegetación; cuando ésta existe, la infiltración se hace más efectiva, aún en los terrenos impermeables,

por lo que es indispensable evitar y detener hasta donde sea posible, la gran deforestación que se lleva a cabo en nuestro territorio y proteger los suelos de la erosión; también es necesario hacer efectivos los programas de reforestación para así incrementar y asegurar el abastecimiento de agua subterránea.

En las regiones en las que se han dejado sentir las consecuencias de la extracción, además de emplear el método de conservación ya mencionado, es necesario efectuar estudios geológicos con el objeto de realizar prácticas conservacionistas en los lugares más indicados, tales como los pozos de absorción y las planicies de inundación.

En realidad los estudios geohidrológicos con los propósitos antes señalados deben ser más bien regionales, pues aunque los factores condicionantes en conjunto indican la situación reinante en el país, en cada lugar presentan variantes, sobre todo en el momento de hacer la explotación, pues en cada zona los problemas que surgen son diferentes.

En algunos casos los estudios regionales deben realizarse abarcando cuencas de escurrimiento superficial, pero en otros cuando no coinciden las cuencas superficiales con las subterráneas, la solución debe adaptarse a un punto de vista especial, basado principalmente en la geología estructural.

Así en el caso del Valle de México, la extracción excesiva ha causado un hundimiento de la región, dado el carácter de su constitución geológica y a su vez la extracción excesiva fue motivada por la deforestación de la zona que trajo como consecuencia el cegamiento de varios manantiales y la lenta o ninguna realimentación de los manantiales en explotación.

Aquí los métodos de conservación son muy urgentes pues el hundimien-

to continúa, aún a pesar de estar vedada toda la cuenca; los más indicados son la reforestación, el establecimiento de pozos de absorción en los sitios más convenientes, suspender hasta donde sea posible, las obras de extracción buscando nuevas fuentes de abastecimiento y planear una red de distribución para toda la ciudad.

Otro tipo de problemas se presenta en las costas, sobre todo en la llanura costera de Hermosillo, Sonora, donde existe el peligro de la invasión del agua del mar y debe estudiarse la manera de construir pozos mediante los cuales se bombea el agua salada, o bien establecer pozos de absorción evitando así la invasión.

Un tercer caso es el de la zona norte del país y en especial el de la península de Baja California, en donde la protección de los mantos de agua subterránea se hace indispensable, ya que la única forma efectiva de satisfacer la necesidad de agua se encuentra en la explotación de las aguas del subsuelo, cuya reposición es lenta si se considera el régimen de las aguas pluviales.

En estas regiones se requieren los estudios geohidrológicos con objeto de aprovechar el agua sin el peligro de su agotamiento. Otros casos pertenecen a las regiones en las que no ha habido ningún perjuicio, pero que de cualquier manera son útiles los estudios correspondientes para hacer una explotación racional y no sufrir las consecuencias desfavorables.

Por otra parte, es interesante hacer un registro completo de todos los manantiales y obras de alumbramiento existentes y clasificarlos de acuerdo con la utilización que se les da. Con ello se podría ver en realidad cuál de los usos del agua subterránea es el que absorbe mayor cantidad en qué zo-

nas se necesita su empleo y por qué; aunque a grandes rasgos, por la situación de las zonas vedadas, se ve cómo el agua subterránea es explotada con mayor intensidad, tanto en los lugares donde el agua superficial escasea, como en las partes donde se concentra mucha población y, por lo mismo, la necesidad de agua es mayor.

Con respecto a este punto cabe decir que se han hecho estudios por separado de los Estados de la República y en algunos se trata de una manera bastante completa, el tema de las aguas subterráneas, pero en general sólo existe un trabajo de aprovechamiento de aguas subterráneas referente a todo el país, hecho por el Banco Nacional de Crédito Ejidal. Se trata de un censo muy completo de todas las obras existentes para el alumbramiento de las aguas del subsuelo en las Sociedades de Crédito Ejidal hasta el año de 1953.

Aún cuando no se tienen los datos completos acerca del empleo del agua subterránea, con los reunidos se puede deducir que la agricultura ocupa un lugar muy importante. Al ver el mapa de las regiones vedadas para el alumbramiento del agua del subsuelo claramente se observa que en gran parte se trata de zonas en las que se han establecido distritos de riego para un mejor desarrollo de la agricultura, o bien se trata de zonas industriales.

En el primer caso, el empleo del agua subterránea en las zonas áridas del país, sobre todo en la región del norte, ha traído consecuencias buenas y malas; buenas porque ha hecho posible la fertilidad de grandes extensiones de terreno, de tal manera que la producción agrícola se ha hecho importante; malas porque esto no puede continuar indefinidamente ya que la demanda de agua para mantener los cultivos de estos lugares es muy grande, lo cual provoca un bombeo excesivo del agua subterránea, es decir, los mantos acuíferos es-

tán en peligro de agotamiento porque la explotación se hace en una proporción mayor a la de realimentación de los mismos o tal vez se trata en algunos casos de aguas subterráneas fósiles, las que difícilmente se pueden reponer. Mas esto no implica que la agricultura en estas regiones deba suspenderse, pero lo que sí se debe hacer es planear su desarrollo.

Por lo general en las regiones agrícolas se emplean los canales de riego y el encharcamiento como método para regar; esto trae consigo desventajas, sobre todo si el agua empleada es agua subterránea fósil, pues con este sistema se pierde y se desperdicia mucha agua.

En primer lugar los canales que conducen el agua para riego casi siempre se encuentran sin revestir, de manera que parte del agua se infiltra y no se puede decir con seguridad que vuelva al acuífero de donde proviene; además otra parte del agua que llevan se pierde por evaporación y en segundo lugar el agua empleada con este método resulta ser, muchas veces, más que la que los campos de cultivo necesitan.

Lo recomendable sería adoptar en general, el sistema de riego por aspersión, con el que se utiliza únicamente el agua necesaria; lo cual constituye una medida de conservación del agua en general y del agua subterránea en particular.

Por otra parte existen varias plantas resistentes al clima que impera en estos lugares y de las cuales se puede sacar provecho. Simplemente observando la vegetación natural de estos sitios, puede pensarse en una explotación racional de la misma y poner más interés en la utilidad que de ella sea posible sacar.

Al tratar el factor vegetación se citó a las plantas freatofitas que son

características de estas zonas y las cuales constituyen hasta cierto punto un problema ya que consumen y desperdician grandes cantidades de agua del subsuelo, sin provecho alguno; sin embargo, se puede sacar de ellas gran utilidad, por ejemplo, muchas variedades de pastos de estas regiones son freatofitas y bien se podrían seleccionar especies adecuadas para la alimentación de animales domésticos, desarrollar su cultivo y así fomentar la ganadería; también es posible establecer campos de cultivo de plantas características de regiones áridas que tengan una explotación desde el punto de vista industrial.

De esta manera no habrá una sobre explotación de los mantos de agua subterránea ya que son plantas que consumen poca agua y a la vez se sacaría provecho de las freatofitas evitando el inútil desperdicio de gran cantidad de agua subterránea por medio de la evapotranspiración.

Esto contribuiría mucho a la exterminación de una de las freatofitas más temibles, el mezquite que absorbe grandes volúmenes de agua del suelo impidiendo el desarrollo de otras plantas. Esta freatofita ha invadido vastas extensiones del país a consecuencia de la deforestación y de las prácticas agropecuarias irracionales, y aunque esa planta se puede explotar industrialmente, sería mejor evitar su expansión, dándole mayor importancia a los pastos ganaderos, que son de más utilidad, y sólo sacarle provecho en regiones que por condiciones climáticas no permiten el crecimiento de otra clase de vegetación.

En el segundo caso sería conveniente planear el establecimiento de las zonas industriales de acuerdo con la necesidad de agua para no incurrir en errores como el del centro del país, donde la industria crece cada día sin

que las autoridades tomen en cuenta la falta de agua, tanto para el desarrollo industrial como para las necesidades de la población.

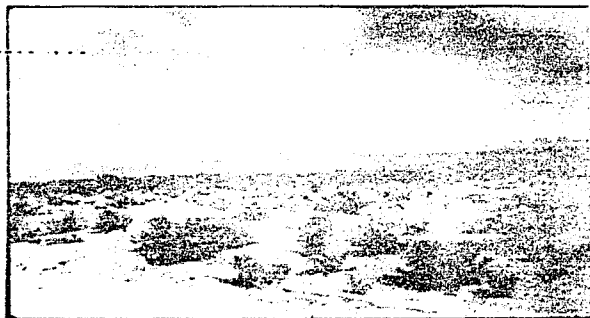
Según informaciones oficiales, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en el presente régimen gubernamental, tiene entre sus metas la de hacer un inventario de los recursos de aguas subterráneas en la República con el objeto de planear su aprovechamiento y así satisfacer las necesidades de las poblaciones que más lo requieren. Este estudio se empezará desde luego por los lugares en los que más escasea el agua, como son las zonas afi-das.

La planeación del aprovechamiento del agua del subsuelo debe ser complementada con la conservación de la misma, ya que en la actualidad el problema principal no es la extracción del agua subterránea sino su conservación.

SECCION DE FOTOGRAFIAS



Mezquite (*Prosopis juliflora*, variedad glandulosa), freatotifita, fotografiada en el Km. 102 de la carretera Monterrey-Ciudad Miguel Alemán.

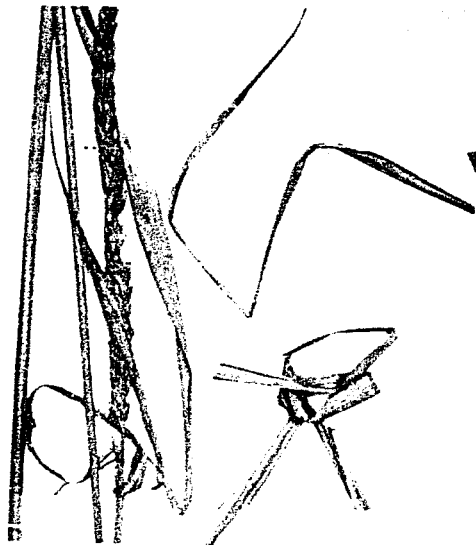


Mezquite (*Prosopis juliflora* variedad glandulosa) con *Larrea* y *Fluorescencia* en suelos aluviales. Freatotifita, fotografiada en San Antonio, carretera de Monterrey a Torreón, Km. 465.

Fotografías proporcionadas por el Instituto de Geografía de la UNAM.

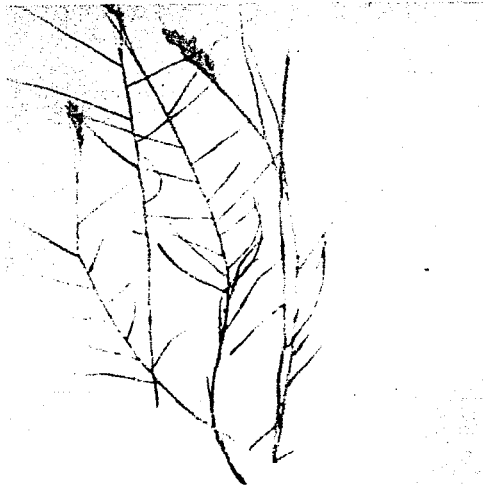


Phragmites communis, planta freatofita,
tomada en Mazatlán, Sinaloa



Elimus condensatus, freatofita, tomada en
Playa de Rosarito, Baja California.

Fotografías sacadas en el Herbario Nacional, Instituto de Biología de la UNAM por la señorita Estela Pons.



Detichlis spicata, freatofita, tomada en Progreso, Yucatán.

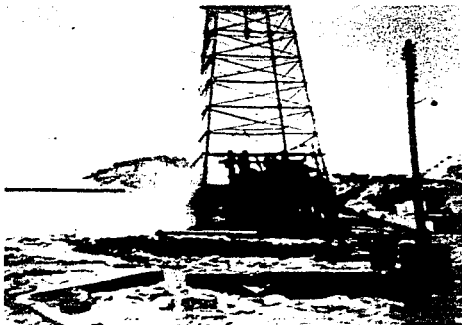


Allenrolfea occidentalis, freatofita tomada en Cuatro Ciénegas, Coahuila.

Fotografías sacadas en el Herbario Nacional, Instituto de Biología de la UNAM, por la señorita Estela Pons.



Aspectos de la región en la que se encuentra la planta geotermoelectrica de Pathé, Hidalgo.



Pozo en operación en la planta geotermoelectrica de Pathé, Hidalgo.



Arroyos secos, muy frecuentes en la península de Baja California (Carretera de La Paz a Todos Santos)



Un aspecto de la vegetación en la península de Baja California (Carretera de La Paz a Todos Santos).



Paisajes típicos de la península de Baja California
(Carretera de La Paz a San José del Cabo)

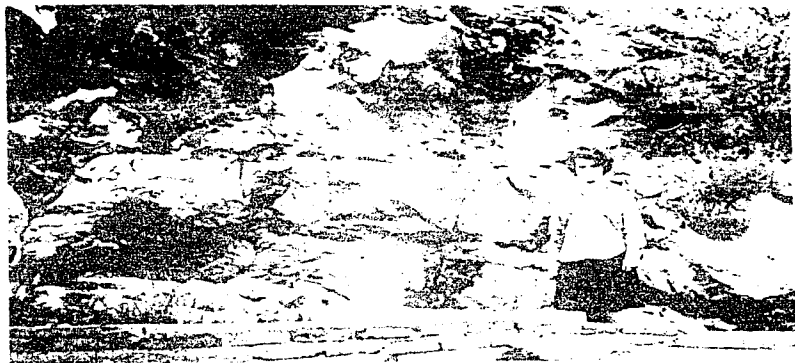




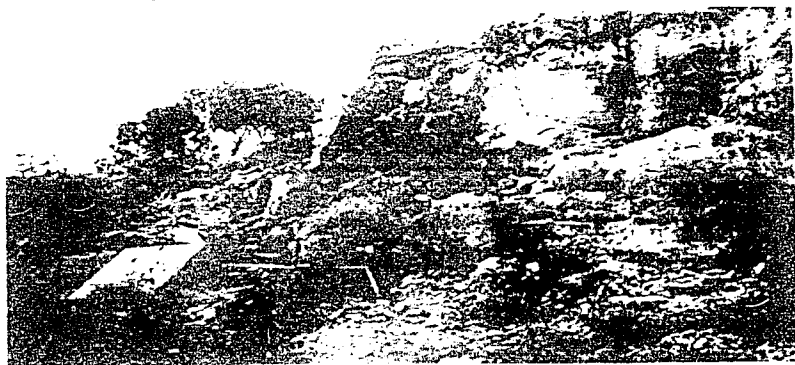
Ajacuba, Hidalgo. Pozo cavado en el que se puede
vechar las aguas de manantial del agua.



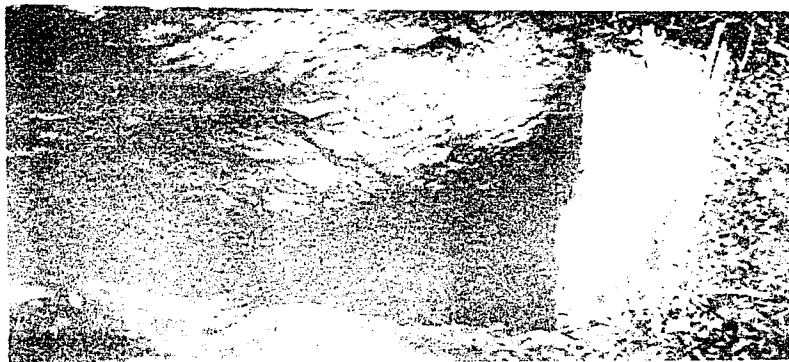
Ajacuba, Hidalgo. Pozo cavado en el que se apre-
cia el brote del agua.



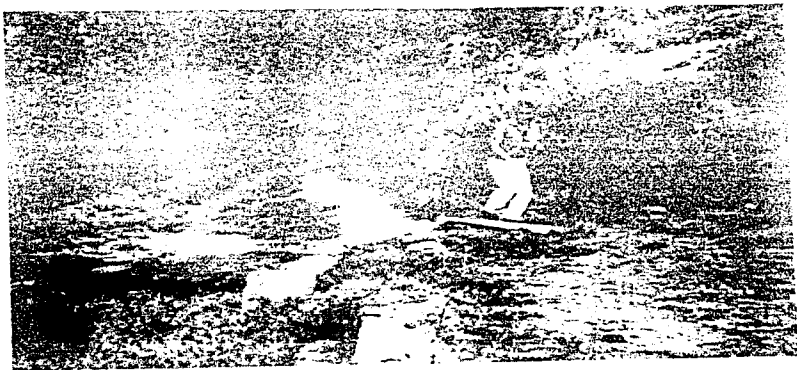
Sitio donde brota el manantial ya captado para el balneario de San Marcos, cerca de Tula, Hidalgo.



Fotografías tomadas por la señorita Estela Pons.



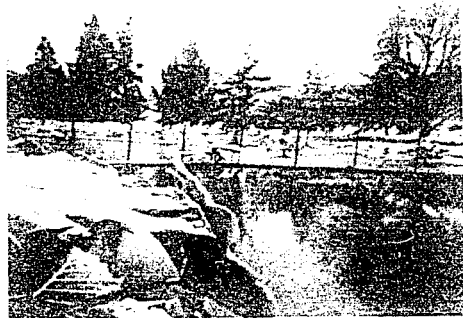
Lugar de captación de las aguas termales de Vito,
Estado de Hidalgo.



Fotografías tomadas por la señorita Estela Pons.



Nacimiento del manantial
de Atzimba en la pobla-
ción de Zinapécuaro, Mi-
choacán.



Lago Pátzcuaro, Michoacán,
depósito que recibe alimen-
tación subterránea.

GLOSARIO

ACUICIERRES. Formaciones de rocas que contienen agua pero no la transmiten en cantidad suficiente para su captación o manantiales.

ACUIFEROS. Formaciones de rocas que dejan moverse al agua a través de ellas bajo condiciones normales y son capaces de suministrarla por gravedad o por bombeo.

ACUIFEROS ABIERTOS. Depósitos que se presentan cuando el manto freático carece de un estrato impermeable que lo limita por la parte superior. También reciben el nombre de acuíferos freáticos, libres o no artesianos.

ACUIFEROS ARTESIANOS. Se tienen cuando el agua subterránea está limitada por un estrato impermeable. Se conocen también como acuíferos confinados de presión u ocluidos

ACUIFEROS CONFINADOS. Ver acuíferos artesianos.

ACUIFEROS DE PRESION. Ver acuíferos artesianos.

ACUIFEROS FREATICOS. Ver acuíferos abiertos.

ACUIFEROS LIBRES. Ver acuíferos abiertos.

ACUIFEROS NO ARTESIANOS. Ver acuíferos abiertos.

ACUIFEROS OCLUIDOS. Ver acuíferos artesianos.

ACUIFUGOS. Formaciones incapaces de absorber y transmitir el agua.

AGUA CAPILAR. La que existe en los intersticios del suelo debido a fenómenos de capilaridad.

AGUA DE GRAVEDAD. La que se mueve bajo la influencia de la gravedad, una vez satisfecha la humedad del suelo.

AGUA HIGROSCOPICA. La que el suelo absorbe de la atmósfera húmeda y pasa a formar películas muy delgadas alrededor de las partículas que lo forman.

AGUA LIBRE. Ver agua de gravedad.

AGUA SUBTERRANEA. La que se encuentra dentro de la litosfera.

AGUA SUSPENDIDA. El agua infiltrada contenida en la zona de aereación.

AGUA VADOSA. La que se infiltra y se dirige hacia el manto freático.

AGUAS ARTESIANAS. Las de los acuíferos confinados.

AGUAS ASCENDENTES. Aguas subterráneas bajo presión hidrostática cuya superficie piezométrica, al salir del acuífero, queda bajo la superficie del terreno.

AGUAS BROTANTES. Aguas subterráneas bajo presión hidrostática cuya superficie piezométrica, al salir del acuífero, queda arriba de la superficie del terreno.

AGUAS CONGENITAS. Ver aguas fósiles.

AGUAS CONNATAS. Ver aguas fósiles.

AGUAS FOSILES. Las que resultaron de una acumulación que tuvo lugar en el pasado geológico, y que en el presente no reciben realimentación alguna.

AGUAS FREATICAS. Las de los acuíferos libres.

AGUAS JUVENILES. Aguas que tienen un origen diferente a las provenientes de la atmósfera, tales como las magmáticas y las volcánicas.

AGUAS MAGMATICAS. Aguas que proceden de la solidificación de los magmas.

AGUAS METEORICAS. Las que proceden de la atmósfera.

AGUAS VOLCANICAS. Las que se originan por fenómenos de vulcanismo.

ALMOLOYA. Voz nahua formada por atl, agua y moloni, manar; significa: donde algunas veces mana el agua.

APULCO. Voz nahua formada por atl, agua; poloa, perderse y co, final: lugar donde se pierde el agua.

ATOTONILCO. Del nahua; atl, agua y tonilli, caliente: donde hay augas termales.

AXOCOPAN. Donde hay agua agria o ácida.

AXUXCO. En el agua brotante.

CAMARA MAGMATICA. Depósito de magma a una distancia relativamente cercana a la superficie.

CAPILARIDAD. Fenómenos de adherencia entre sólidos y líquidos, que se explica por la tensión superficial.

CHICONCUAC. Voz nahua formada por chicome-siete y atl-agua:siete aguas

CHIGNAHUAPAN. Voz nahua formada por chicunahui-nueve y apan- río: nueve aguas.

FILTRACION EXCURRENTE. Escape difuso del agua subterránea hacia la superficie.

FILTRACION INCURRENTE. Ver infiltración.

FRANJA CAPILAR. Parte inferior de la zona de aereación humedecida con el agua que asciende por capilaridad de la zona de saturación.

FRANJA DEL AGUA DEL SUELO. Parte superior de la zona de aereación.

FRANJA INTERMEDIA. Zona que comunica a la franja del agua del suelo con la franja capilar.

FREATOFITAS. Plantas que extienden sus raíces hasta el manto freático para alimentarse.

GEOHIDROLOGIA. Es la parte de la Hidrología que se ocupa de las aguas subterráneas en todos sus aspectos.

GEOTERMIA. Geo, tierra; thermos, calor; parte de la Geofísica que se ocupa del estudio del calor de la Tierra.

GEYSER. Manantial termal de origen volcánico como últimas manifestaciones de esta clase de fenómeno.

HERVIDERO. Manantial donde surge el agua con desprendimiento abundante de burbujas gaseosas que hacen ruido y agitan el líquido.

HIDROLOGIA. Ciencia que trata del estudio de las aguas.

INFILTRACION. Movimiento del agua hacia el manto freático.

MANANTIALES. Brotes concentrados de agua subterránea que aparecen en la superficie del terreno.

MANIFESTACIONES GEOTERMICAS. Fenómenos producidos por el calor de la tierra, tales como los manantiales termales y el vapor de agua proveniente del interior de la tierra.

MANTO ACUIFERO. Formación rocosa que contiene agua susceptible de ser extraída por bombeo o por gravedad.

MANTO FREATICO. La capa saturada del acuífero freático.

NIVEL DINAMICO. Nivel del agua de un acuífero después de haber sido bombeada.

NIVEL ESTATICO. Nivel de la superficie freática y piezométrica sin haber bombeado el agua.

OJO DE AGUA. Manantial que surge en un llano. Aquí suele brotar el agua por entre la arena del fondo o por las grietas de las rocas.

PATHE. Palabra otomí que significa agua termal.

PERCOLACION. Movimiento lento que adquiere el agua al llegar a la zona de saturación.

PERMEABILIDAD. Propiedad de las rocas de dejar pasar el agua a través de sus intersticios.

PERMEABILIDAD CONTINUA. La que se presenta cuando los poros o intersticios de la roca están comunicados entre sí.

PERMEABILIDAD EN GRANDE. Ver permeabilidad localizada.

PERMEABILIDAD EN PEQUEÑO. Ver permeabilidad continua.

PERMEABILIDAD LOCALIZADA. La que se presenta cuando el agua se infiltra a través de fisuras y grietas de las rocas.

POROSIDAD. Propiedad de las rocas de contener intersticios. Su valor se da en porcentaje e indica el volumen de la roca ocupada por dichos intersticios.

PRESION HIDROSTATICA. Presión a la que están sometidas las aguas artesianas (ascendentes y brotantes).

PURUAGUA. Del tarasco puruuani, hervir: aguas termales.

PURUANDIRO. Del tarasco puruuani, hervir: lugar de hervideros, de fuentes termales.

RESURGENCIA. Acción y efecto de volver de nuevo a la superficie el río que antes se había perdido bajo ella.

SUPERFICIE DE PRESION. Ver superficie piezométrica.

SUPERFICIE FREATICA. Parte superior del manto freático, es decir, el límite de la zona libre del agua que ocupa la zona de saturación. También se le llama superficie hidrostática.

SUPERFICIE HIDROSTATICA. Ver superficie freática.

SUPERFICIE PIEZOMETRICA. Nivel al cual llegan las aguas ascendentes o brotantes sin ser bombeadas.

TENSION SUPERFICIAL. Se debe a la atracción intermolecular (cohesión) que la masa de un líquido ejerce sobre las moléculas situadas en la superficie.

USOS AGRICOLAS. En los que se emplea el agua, en esta caso subte-

rránea, para riego.

USOS DOMESTICOS. En los que se emplea, en este caso el agua subterránea, para el abastecimiento de casas habitación, escuelas, oficinas, comercios, centros culturales y sanatorios, talleres de tipo artesano e industrias en las que el agua no sea elemento básico en el proceso de transformación industrial, así como las que se utilicen en predios agrícolas cuya superficie no exceda de una hectárea.

USOS INDUSTRIALES. En los que se emplea el agua subterránea como materia prima en el proceso de transformación industrial.

USOS MUNICIPALES. En los que se usa el agua subterránea para satisfacer las necesidades públicas, tales como extinguir incendios, regar jardines, limpiar calles, abastecer edificios públicos, etc.

ZONA DE AEREACION. La que se encuentra sobre el nivel freático.

ZONA DE SATURACION. La que se localiza bajo el nivel freático cuyos intersticios se encuentran en su totalidad ocupados por el agua.

ZONAS DE SATURACION COLGADAS. Son zonas de saturación de menor extensión que la principal y se presentan en la zona de aeración.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilera P., J. M. Geografía del Estado de Aguascalientes. Ediciones de El Nacional. México, 1954.
- Alderete, R.J. y Rivera, V. Geografía del Estado de San Luis Potosí. Librería Española, México, 1945.
- Almacenes Nacionales de Depósito. Estado de México, Esquema Social y Económico. Departamento Técnico, México, 1956.
- Almada, F.R. Geografía del Estado de Chihuahua. Impresora Ruíz Sandoval, S.A., Chihuahua, Chih., México, 1936.
- Arroyo, J.P. Geografía del Estado de Morelos. Ediciones de El Nacional, México, 1942.
- Baldwin, H.L. and McGuinness, C.L. A Primer on Ground Water. United States Department of the Interior Geological Survey. U.S. Government Printing Office Washington. 1963.
- Bárceñas, M. Ensayo Estadístico del Estado de Jalisco Referente a los Datos Necesarios para Procurar el Adelanto de la Agricultura y la Aclimatación de Nuevas Plantas Industriales. Anales del Ministerio de Fomento de la República. Tomo IX, México, 1891.
- Benassini, O. Los Recursos Hidráulicos Elemento en la Planeación. Revista de Ingeniería Hidráulica en México. Octubre, noviembre, diciembre. Volumen XIV. Núm. 1960. pp. 33-59.
- Bennison, E.W. Ground Water, its Development, Uses and Conservation. Edward E. Johnson, Inc. Minnesota. 1947.
- Blanco M., G. Aprovechamiento Racional de las Aguas Subterráneas para Fines Agrícolas. Revista El Campo. Tomo XXIII-2a. Epoca. No. 770, abril 30, 1956. pp. 44-63.
- Blásquez L., L. La Hidrogeología en México, Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura. Volumen XX. Núm. 12. diciembre de 1942 pp. 549-570.
- Blásquez L., L. Hidrogeología de las Regiones Desérticas de México. Instituto de Geología de la UNAM. Anales. Tomo XV. México, D.F., 1959.
- Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. Hidrología de la Cuenca del Valle de México. Tomo IV. Capítulo Sexto, Hidrología de las Aguas Subterráneas. Capítulo Séptimo, Estimación de los Recursos de Aguas Subterráneas, S.R.H. México, noviembre 1964.
- Darder P., B. Circulación del Agua Subterránea. Revista Irrigación en México, Volumen IV, No. 5. marzo, 1932. pp. 504-511.

Day, A.L. Volcanoes, Geysers and Hot Springs. Sci. Monthly Volumen 47, No. 4 New York. octubre, 1938. pp. 309-315.

de Anda, L.F. El Campo de Energía Geotérmica en Pathé, Estado de Hidalgo, México. Internat. Geol. Cong. 20th. Tomo 2 Vulcanología del Cenozoico. México, D.F., 1956, Sección 1. pp. 257-283.

de Anda, L.F. Geotermia. Conferencia sustentada el 4 de julio de 1962 en la Asociación de Ingenieros Universitarios Mecánicos Electricistas. México.

De la O Carreño, A. Las Provincias Geohidrológicas de México. (Primera Parte). Instituto de Geología de la UNAM. Boletín Núm. 56. México, D.F., 1951.

De la O Carreño, A. Las Provincias Geohidrológicas de México (Segunda Parte). Instituto de Geología de la UNAM. Boletín Núm. 56. México, D.F., 1951

Departamento de la Estadística Nacional. Sonora, Sinaloa y Nayarit, Estudio Estadístico y Económico Social. México, 1938.

Echegaray B., L. Los Recursos Naturales de Yucatán. Revista Ingeniería Hidráulica en México. Julio, agosto, septiembre. Volumen IV Núm. 3. México, 1950. pp. 34-38.

Espinosa, H.A.: de Anda, L.F.; Mooser, F. Focos Termales en la República Mexicana. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Volumen XVI Núms. 7 y 8. julio y agosto de 1964.

Foglio M., F. Geografía Económica Agrícola del Estado de Michoacán. Tomo I. Imprenta de la Cámara de Diputados. México, 1936.

Franco, F. Geografía del Estado de Puebla. Ediciones de El Nacional. México, 1943.

Gómez, M. Breves Apuntes Geográficos del Distrito Norte de la Baja California. Buck Molina Co., San Diego, California, 1918.

González, P. Geografía Local del Estado de Guanajuato. Tipografía de la Escuela Militar J.O.G. Guanajuato, México, 1904.

Hernández, L. T. Geografía del Estado de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, 1943.

Herrera G., H. Censo de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas en las Sociedades de Crédito Ejidal, 1953. Banco Nacional de Crédito Ejidal, S.A. de S. V., México. 1955.

King, T. Water: Miracle of Nature. The Macmillan, Company, New York. 1959.

Legislación sobre Aguas, Bosques, Colonización; Minerales y Petróleo. Tomo Primero. Sexta Edición. Ediciones Andrade, S.A., México, D.F., 1962. pp. 122-45 a 122-357. (faltan de la 122-301 a la 122-356).

Linsley, D.D. Jr. Kohler, M.A. Paulhus, J.L. H. Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York & London. 1949. pp. 375-386.

Lorenzo V., M.I. Carta de Vegetación Natural de México (Tipos de vegetación de clima húmedo). Tesis Profesional. México, D.F., 1964.

Manzano, T. Geografía del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo, 1946.

Meinzer, O.E. Physics of Earth, Hidrology. Mc Graw-Hill Book Co. Indc., New York & London. 1952. pp. 244-259.

Meinzer, O.E. The Occurrence of Ground Water in The United States with a Discussion of Principles. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper 489, Washington, 1923. pp. 1-192.

Meinzer, O.E. Outline of Ground Water Hydrology with Definitions. U.S. Geological Survey, Water Supply Paper. 494, Washington, 1923.

Meinzer, O. E. Plants as Indicators of Ground Water. U.S. Geological Survey. Water Supply Paper. 577, Washington, 1927.

Mutzenbecher, F. Los Estudios sobre Recursos Naturales en las Américas. Tomo IV, Estudio Preliminar en México. Primera Parte: Investigación. Hidrología. México, 1953. pp. 280-281.

Novo, P. y Chicarro, F. Diccionario de Geología y Ciencias Afines. Barcelona, Madrid. Editorial Labor. 1957.

Orive de Alba, A. La Política de Irrigación en México. Fondo de Cultura Económica. México, 1960. pp.14-16.

Palacio, J.E. Puebla, su Territorio y sus Habitantes. Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate. Tomo 36 México, 1917.

Peñafiel, A. Nomenclatura Geográfica de México, Etimología de los Nombres del lugar Correspondiente a los Principales Idiomas que se hablan en la República. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México. 1895.

Pinto P., B.M. Carta de Vegetación Natural de México (Tipos de vegetación de climas secos). Tesis Profesional. México, D.F., 1965.

Reseña Relativa al Estado de Hidalgo que la Junta Corresponsal del Mismo Remite a la Exposición Universal de Nuevo Orleans. Imprenta del Gobierno del Estado, Pachuca, Hidalgo, México, 1884.

Robinson, E. W. The Role of Phreatophytes in Hidrology of Arid Re-

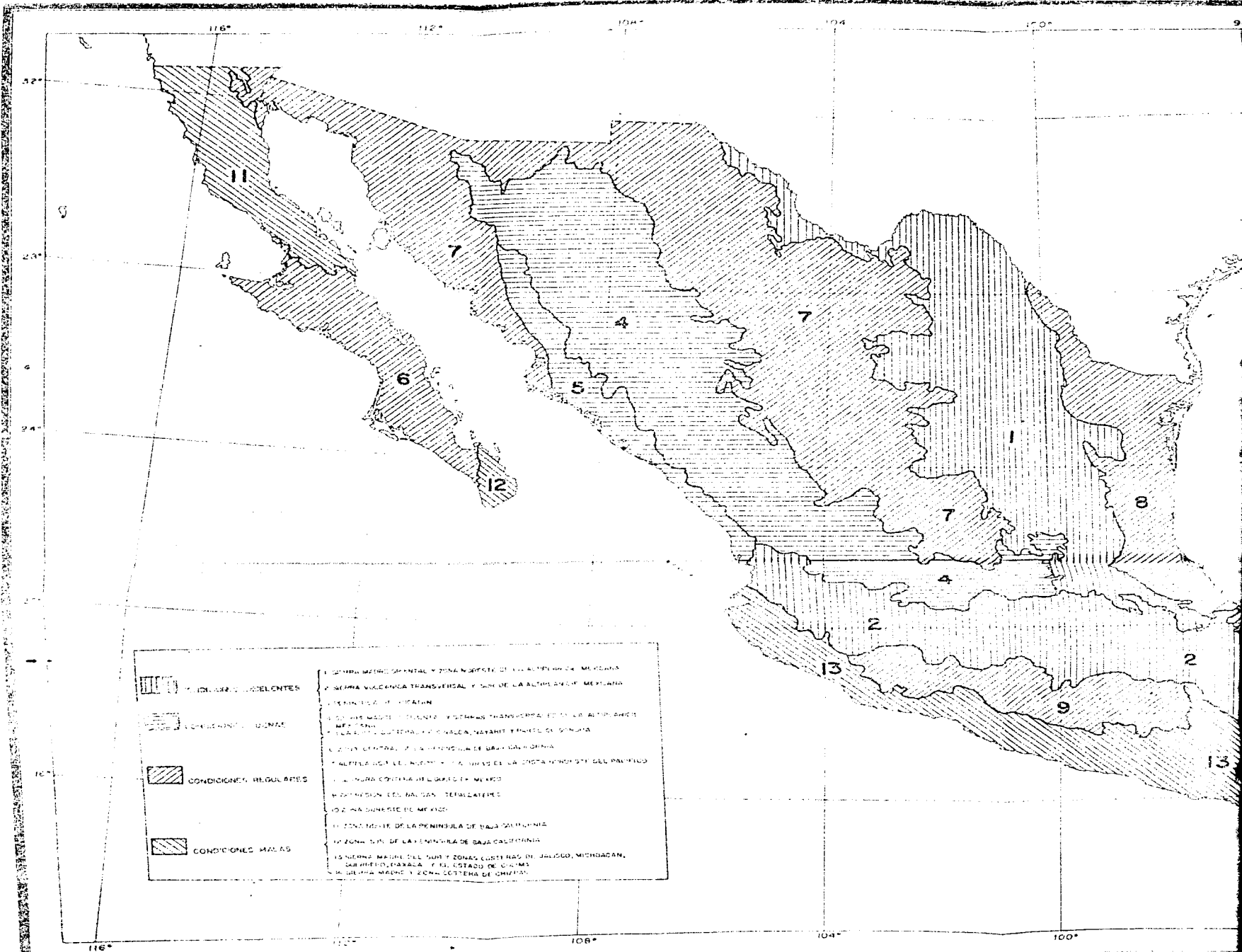
- gions. Congreso Geológico Internacional. Geohidrología de Regiones Áridas y Subáridas. XXa. Sesión, Sección IV. México, 1957. pp. 77-92.
- Rodríguez L., A. Aspects of Development and Use of Ground Water in Mexico, september, 1957. (Copia proporcionada por el autor, actualmente Director de la Dirección de Aprovechamientos Hidráulicos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos).
- Romero F., J. Geografía del Estado de Michoacán. Sociedad de Edición y Librería Franco Americana, S.A. México, 1931.
- Secretaría de la Economía Nacional. Geografía Económica del Estado de Hidalgo. Departamento de Estudios Económicos. México, 1939.
- Secretaría de la Economía Nacional. Geografía Económica del Estado de Nayarit. Departamento de Estudios Económicos. México, 1939.
- Secretaría de Industria y Comercio. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 1960-1961. Dirección General de Estadística. México, 1963. pp. 402.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. Aguas Subterráneas para el Riego de las Cosechas. Departamento de Planeación, Investigación y Estadística. Memorandum Técnico Núm. 39. México, D.F., 1o. de octubre de 1957.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. El Problema del Agua. México, abril de 1964.
- Tamayo, J.L. Geografía General de México. Geografía Física. Tomo II. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México, 1962.
- Tamayo, J.L. Geografía General de México. Geografía Económica. Tomo IV. Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas. México, 1962.
- Todd, D.K. Ground Water Hidrology. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1959.
- Thomas, E.H. The Conservation of Ground Water. McGraw-Hill Book Company. Inc. New York & London. 1951.
- Tolman, C.F. Ground Water. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York & London. 1937.
- UNESCO. México, Capital Inundada. Revista El Correo. Julio-agosto, 1964. p.41.
- Velásco, A.L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo II, Geografía y Estadística del Estado de Sinaloa. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1889.
- Velasco, A.L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo IV.

- Geografía y Estadística del Estado de Nuevo León, Oficina Tipográfica de La Secretaría de Fomento. México, 1890.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo V, Geografía y Estadística del Estado de Guanajuato, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1890.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo VII, Geografía y Estadística del Estado de Morelos. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1890.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo VIII, Geografía y Estadística del Estado de Querétaro-Arteaga, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1891.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo IX, Geografía y Estadística del Estado de Oaxaca de Juárez. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1891.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo X, Geografía y Estadística del Estado de Guerrero. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1892.**
- Velasco, A. L. Geografía y Estadística de la República Mexicana. Tomo XI, Geografía y Estadística del Estado de Tlaxcala. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento. México, 1892.**
- Vera, M. Datos Geográficos del Estado de Durango. Diario Oficial Núm. 77 Durango, México, 1897.**
- Villarello, D. J. Las Aguas Subterráneas en el Borde Meridional de la Cuenca de México. Instituto Geológico de México, Boletín Núm. 28, 1911. pp. 1-80.**
- Villarello, D. J. Potabilidad de las Aguas Subterráneas desde el Punto de Vista Hidrogeológico. Revista México Forestal. Tomo VI. Núm. 1, enero 1928. pp. 130-138**
- Vivanco, A. Baja California al Día. Distritos Norte y Sur de la Península, México, 1924.**
- Vivó E., J. La Conquista de Nuestro Suelo. Estudio sobre los recursos naturales de México. Colección de temas económicos y políticos contemporáneos de México. Ediciones de la Cámara Nacional de la Industria de Transformación. México, 1958.**
- Vivó E., J. Geografía de México. Fondo de Cultura Económica. México, 1958.**
- Waltz, P. Algunos datos sobre Aguas Subterráneas y su Aprovechamiento. Revista Irrigación en México. Enero, febrero, marzo. Tomo I. Núm. 1. México, 1930. pp. 30-35**

Weed, W.H. Economic Value of Hot Springs and Hot Spring Deposit. USGS. B. 260. 1905. pp. 589-604.

Wisler, C.O. and Brater, E.F. Hidrology. John Wiley & Sons. Inc. New York. 1959. pp. 103-191.

REGIONES GEOHIDROLOGICAS



ESCALA GRAFICA

NESES GEOHIDROLOGICAS

