2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE GEOLOGÍA

BOLETIN NUMERO 98

INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA DE LA REGION DE "EL CARDITO", ZACATECAS

POR

JORGE GARCÍA CALDERÓN

MEXICO, D.F.
1976

Primera edición: 1975

DR © 1975, Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria. México, 20, D. F.

DIRECCION GENERAL DE PUBLICACIONES

Impreso y hecho en México

Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geol. Bol. No. 98, 101 p.
2 mapas, 12 figuras, 5 tablas.

CONTENIDO

Resumen 3

Generalidades

Introducción 5
Usos del agua 6
Agradecimientos 8
Localización 8
Vías de comunicación 9
Fisiografía 9
Clima 11
Flora y Fauna 13

Geología

Investigaciones previas 17
Estratigrafía 17
Paleozoico (?) 18
Triásico 18
Jurásico 19
Cretácico 22
Terciario 31
Cuaternario 32
Rocas ígneas 33
Rocas metamóricas 35
Tectónica 35
Historia geológica 38

HIDROLOGÍA

Desarrollo histórico 43
Ciclo hidrológico 44
Balance hidrológico 47
Precipitación 47
Medición de las precipitaciones 48
Datos pluviométricos de México 52
Evapotranspiración 55
Infiltración 60
Escurrimiento 65

HIDROGEOLOGÍA

Características de las unidades hidrogeológicas 69
Unidades hidrogeológicas del área estudiada 70
Características hidrogeológicas de las unidades definidas 73
Funcionamiento hidrogeológico de las unidades definidas 75
Relaciones entre las unidades geológicas y las unidades hidrogeológicas . 80
Comparación entre las unidades litoestratigráficas y las unidades hidrogeológicas 80
Forma de presentarse las aguas subterráneas 82
Cuantificación hidrogeológica 85
Aguas subterráneas en el área 86
Conclusiones 95
Recomendaciones 96
Trabajos citados 99

ILUSTRACIONES

Mapas

1. Geológico (En sobre)
2. Hidrogeológico (En sobre)

Figuras

1. Localización del área 10
2. Tabla de correlación estratigráfica 16bis
3. Ciclo hidrológico 45

4. Ciclo hidrológico 45
5. Pluviómetro 50
6. Distribución del agua precipitada 61
7. Tiempo eficaz 63
8. „ „ 63
9. Modelo de hidrograma 67
10. Sistema idealizado del flujo de las aguas subterráneas . . . 77
11. Comparación entre unidades litoestratigráficas y unidades hidrogeológicas 81
12. Terminología de las aguas subterráneas y de acuíferos . . 84

Tablas

1. Relación de las estaciones meteorológicas y de los climas . . 12
2. Estaciones pluviométricas de la República Mexicana 53
3. Cálculo de la precipitación en la región de El Cardito, Zacatecas 54
4. Relación de pozos, norias y manantiales 87
5. Potabilidad de las aguas 89
6. Análisis químico de las aguas 91

INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA REGIÓN DE EL CARDITO, ZACATECAS

*Jorge GARCÍA CALDERÓN**

* Doctor en Ciencias (Geología). Investigador del Instituto de Geología, U.N.A.M.

RESUMEN

El agua es un elemento vital para el hombre e indispensable para el desarrollo económico y social de los pueblos. México tiene una superficie considerable de su territorio con características desérticas y semidesérticas, por lo que es necesario incrementar el estudio de las aguas subterráneas, para resolver las diversas necesidades en esas regiones. En el presente estudio se trata de establecer una secuencia en la investigación de este problema en su primera etapa, con el objeto de facilitar su solución y a la vez darse cuenta de que se tienen todavía muchas carencias en lo relacionado con la información que es necesaria para tal fin. Desde luego que no se pretende de ninguna manera agotar el tema, sino que por el contrario, se trata de interesar a otros investigadores en la búsqueda de una solución adecuada.

El área estudiada está situada en la porción norte del Estado de Zacatecas y comprende parte de los Municipios de Concepción del Oro y de Mazapil.

Con base en el estudio geológico general, efectuado previamente por el autor, se hace una revisión de los diferentes aspectos de la hidrología y de la hidrogeología de la región, se establecen las relaciones entre ambas disciplinas y se obtienen al final una serie de conclusiones derivadas del estudio en referencia.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Wasser ist ein lebenswichtiges Element für den Menschen und unerlässlich für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Völker. Ein beträchtlicher Teil der Oberfläche des mexikanischen Territoriums hat Wüsten— und Halbwüstenmerkmale, weshalb es nöting ist, die Erforschung des Grundwassers zu fördern, um die verschiedenen Bedürfnisse dieser Gegenden zufriedenzustellen. In der vorliegenden Arbeit geht es darum, eine Reihenfolge in der Untersuchung dieses Problems in ihrer ersten Etappe aufzustellen, mit der Absicht, dessen Lösung zu erleichtern und gleichzeitig sich bewusst zu werden, dass die Information diesbezüglich immer noch lückenharft ist. Natürlich wird auf keinen Fall beabsichtigt, das Thema zu erschöpfen, sondern es handelt sich im Gegenteil darum, andere Forscher an der Suche nach einer geeigneten Lösung zu interessieren.

Die untersuchte Gegend befindet sich im nördlichen Teil des Bundesstaates Zacatecas und um fasst die Gemeinden von Concepción del Oro und Mazapil.

Auf der Basis allgemeiner geologischer Studien, die früher vom Autor durchgeführt worden waren, werden die verschiedenen Aspekte der Hydrologie und Hydrogeologie der Gegend untersucht, es werden die Beziehungen zwischen beiden Disziplinen aufgestellt, und es werden schliesslich eine Reihe von Schlussfolgerungen dargelegt.

RESUME

L'eau est un élément vital pour l'homme et indispensable pour le développement économique et social des pays. Une superficie considérable du territoire mexicain est désertique ou semi-désertique ce qui rend necessaire le développement de l'étude des aux souterraines, dans le but de résoudre les nécessités de ces régions. Dans le présent travail on établit, concernant ce problème, un programme de recherche ayant comme objectifs, facilitier sa résolution d'une part et se rendre compte qu'existent encore de nombreuses carences au niveau de l'information nécessaire, d'autre part. Ainsi on ne prétend pas résoudre totalement ce thème, mais au contraire on tente intéresser d'autres chercheurs à la recherche d'une solution propice.

La région étudiée est située dans le nord de l'Etat de Zacatecas et intéresse des parties des communes de Concepción del Oro et de Mazapil.

Sur la base d'une étude de la géologie générale effectuée au préalable par l'auteur, on réalise une revision des différents aspects de l'hydrologie et de l'hydrogéologie de la région, on établit les relations existant entre ces disciplines pour en tirer finalement une séries de conclusions.

ABSTRACT

Water is a vital element for man and indispensable for the social and economical development of the nations. Mexico has a considerable area of its territory with desertic and semidesertic characteristics, so, it is necessary to increase the study of the underground waters to solve the different necessities in those regions. The present study intends to stablish a sequence in the investigation of this problem in its first stage, to facilitate its solution and at the same time, to realize that there are still a lot of needs related with the necessary information for that purpose. Doubtless, it is not pretended, in any way, to use up the subject, but on the contrary, its intention is to interest other investigators in the search of and adequate solution.

The studied area is located in the northern portion of the State of Zacatecas and comprehends part of the Municipios of Concepción del Oro and Mazapil.

On the basis of the general geologic study, previously carried out by the author, a revision is made of the different aspects of the hydrology and hydrogeology of the region, the relationships between both disciplines are established and, at the end, a series of conclutions, derived by the referred study is obtained.

GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

El agua juega un papel muy importante en el desarrollo de los seres vivientes sobre la tierra, pudiéndose decir que es la base de la vida.

En efecto, la mayor parte del organismo humano está formado por agua y constituye el primero de sus elementos, después del aire. Es imprescindible para la higiene tanto del individuo como del habitat. Asimismo, es fundamental para el desarrollo de los tejidos de los vegetales y está asociado a gran cantidad de minerales y rocas.

La utilización del agua por el hombre rebasa los consumos elementales, como son la alimentación y el crecimiento de las plantas, lo que ha determinado que, desde los tiempos más antiguos, las civilizaciones se hayan desarrollado a lo largo de los ríos y en la época moderna, las regiones más desarrolladas del mundo coincidan con zonas relativamente húmedas.

La demanda de utilización del agua para diversos usos se ha incrementado extraordinariamente, de tal manera que el desarrollo de ciertas regiones se ve, frecuentemente, frenado por la escasez del agua, a pesar de tratarse de regiones con alguna humedad.

Los grandes medios que la técnica y el desarrollo económico pueden proporcionar en la actualidad, permiten aliviar la escasez de agua almacenándola y transportándola a veces a grandes distancias, con lo que el emplazamiento de las ciudades e industrias queda menos condicionado por la existencia de agua abundante en sus proximidades.

En la actualidad, uno de los problemas mayores de la humanidad en su acelerado desarrollo, consiste en encontrar agua abundante para satisfacer la demanda en los muy diversos usos, siendo necesario investigar nuevos procedimientos para su obtención a costos razonables.

USOS DEL AGUA

Doméstico	Bebida	Higiene personal Higiene de la vivienda Vehículo para eliminar residuos varios, etc.
	Usos domésticos	
Comercial	Higiene	
	Vías de comunicación, etc.	
Industrial	Fuente de energía Incorporada a diversos productos manufacturados Como elemento auxiliar de fabricación Como refrigerante o transportador de calor Agua para fines generales	
Agrícola	Riegos	
	Lavado de terrenos, etc.	
	Demanda de incendios	
Público	Fines recreativos	
	Higiene de las poblaciones	

En México, el problema del agua es sin ninguna duda el más importante para su desarrollo económico y social. Si estudiamos el mapa hidrográfico y el climatológico del territorio nacional, se verá que la distribución de las corrientes de agua están agrupadas en determinadas áreas, quedando la mayoría de la superficie sin un adecuado abastecimiento de este vital elemento. Asimismo, la distribución irregular de la precipitación pluvial acentúa sus características climáticas.

La distribución de la precipitación pluvial y por ende la localización de las regiones áridas sobre la superficie nacional, tienen como factores fundamentales la circulación general de la atmósfera y las peculiaridades del relieve continental. A nuestras latitudes, la corriente área dominante en contraste con la de las latitudes superiores, tiene una marcada componente oriental; la forman masas aéreas procedentes del Golfo de México, de la parte tropical del Atlántico, del Mar Caribe y de la región tropical del Océano Pacífico, penetrando a

nuestro país por el sur, por el sureste y por el este. Los datos pluviométricos permiten comprobar una disminución acentuada de la precipitación pluvial en una dirección general de sureste a noroeste; las sierras próximas a la costa hacia los rumbos de penetración de los vientos, determinan un marcado contraste en la cantidad de lluvia que corresponde a uno y otro lado de las montañas. Las mayores precipitaciones pluviales ocurren sobre la vertiente de barlovento, y en todos los casos, cuando del lado de sotavento se presenta un valle profundo o una hondonada, el resecamiento del aire ocasionado por su descenso, produce áreas de gran aridez. Por esta razón, aparte de la extensa región árida del norte, que es consecuencia de este sistema general de vientos y orografía, en el centro y el sur del país también existen dispersas porciones que sufren de acentuada deficiencia pluvial.

Teniendo aproximadamente más del 60% de la superficie de México condiciones de aridez o semiaridez, es obvia la importancia que tiene para su desarrollo el abastecimiento del agua para sus diferentes usos, especialmente en aquellas regiones donde se acentúa su escasez, debido a su poca precipitación y a la carencia de manantiales o de vías pluviales. Al llevar a cabo una investigación sobre la distribución del ciclo hidrológico en estas regiones, se ve que la mayor parte de la precipitación se evapora, una parte muy pequeña escurre y la mayoría de las veces durante una corta longitud, y la otra parte se infiltra alimentando los depósitos subterráneos; por consiguiente, la única forma de poder subsanar las necesidades de agua para sus diferentes usos, en estas regiones, es aprovechando racionalmente las aguas subterráneas existentes.

Por lo anterior, se ve claramente la necesidad de incrementar la investigación de las aguas subterráneas, siendo este el principal objetivo que persigue el presente estudio, tratando de establecer una metodología para la solución de estos problemas.

Una investigación hidrogeológica en su primera etapa, que comprende desde los estudios preliminares hasta la localización para la perforación de pozos u otra obra de extracción, deberá seguir la siguiente secuencia:

1. Topografía.
2. Geología general del área.
3. Climatología.
4. Hidrología.
5. Hidrogeología.

Topografía. Las condiciones topográficas más importantes incluyen la extensión superficial y los niveles relativos de las cuencas de alimentación con respecto a las áreas en que los acuíferos son susceptibles de explotación.

La Geología general del área que se pretende estudiar constituye el marco general del problema y proporciona parte de los elementos que se van a evaluar, tales como rocas, estructuras, etc. En este caso se efectuó un levantamiento geológico a escala de 1:50,000.

Hidrología. Siendo esta la ciencia que estudia la presencia del agua sobre la tierra y sus relaciones con ella, se basa fundamentalmente en el concepto del ciclo hidrológico. Por consiguiente, con base en datos climatológicos, los conceptos de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración, son la base para determinar la potencialidad de los acuíferos.

Hidrogeología. Considerada como la Hidrología subterránea, se refiere al comportamiento de las aguas subterráneas en relación con el medio geológico, es decir, relaciona las condiciones geológicas con las hidráulicas.

El presente estudio se llevó a cabo en una región donde las condiciones son completamente adversas en lo referente a información adecuada, lo cual es un caso bastante generalizado para ciertas regiones del país, derivado fundamentalmente de la falta de estaciones meteorológicas y en el caso que existan, por lo general no cuentan con el personal y el equipo adecuado. Por lo anterior, en la exposición de conceptos que se hace a continuación, se observará que en muchos casos, especialmente en lo relacionado con la Hidrología, solamente se hacen exposiciones teóricas, debido principalmente a la falta de la información que es necesaria, para poder darle una solución adecuada al problema que se está tratando. Se hace en esta forma y no se omite, porque en este estudio se trata fundamentalmente de establecer un camino adecuado y completo para resolver estos problemas, además de que estas carencias servirán para fundamentar algunas de las conclusiones que se hacen al final del estudio.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más profundo agradecimiento a los Drs. Gloria Alencáster de Félix, Héctor Ochoterena Fuentes, Richard McGehee, Ismael Ferrusquía, Francisco Fabregat, Marc Tardi y al Ing. Heinz Lesser Jones, por haber leído y criticado el texto, así como por las valiosas sugerencias que le hicieron al respecto.

Asimismo, agradece a la Biól. Teresa Reyna la revisión que efectuó de la parte referente a la climatología, flora y fauna.

Sin embargo, el autor es el único responsable de las ideas expresadas en el presente trabajo.

LOCALIZACIÓN

El área se encuentra situada entre los 24°00′ y 24°30′ de latitud norte y entre los 101°20′ y 102°00′ longitud oeste del meridiano de Greenwich. Comprende parte de los Municipios de Concepción del Oro y Mazapil del Estado de Zacatecas. Tiene una superfirie aproximada de 3,800 km². (Fig. 1)

VÍAS DE COMUNICACIÓN

El área se encuentra cruzada de norte a sur en su porción oriental, por la carretera Federal No. 54, en el tramo comprendido entre Zacatecas y Concepción del Oro. A partir de esta carretera existe una serie de caminos de tierra en todas direcciones, siendo los principales los que unen San Tiburcio, San Francisco, El Cardito y La Gruñidora, con Nuevo Mercurio y Camacho; estas dos últimas localidades se encuentran fuera de esta zona en estudio. Otro camino importante es el que une el Centro Caprino, localizado a la altura del km 196 de la carretera número 54, con La Pardita, Tanquecillos, El Rosario, La Presita y El Cardito. Los innumerables caminos de tierra existentes son transitables especialmente en la época de secas y por vehículos de rodada alta.

El acceso a la región puede hacerse por dos direcciones principales, una de ellas sería aprovechando la Carretera No. 54 y la otra, la No. 49, en el tramo Zacatecas-Río Grande y luego siguiendo por la carretera que pasando por Nieves, llega a Camacho y de esta última localidad se sigue hacia el oriente. se pasa por Nuevo Mercurio y finalmente se llega a La Gruñidora ya en el área de estudio. También se pueden aprovechar varios campos de aterrizaje, tales como el que está en el Centro Caprino o el de Camacho.

FISIOGRAFÍA

De acuerdo con la clasificación de las provincias fisiográficas de la República Mexicana, hecha y publicada por Raisz (1959), la región El Cardito, está situada en la subprovincia denominada Meseta Central y su porción oriental colinda con la subprovincia llamada de Sierras Bajas, ambas forman parte de la provincia fisiográfica que se denomina Sierra Madre Oriental.

Los rasgos geomorfológicos de la región están representados por una serie de sierras alargadas, con una orientación general ligeramente hacia el noroeste, la cual se acentúa en su porción septentrional. Los contornos de estas sierras destacan sobre las extensas llanuras aluviales, especialmente en las partes central y sur de la zona.

Los sedimentos marinos que forman la mayor parte de estas montañas, se presentan fuertemente plegados y la intensa erosión que ha actuado sobre de ellos ha contribuido considerablemente al modelado de las actuales formas geomorfológicas, dando origen a una región que presenta un relieve general que

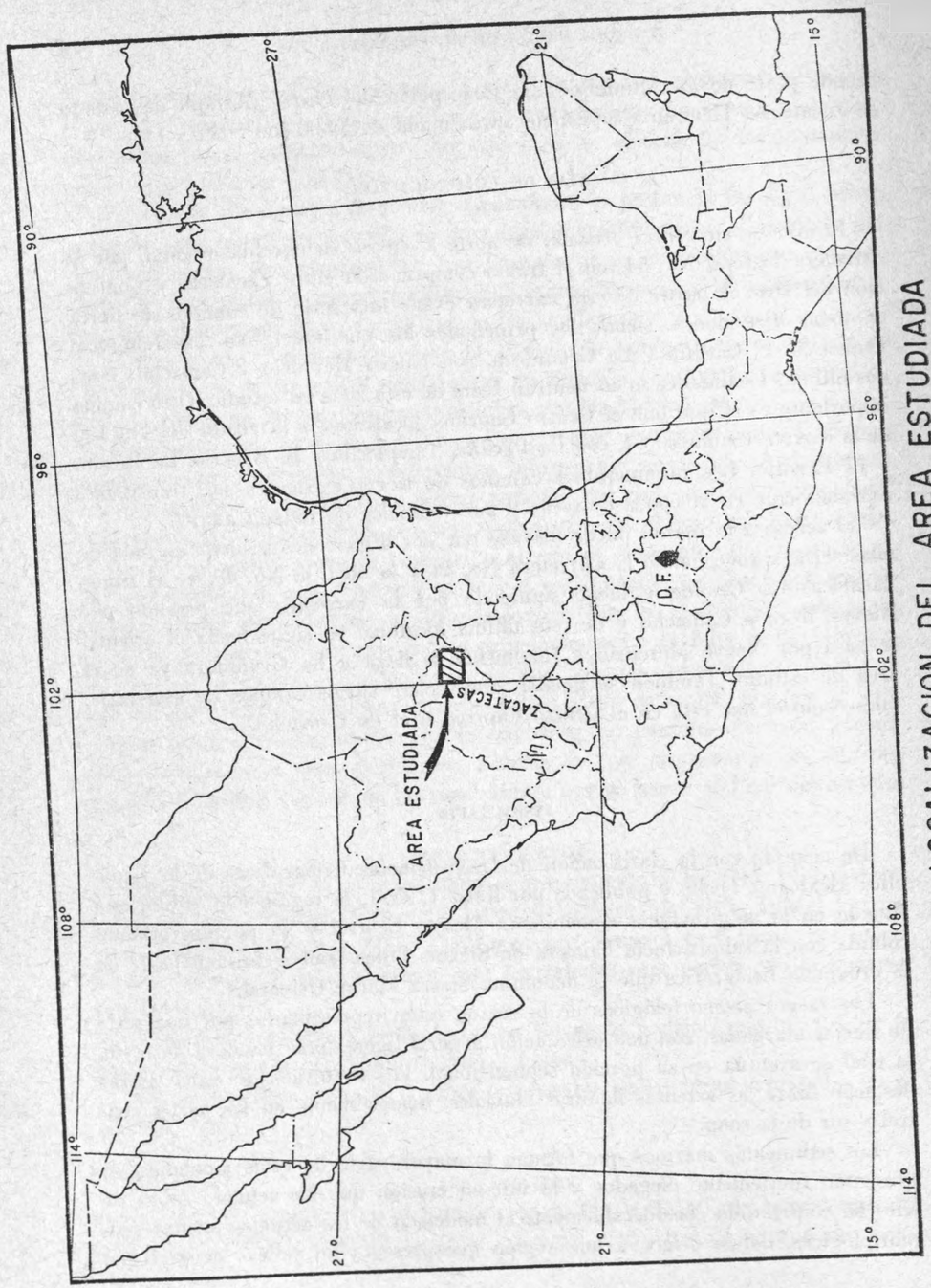

FIG. 1.- LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA

varía entre 1 100 y 1 200 m sobre el nivel del mar y con alturas máximas de 2 800 m.s.n.m. en la Sierra de Santa Rita y de 2 200 a 2 300 m en las Sierras de La Gruñidora, del Toro y de la Centella. Los cerros están erosionados en forma característica, redondeados y con pendientes suaves. En su base se han formado abanicos aluviales, continuándose con las llanuras aluviales, extensas y poco inclinadas. Algunas de las sierras se encuentran cortadas por cañones que se han desarrollado en fracturas y fallas.

Hacia el sur, el relieve topográfico disminuye originando una serie de sierras de menor elevación, tales como las que se presentan a inmediaciones de Rancho Nuevo.

En general, dentro de esta área, se presentan dos formas fisiográficas bien definidas; hacia el norte y teniendo como límite una línea imaginaria que pase por La Gruñidora, El Cardito, El Berrendo y La Pardita, las sierras son más altas y sus relieves y contornos más acentuados, mientras que hacia el sur, las sierras tienen elevaciones menores, de contornos más suaves y de área menor.

Las sierras o grupos de ellas, se encuentran separadas por amplios valles, los cuales también, aumentan en magnitud hacia el sur.

Toda la región se encuentra intensamente surcada por innumerables arroyos intermitentes, los cuales forman sistemas de drenaje de tipo dendrítico; estas corrientes fluyen hacia los valles, en los cuales desaparecen por evaporación e infiltración y solamente cuando ocurren tormentas violentas, con gran precipitación, se presenta el flujo superficial del agua. El sistema hidrográfico es endorreico. En general se presentan una series de cuencas de tamaños muy diversos, algunas de ellas real o virtualmente comunicadas entre sí, ya sea en la superficie o bien por vía subterránea. En las partes más bajas de estas cuencas se forman lagunas intermitentes o zonas de inundación.

Los fenómenos kársticos se presentan muy aisladamente y solamente se manifiestan por la presencia de algunas cavernas de disolución. Las calizas densas de las Formaciones Zuloaga y Cupido, que por lo general afloran en las partes altas de las sierras, son las que más han resistido a la erosión.

Toda la región se encuentra situada en la cuenca hidrográfica interior denominada de Concepción del Oro.

CLIMA

Dentro del área estudiada solamente hay una estación meteorológica, que es la de San Tiburcio, pero en la periferia existen varias que son las que han servido para determinar el clima. La mayoría de dichas estaciones no están equipadas convenientemente, por lo que, en lo general, solamente se tienen datos de precipitación.

TABLA 1

RELACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y DE LOS CLIMAS

Estación	*Coordenadas*	*Altura s.n.m.*	*Período de observación (años)*		*Temp. media anual °C*	*Precip. promedio anual (mm.)*	*Coef. Lang*	*Clima*
San Tiburcio	24°08′	2020 m.	—	T	—	309.5	—	
	101°29′		17	P				
Concepción del Oro	24°37′	2543 m.	8	T	16.9	370.3	21.9	$BS_o kw''(e)$
	101°25′		8	P				
Mazapil	24°39′	2250 m.	5	T	17.2	580.0	33.7	$Cw_o(x')b(e)$
	101°34′		17	P				
Cedros	24°41′	2355 m.	—	T	—	340.2	—	
	101°47′		12	P				
San Rafael	24°37′	1706 m.	—	T	—	392.3	—	
	101°59′		16	P				
Camacho	24°26′	1664 m.	—	T	—	250.5	—	
	102°21′		19	P				
Pacheco	24°01′	1886 m.	—	T	—	320.3	—	
	102°26′		15	P				
Cañitas	23°36′	2009 m.	4	T	14.5	380.0	26.2	$BS_1 kw''(e)$
	102°44′		19	P				
Guadalupe de las Corrientes	23°43′	1950 m.	19	T	15.7	320.6	20.4	$BS_o kw(w)(e)$
	102°28′		19	P				

De las observaciones efectuadas en las estaciones meteorológicas y de observaciones de campo, se pueden inferir la existencia de microclimas, derivados de lo cambiante de los factores que los determinan.

Se ha usado el sistema de clasificación climática de Köeppen (1948, p. 172) modificado por García (1964) para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. De acuerdo con lo anterior, el clima predominante en esta región, es seco y en algunas partes, semi árido templado.

Los datos que se presentan en la tabla No. 1, han sido obtenidos en el Instituto de Geografía de la U.N.A.M.

Explicación del clima, tabla No. 1

En algunas estaciones se obtuvieron los datos climáticos por interpolación.

San Tiburcio. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado con verano cálido, con lluvias de verano, presencia de canícula y extremoso.

Concepción del Oro. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado con verano cálido, con lluvias de verano, presencia de canícula y extremoso.

Mazapil. Templado, con verano fresco, subhúmedo, la mayor concentración de las lluvias es en el verano, pero estas pueden presentarse también en forma menos abundante durante el invierno, extremoso.

Cedros. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado con verano cálido, con lluvias de verano, presencia de canícula y extremoso.

San Rafael. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado con verano cálido, con lluvias de verano, presencia de canícula y extremoso.

Camacho. Desértico, semicálido con invierno fresco, con lluvias de verano y presencia de canícula, extremoso.

Pacheco. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado, con verano cálido, con lluvias de verano y extremoso.

Cañitas. Semidesértico, templado con verano cálido, con lluvias de verano y presencia de canícula, extremoso.

Guadalupe de las Corrientes. Semidesértico, con tendencia hacia el desértico, templado con verano cálido, lluvias de verano e invierno muy seco, extremoso.

FLORA Y FAUNA

Fitogeográficamente la mayor parte del área estudiada se encuentra comprendida entre la región que los botánicos consideran como desierto chihuahuense (Muller, 1939, 1947 y Rzedowski, 1961) y que se extiende, con límites

aún no definidos hacia el sur, hasta los Estados de Zacatecas y San Luis Potosí. Por consiguiente, presenta características semejantes de clima y por lo tanto, de flora y fauna.

En esta región se observan las siguientes zonas fitogeográficas:

a) *Matorral desértico micrófilo.* Este tipo de vegetación ocupa aproximadamente el 40% de la superficie estudiada. Este matorral se distingue por la predominancia de elementos arbustivos de hoja o folio pequeño y es característico de los terrenos planos y de las partes inferiores de los cerros, en regiones de climas áridos. Los suelos propios del matorral desértico micrófilo son característicamente de origen aluvial descansando sobre depósitos profundos acumulados en los fondos de los valles o depresiones, o bien sobre depósitos más someros y algo pedregosos, en las partes inferiores de los abanicos aluviales, en las bases de los cerros.

Las especies más comunes son: Mezquite (*Prosopisuliflora*), gobernadora (*Larrea divaricata*), maguey (*Agavé atrovirens*), nopal (*Opuntia platyopuntie*), palma china (*Yuca filífera*).

Las ramas de *Prosopis* y de algunos otros arbustos en ocasiones están densamente cubiertos por epifita *Tillandsia recurvata.*

El estrato arbustivo inferior (0.4 a 1.5 m de alto) incluye casi siempre a *Larrea divaricata* y con frecuencia a *Flourensia cernua.*

Varias especies de líquines viven epifíticamente sobre las ramas de muchos arbustos.

De los componentes del estrato herbáceo se pueden distinguir dos nichos ecológicos distintos, habitados cada uno de ellos por elementos característicos. Un grupo de plantas se halla, preferentemente, en los espacios vacíos que dejan entre sí los arbustos, en cambio, otros se encuentran en torno y protegidos por los mismos, donde gozan de un microclima más favorable y de mayor provisión de materia orgánica en el suelo. Como ejemplo de los dos grupos tenemos, para el primero, *Aplopappus venetus, Coldenia canescens,* etc. y para el segundo, *Acleisanthes* spp., *Setaria nigrum,* etc.

b) *Matorral desértico rosetófilo* (incluyendo izotales). Es importante por su extensión en el área y en particular por las especies útiles que incluye. El nombre de esta unidad se deriva del hecho de que este tipo de matorral debe su fisonomía característica a que está formado por especies arbustivas o subarbustivas, de hojas alargadas y estrechas, agrupadas en forma de roseta. Entre estas plantas se distinguen fundamentalmente, dos tipos: las que poseen un tallo alargado y claro (*Yucca, Dasylirion*), y las que carecen de tallo visible y el conjunto de hojas está en la base de la planta (*Agave, Hechtia*).

El matorral desértico rosetófilo se presenta en las laderas de las elevaciones topográficas constituidas por rocas calizas y margosas y desciende a las partes superiores de los abanicos aluviales, situados en las bases de las mismas elevaciones. Ocasionalmente, es posible encontrarlo, también, en lugares de poca inclinación, pero siempre y cuando el suelo contenga abundante grava y fragmentos calizos.

Los terrenos cubiertos por este matorral rosetófilo no se utilizan para la agricultura y solamente sirven para sostener una ganadería muy pobre, constituida por cabras.

El estrato subarbustivo de este matorral, es el más numeroso, cubre aproximadamente el 50% del terreno. Las especies dominantes suelen ser una o varias de las siguientes: *Agave lecheguilla* (lechuguilla), *Agave striata* y *Hechtia glomerata,* también aunque en menor cantidad *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla). Existen otros dos estratos, uno compuesto exclusivamente por *Yucca carnerosana* (palma samandoca) y otro por plantas menores como *Acacia crassifolia* y *Dasylirion* sp.

Hay también algunas plantas herbáceas y otras trepadoras.

c) *Matorral crasicaule.* Determinado por la presencia de grandes cactáceas, tales como los géneros *Opuntia* y *Myrtillocactus.* Este matorral se desarrolla sobre laderas pedregosas.

d) *Zacatal.* Este nombre se aplica a las comunidades vegetales en las cuales el papel principal corresponde a las plantas herbáceas de tipo graminiforme. Las especies dominantes en esta región son: *Bouteloua eriopoda,* B. *gracilis,* B. *curtipendula,* B. *Chasei,* etc.

La fauna mastozoológica es relativamente pobre y resiente el efecto de la actividad humana. Está constituida por carnívoros como el coyote (Canis latrans) y el gato montés (Felis sp.); roedores como los perros de las praderas (Cynomys sp.), ardillas (Sciutidae), ratones (Cricetidae), etc. y una gran variedad de reptiles.

ERA	SISTEMA	SERIE		PISO EUROPEO	EDAD EN MILLONES A.	SUR DE TEXAS Y NORESTE DE MEXICO (GRUPO O FORMACION)	APIZOLAYA (Cordoba, 1965)	CONCEPCION DEL ORO (Rogers, 1961)	EL SALADO (García Calderón) 1968	EL CARDITO
CENOZOICO	Q	RECIENTE PLEISTOCENICA			1		ALUVION-GRAVA PERRIBAÑEZ-BASAL.	ALUVION	ALUVION-GRAVA EL JABONERO-BASAL.	ALUVION-GRAVA PERRIBAÑEZ-BASAL.
	TERCIARIO	PLIOCENICA			13		FORMACION LAS PALMAS ?	?	?	?
		MIOCENICA			25					
		OLIGOCENICA			36		FORMACION AHUICHILA	FORMACION AHUICHILA	FORMACION AHUICHILA	FORMACION AHUICHILA
		EOCENICA			58					
		PALEOCENICA			63					
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	GOLIFIANA	MAESTRICHTIANO	72	NAVARRO	?	?	?	?
				SENONIANO CAMPANIANO		TAYLOR				
				SANTONIANO	84	AUSTIN	LUTITA PARRAS	LUTITA PARRAS	?	?
				SENONIANO CONIACIANO			FORMACION CARACOL	FORMACION CARACOL	FORMACION CARACOL	FORMACION CARACOL
				TURONIANO	90	EAGLE FORD	FORMACION INDIDURA	FORMACION INDIDURA	FORMACION INDIDURA	FORMACION INDIDURA
			COMANCHEANA	CENOMANIANO	110	WOODBINE				
		INFERIOR		ALBIANO SUPERIOR		WASHITA	CALIZA CUESTA DEL CURA	CALIZA CUESTA DEL CURA	CALIZA CUESTA DEL CURA	CALIZA CUESTA DEL CURA
				ALBIANO MEDIO		FREDERICKSBURG		CZA. AURORA		
				ALBIANO INFERIOR	120	TRINITY				
				APTIANO			FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA	FORMACION LA PEÑA
			COAHUILIANA	NEOCOMIANO BARREMIANO		NUEVO LEON	CALIZA CUPIDO	CALIZA CUPIDO	CALIZA CUPIDO	CALIZA CUPIDO
				NEOCOMIANO HAUTERIVIANO				FORMACION TARAISES ?	FORMACION TARAISES ?	FORMACION TARAISES ?
				NEOCOMIANO VALANGINIANO		DURANGO				
				NEOCOMIANO BERRIASIANO	135		FORMACION TARAISES			
	JURASICO	SUPERIOR	SABINIANA	TITHONIANO		CATTON VALLEY O LA CASITA	FORMACION LA CAJA	FORMACION LA CAJA D C B A	FORMACION LA CAJA	FORMACION LA CAJA
				PORTLANDIANO						
				KINMERIOGIANO						
				OXFORDIANO			CZA. ZULOAGA ?	CZA. ZULOAGA ?	CZA. ZULOAGA YESO MINAS VIEJAS ?	CZA. ZULOAGA ?
		MEDIO		CALLOVIANO						
				BATHONIANO	166					
				BAJOCIANO						
				AALENIANO						
		INFERIOR		LIASICO	181					
	TRIASICO	SUPERIOR			200		FORMACION NAZAS ?			FORMACION NAZAS ?
		MEDIO								
		INFERIOR			230					
PALEOZOICO	PERMICO	SUPERIOR Y MEDIO				OCHOA				
						GUADALUPE				
						LEONARD				
		INFERIOR			280	WOLFCAMP				
	PENSILVANICO	SUPERIOR				GAPTANK	FORMACION TARAY			FORMACION TARAY
		MEDIO				HAYMOND				
		INFERIOR			320	DIMPLE				
	MISSISIPICO					TESNUS				
	DEVONICO					NOVACULITA CABALLOS				
	SILURICO				475					
	ORDOVICICO						FORMACION RODEO ?			?
					500					
	CAMBRICO									

Fig. 2

Boletín 98

TABLA DE CORRELACION

El rayado diagonal indica falta de afloramientos; el vertical indica ausencia de formaciones intermedias.

Escala geocronologica de Kulp (1961, P III)

GEOLOGÍA

INVESTIGACIONES PREVIAS

No se tiene conocimiento de la existencia de estudios geológicos anteriores en esta área. Sin embargo, sí existen de áreas cercanas, tales como el efectuado por una brigada del Consejo de Recursos Naturales No Renovables (Rogers *et al.*, 1957, 1961), cuyo objetivo principal fue la delimitación y evaluación de los depósitos de fosfatos en la parte norte y central de la República Mexicana. Asimismo, existe el resumen de la Geología de la Hoja Apizolaya (Córdoba, 1965) y de la Hoja El Salado (García Calderón, 1968), las cuales son adyacentes al noroeste y al oriente, respectivamente, de la presente área.

ESTRATIGRAFÍA

(Mapa 1)

La Figura 2, muestra las unidades estratigráficas del área y su correlación con áreas de regiones próximas. Las edades probables, basadas en su posición estratigráfica y en su contenido faunístico, se discuten a continuación.

Paleozoico (?)

Formación Taray. Esta formación constituye la unidad estratigráfica más antigua que aflora en el área de El Cardito. Su nombre fue propuesto por Córdoba (1965) para designar a la unidad que sobreyace a la Formación El Rodeo. La localidad tipo está situada en el Arroyo del Taray, inmediatamente al oeste del Pico de Teyra, ubicado al noroeste de El Cardito. Aunque la sección estratigráfica está probablemente repetida muchas veces por fallamiento y plegamiento, por lo menos 630 m de la sección están expuestos. Litológicamente está constituida por grauvaca café amarillento, dolomita color negro a gris oscuro, con interestratificaciones de filita gris y novaculita.

En el área de El Cardito la Formación Taray aflora en pequeñas localidades situades al noroeste, en la Sierra de La Candelaria, en pequeños cerros

situados aproximadamente 2 km al sur y al oeste de la ranchería de La Candelaria, así como también en el flanco oeste de la misma sierra. Se presenta subyaciendo discordantemente a las formaciones Nazas y Zuloaga. Está constituida por grauvaca gris verdosa y café amarillento, de grano grueso, en algunas partes se le nota cierta esquistocidad.

En el flanco noreste de la misma sierra se encuentra un esquisto verde, sericítico, en contacto con la Caliza Zuloaga.

No fue posible medir el espesor de la Formación Taray en esta área debido a que los afloramientos son muy pequeños e irregulares.

Córdoba (1965) le asigna una edad devónica temprana a pensilvánica temprana, basándose en la notoria similitud litológica de esta unidad con la de las rocas del Paleozoico Superior que afloran en la región de Marathon en el oeste de Texas (King, 1936), donde las Formaciones Tesnus y Novaculita Caballos, son litológicamente similares a la Formación Taray y posiblemente tienen la misma historia tectónica.

Por la proximidad a la localidad tipo y por su posición estratigráfica, el autor acepta tentativamente, la edad que le asigna Córdoba (1965), pero considera que debe hacerse un estudio más detallado.

Mesozoico

Triásico

Formación Nazas. El nombre de Formación Nazas fue empleado por Pantoja-Alor (1963), para designar una secuencia de lavas interestratificadas con toba, lutita, limolita, arenisca y conglomerado de color rojo, que aflora en las inmediaciones de Cinco de Mayo y al sur de Cerro Redondo, en el área de la Hoja San Pedro del Gallo del Estado de Durango. En vista de que esta secuencia está mejor expuesta en el núcleo del Anticlinorio de Villa de Juárez, a lo largo del Río Nazas, en la parte norte de la Hoja Pedriceñas, en el Estado de Durango, este lugar fue designado por Pantoja-Alor (1963) como localidad tipo de esta formación. En el área de Apizolaya (Córdoba, 1965), la Formación Nazas consiste principalmente en roca sedimentaria y en lava, ambas de color rojizo, aunque cerca de la base se encuentran rocas sedimentarias clásticas de color verde claro. En esta misma área su espesor varía de 0 a 155 m, pero probablemente esta magnitud no representa el espesor original completo, puesto que la formación fue erosionada anteriormente al depósito de la Caliza Zuloaga. Rogers *et al.* (1961, p. 36) midieron una sección incompleta (como Formación Huizachal) de 800 m de espesor en la Sierra de La Candelaria, al este del Pico de Teyra.

En el área de El Cardito, esta formación aflora en la esquina noroeste de la región, en el flanco oeste de la Sierra de La Candelaria y en una pequeña localidad de la Sierra del Toro. Yace discordantemente sobre la Formación Taray y subyace con discordancia angular a la Formación Zuloaga. Está constituida, de abajo hacia arriba, por 10 m de lutita de color rojo, foliácea; 4 m de riolita gris violáceo, 2 m de toba color rosa débilmente cementadas; 3 m de arenisca arcillosa de grano fino, de color rojo; 1.5 m de toba y ceniza compacta de color gris violáceo y 3 m de conglomerado riolítico de color morado parduzco.

En otros afloramientos se presentan hacia su parte basal, lutita y limolita de color verde amarillento y algunas vetillas aisladas de cuarzo lechoso.

De una sección incompleta de esta formación, medida a 3.5 km al NE de La Candelaria, se obtuvo un espesor de 700 m.

No se han encontrado fósiles en la Formación Nazas en ninguna de las áreas donde ha sido estudiada. Por su posición estratigráfica y su litología se considera como perteneciente al Triásico Tardío-Jurásico Temprano y se correlaciona con la Formación Huizachal de Anticlinorio del mismo nombre, cerca de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Por su posición estratigráfica y relativa cercanía a su localidad tipo, en el área de El Cardito se considera que también pertenece al Triásico Tardío-Jurásico Temprano, pero el autor cree que deberá efectuarse un estudio más completo de esta formación en relación con su edad.

Jurásico

Humphrey (1956, p. 3) nombró Grupo Zuloaga a la división inferior de la Serie Sabiniana, en tanto que a la porción superior la designó como Grupo La Casita. El Grupo Zuloaga comprende las siguientes formaciones: Yeso Minas Viejas, Formación La Gloria, Caliza Zuloaga y Formación Olvido. De estas unidades, únicamente aflora en el área de El Cardito la Caliza Zuloaga.

Caliza Zuloaga. Imlay (1938b, p. 1657) la describió y designó como localidad tipo la Sierra de Sombreretillo, situada al norte de Melchor Ocampo, Zacatecas. En este lugar, la Caliza Zuloaga está formada aproximadamente por 600 m de caliza en estratos gruesos, hasta 3 m de espesor, de color gris claro con nódulos de pedernal negro. Generalmente, puede contener estratos con fragmentos abundantes de bivalvos, gasterópodos y corales.

Burckhardt (1906, 1921) estudió unas capas equivalentes a la Caliza Zu-

loaga en las inmediaciones de Mazapil y en la Sierra Symón, Zacatecas y la denominó "caliza con Nerinea", asignándole una edad oxfordiana.

En el área de El Cardito, la Caliza Zuloaga está formada por caliza microcristalina, de color gris a gris oscura, muy compacta, en estratos cuyo espesor varía entre 50 cm y 5 m. En algunas capas se presentan nódulos de pedernal de color gris crema, calcáreos. Es característico en estas calizas la abundancia de pequeñas fracturas rellenas de calcita, lapiez y estilolitos. Los fósiles más comunes en algunos horizontes de esta formación son gasterópodos (Nerinea sp.) y pelecípodos mal conservados. En una sección incompleta medida en la Sierra de Santa Rita, se obtuvieron 400 m.

La Caliza Zuloaga es la formación más resistente a la erosión en el área y se le encuentra formando los núcleos de los anticlinales y las sierras más elevadas. Observando el plano geológico de poniente a oriente, aflora en las siguientes localidades: en el flanco oriental de la Sierra de La Gruñidora, en las Sierras de La Candelaria, del Toro, de Las Iglesias, del Barroso, del Junco, de La Centella y principalmente en la de Santa Rita. En el campo y en las fotografías aéreas es fácilmente identificable por las líneas de vegetación que se presentan siguiente los planos de estratificación de las capas más gruesas.

En la Sierra de La Candelaria, en el noroeste del área en estudio, la Caliza Zuloaga sobreyace discordantemente en algunos lugares a la Formación Nazas y en otros a la Formación Taray, su contacto con la sobreyacente Formación La Caja, es concordante y bien definido. No es posible determinar con precisión la edad de la Caliza Zuloaga debido a la falta de fósiles característicos; sin embargo, la fauna encontrada es muy semejante a las unidades del Oxfordiano tardío de algunas partes de la región del Golfo. Imlay (1943, p. 1479) les asigna una edad argoviana y la considera como el equivalente extralitoral de la Formación La Gloria que aflora en el oriente de Durango y sur de Coahuila. Humphrey (1949, p. 97), considera que la parte superior de la Caliza Zuloaga puede ser equivalente a la Formación Olvido de la Sierra Madre Oriental. La presencia de moluscos y fragmentos de corales sugiere que la Caliza Zuloaga se depositó en aguas tibias y poco profundas. El contacto con la Formación La Caja se marcó donde aparecen la limolita y caliza cristalina gris rojizo, de esta formación.

Formación La Caja. Esta formación fue definida y nombrada por Imlay (1938b, p. 1659-1662) quien designó como localidad tipo a la Vereda del Quemado, situada en el flanco meridional de la Sierra de La Caja, al poniente de Concepción del Oro, Zacatecas, y la describió como una caliza en estratos delgados y marga. Anteriormente esta formación había sido ampliamente estudiada por Burckhardt (1906, 1907 y 1930, p. 47-54, figura 19). Van Vloten (1955, p. 124 y 125) describe una sección que midió en el Cañón de Orozco, cerca de

Valle de Hermanos, en la Sierra de San Francisco, Coahuila, donde se observa una interdigitación entre capas de la Formación La Caja y de la Formación La Casita, indicando una sucesión de condiciones de lagunas y de mar abierto.

Rogers *et al.* (1957, p. 18; 1961, p. 55) estudiaron detenidamente esta formación con el propósito de determinar su contenido de fosfatos y la dividieron de abajo a arriba en cuatro unidades que llaman: A, B, C y D.

Por sus características litológicas y por su fauna, la Formación La Caja es considerada como una facies extralitoral en el Geosinclinal Mexicano y es equivalente a la Formación La Casita (Imlay, 1938b, p. 1683). Esta última formación también fue definida por Imlay (1936, p. 1110) en el Cañón de La Casita, de la Sierra de Parras, Coahuila.

En el área de El Cardito, esta formación aflora principalmente en las Sierras de La Candelaria, de El Barroso, de La Centella, del Junco y de Santa Rita. Su espesor varía entre 20 y 40 m, lo cual, unido a la poca resistencia a la erosión, hace que los afloramientos sean malos. Sin embargo, esta misma suavidad de las rocas que la constituyen, hace que su localización en el campo y en las fotografías aéreas sea relativamente fácil, ya que su expresión topográfica, manifestada en forma de valles estrechos y alargados entre cuerpos de caliza compacta, es claramente identificable.

En esta área, la Formación La Caja está constituida por capas de limolita y limolita calcárea de 10 a 30 cm de espesor, de color gris crema a rojizos y con bandas de pedernal negro, intercaladas con caliza microcristalina y oolítica, en capas de 20 a 40 cm de espesor y de color gris violáceo; en algunos estratos se encuentran nódulos de pedernal negro. No fue posible identificar en esta zona las cuatro unidades determinadas por Rogers *et al.* (1957), debido a que esta formación se encuentra muy erosionada y cubierta por aluvión.

Como se menciona en párrafos anteriores, el espesor de la Formación La Caja en el área de El Cardito, es variable, lo cual está de acuerdo con el criterio de Rogers *et al.* (1957, p. 77) quienes sugieren que este cambio de espesores es debido a que el depósito se efectuó sobre una superficie muy irregular donde sobresalían algunas islas. Estos autores registran algunos restos de fósiles terrestres, lo cual confirma tal suposición.

La Formación La Caja tiene un contenido muy variable en la cantidad de fósiles. Hay algunas localidades muy fosilíferas como las de las Sierras de Santa Rosa, La Caja y Zuloaga, al norte de la presente área en estudio (Burckhardt, 1930, tabla 4; Imlay, 1938b, p. 1660-1662; Rogers *et al.* 1961, p. 59-69). Pero en otras, contiene poco material fósil, como en la de El Cardito, donde solamente se encontraron fragmentos mal conservados.

La edad de la Formación La Caja en el norte y centro de México se considera principalmente, portlandiana-kimmeridgiana y posiblemente hasta oxfor-

diana tardía (Burckhardt, 1930, tablas 4, 5 y 6; Imlay, 1938b, p. 1662; Rogers *et al.*, 1961, p. 56-70).

La predominancia de amonitas en toda la Formación La Caja exceptuando dos delgadas zonas que contienen pelecípodos y gasterópodos, sugiere que el depósito se verificó en un ambiente infranerítico. Sin embargo, Imlay (1943, p. 1495) cree que la abundancia de amonitas y la relativa escasez de moluscos bentónicos pueden deberse más que a la profundidad del agua al exceso de lodo en los lugares en donde se efectuó el depósito. Rogers *et al.*, (1957, p. 29; 1961, p. 70 y 304) han determinado otros factores que indican que el depósito de los sedimentos tuvo lugar en aguas someras, sometidas a periodos de intensa agitación. Entre estos factores están: *a*) La presencia de capas conglomeráticas que a menudo se encuentran dentro de los estratos fosforíticos, las cuales indican que la base de las olas algunas veces alcanzaba a esas capas; *b*) La presencia de pequeños gasterópodos prosobranquios en el miembro fosfatado, que en algunos estratos son muy abundantes, también indica que el depósito era somero; *c*) La notable variabilidad de los espesores que caracteriza a esta formación puede explicarse como debida a la presencia de diastemas, que también indicarían que temporalmente se efectuó la sedimentación en aguas someras, o bien puede ser el resultado del depósito sobre una superficie ondulada a muy baja profundidad; *d*) Otra evidencia está relacionada con el origen de los depósitos de fosfatos, de acuerdo con la teoría biolítica sobre su formación.

La presencia de lulitas carbonosas indica que el clima no siempre fue árido y que algunas veces existió un ambiente lacustre.

En general, esta formación contiene en mayor o menor grado P_2O_5 y algunos de los fósiles encontrados están sustituidos por fosforita.

El contacto con la formación que sobreyace a la Formación La Caja, se marcó donde aparece la caliza gris claro, arcillosa y con bandas de pedernal negro, de la Formación Taraises.

Cretácico

El límite entre el Jurásico y el Cretácico se coloca entre las formaciones La Caja y Taraises, aunque el contacto entre ambas es transicional. La Formación La Caja contiene fósiles principalmente del Portlandiano tardío y del Kimmeridgiano, pero las capas superiores probablemente comprenden también el Tithoniano tardío (Imlay, 1938b, p. 1662). Asimismo, los estratos inferiores de la Formación Taraises contiene fósiles de edad berriasiana en algunas localidades (Córdoba, 1965).

Formación Taraises. Fue descrita por Imlay (1936, p. 1111) quien designó como localidad tipo el Cañón de Taraises, situado en la porción occidental de la Sierra de Parras, Coahuila. Según Imlay (1938a, p. 541-544), esta formación está constituida por dos miembros; el inferior formado por caliza gruesa a delgada que intemperiza en gris a gris oscuro, en capas de espesor mediano a grueso.

En el área de El Cardito aflora principalmente en las Sierras de La Candelaria, El Barroso, de La Centella, del Junco y de Santa Rita y solamente se presenta un miembro constituido por caliza cristalina a microcristalina, de color gris claro, arcillosa, en capas de 10 a 30 cm de espesor, con intercalaciones de limonita gris claro a amarillento en capitas de 2 a 5 cm; regularmente se encuentran bandas de pedernal negro, que intemperiza en pardo amarillento, hasta de 30 cm de espesor. El espesor de esta formación en el área estudiada, es de 50 m aproximadamente.

La observación de esta formación en el campo presenta algunas dificultades debido, principalmente, a que se le encuentra junto con la Formación La Caja que la subyace, formando estrechos puertos y pequeños valles alargados, cubiertos, casi siempre, por una capa delgada de aluvión y sólo ocasionalmente, está bien expuesta.

La Formación Taraises, en su localidad tipo, contiene fósiles del Neocomiano temprano y se encuentra cubriendo clásticos de la Formación La Casita y está cubierta por la Formación Las Vigas. Imlay (1944, p. 1088) clasifica a la Formación Taraises por su litología y fauna, como una facies extralitoral del Berriasiano tardío-Hauteriviano temprano, en el Geosinclinal Mexicano. Córdoba (1965) encontró *Neocomites* de edad berriasiana, en el área de Apizolaya, Zacatecas, así como también *Thurmanniceras*, los cuales tienen un alcance desde el Berriasiano tardío al Hauteriviano temprano, aunque su mayor desarrollo lo obtuvieron a mediados del Valanginiano. Sin embargo, el Berriasiano no ha sido reconocido en la parte septentrional de la Sierra de Parras. Rogers *et al.*, (1957, p. 30) identificaron fósiles valanginianos en las capas inferiores de la Formación Taraises, en las inmediaciones de Concepción del Oro, Zacatecas.

En el área de El Cardito, esta unidad es muy pobre en fósiles. El autor solamente encontró restos de amonitas muy mal conservadas y por consiguiente inidentificables.

Aunque la Formación Taraises parece descansar concordantemente, sobre las Formaciones La Caja y La Casita, este contacto puede estar caracterizado por la presencia de diastemas locales (Rogers *et al.*, 1961, p. 81 y 82). En el área de El Cardito la Formación Taraises parece ser concordante con la Formación La Caja.

La fauna y la litología de la Formación Taraises parece indicar que su

depósito tuvo lugar en aguas claras y de poca profundidad. La presencia de pirita y fósiles piritizados sugiere la presencia de aguas estancadas.

El contacto de la Formación Taraises con la suprayacente Cupido, es transicional, aunque generalmente está determinado por un cambio brusco en la pendiente topográfica, al comenzar a presentarse estratos gruesos de calizas más competentes.

En el área de El Cardito el contacto entre la Formación Taraises y la Caliza Cupido se marcó donde terminan la caliza de color gris claro, arcillosa, y aparece la caliza masiva.

Caliza Cupido. Fue descrita por Imlay (1937, p. 606) en la parte meridional de la Sierra de Parras, en el sur del Estado de Coahuila. La sección tipo de esta formación se encuentra en el denominado Cañón del Mimbre, a inmediaciones del lugar llamado El Garambuyo. Está constituida por caliza en estratos medianos a gruesos, de color gris claro, con nódulos de pedernal café amarillento, que intemperiza en rojizo.

En el área de El Cardito, la Caliza Cupido está formada por caliza muy compacta, criptocristalina, de color gris claro con un tinte rosado hacia su parte superior, que intemperiza en rojizo, con nódulos y lentes de pedernal gris crema, que intemperiza en rojizo, los cuales disminuyen hacia su base. Se presentan, además, concreciones de pirita oxidada, estilolitas bastante amplias, así como restos de fósiles substituidos por calcita y pirita. El espesor de los estratos es predominantemente grueso y varían de 1 hasta 6 m. El espesor total es de 500 m aproximadamente.

La Caliza Cupido presenta muy buenos afloramientos y también los más extensos. Aflora principalmente en las Sierras de La Gruñidora, La Candelaria, La Sierrita, del Junco, de La Centella, de Potrerillo, de Santa Rita y en las elevaciones que se encuentran en la parte sureste del área estudiada. Su topografía es de relieve de contorno redondeado y con un drenaje poco desarrollado, debido, posiblemente, a su resistencia a la erosión.

Böse (1923) y Rogers *et al.* (1961, p. 88) colectaron en la Caliza Cupido, al poniente de Concepción del Oro, Zacatecas, y en la Sierra de Arteaga al noroeste de Saltillo, Coahuila, respectivamente, los siguientes fósiles: *Monopleura* sp., *Requienia* sp., *Astieridiscus* sp., *Ancyloceras* sp., *Phylloceras* (?) sp., *Nerinea,* sp., belemnitas y amonitas desenrolladas.

Astieridiscus es del Valanginiano o Barremiano. *Ancyloceras* es común en capas del Hauteriviano tardío y Aptiano temprano. Basándose en su contenido de fósiles y en su posición estratigráfica, la Caliza Cupido pertenece, en lo general, al Hauteriviano, Barremiano y al Aptiano temprano.

En el área de El Cardito, esta unidad es generalmente pobre en fósiles. El autor solamente encontró restos de amonitas y de gasterópodos muy mal conservados y, por consiguiente, no identificables.

Basándose en su litología y en su posición estratigráfica, Imlay (1944, p. 1089) clasificó a la Caliza Cupido como una facies extralitoral del Geosinclinal Mexicano.

El contacto con la Formación La Peña que la sobreyace, es transicional y por consiguiente no es fácilmente observable; se marcó en donde principia la caliza arcillosa, de color rosa amarillento, de estratos medianos, que caracterizan a esta última formación.

Formación La Peña. Imlay (1936, p. 1119) designó con este nombre a los estratos que sobreyacen a la Formación Parritas y que están cubiertos por la Caliza Aurora; señaló como localidad tipo al flanco septentrional de la Sierra de Taraises, cerca de la Hacienda de La Peña, en el flanco occidental de la Sierra de Parras, Coahuila.

En la Sierra de Parras el espesor de la Formación La Peña varía de 300 a 700 m (Imlay, 1936, p. 1119-1124; 1937, p. 607-611) alcanzando su mayor desarrollo y constituyendo muchas de las más elevadas cimas montañosas de la parte occidental de esta sierra. Imlay la divide en dos unidades, estando la mayor parte del espesor incluido en la unidad inferior, la cual consiste de una caliza de color gris claro a oscuro, en capas de espesor mediano a grueso; contiene zonas de caliza finamente estratificada y cantidades variables de lutita. La caliza intemperiza adquiriendo un color gris claro a amarillento y contiene concreciones de pirita, así como nódulos de pedernal. La unidad superior tiene un espesor que varía de 15 a 90 m y consiste predominantemente en caliza y lutita en capas delgadas e interestratificadas.

Humphrey (1949, p. 101-104) estudió la estratigrafía y la paleontología de la Formación La Peña, en la parte occidental de la Sierra de Los Muertos al suroeste de Monterrey, Nuevo León; la redefinió y sugirió que ese nombre se use solamente para la parte superior de esta formación que corresponde al Aptiano superior. De Cserna (1956, p. 21) recomienda seguir la indicación de Humphrey, ya que considera que en los trabajos de campo es más fácil separar esta unidad delgada y distinta de las calizas sub y sobreyacentes y, al mismo tiempo, sirve como un excelente plano de referencia estratigráfica, con extensión lateral amplia y extensión vertical limitada en la mayor parte del noreste de México. En este trabajo se ha aceptado dicha recomendación.

En las áreas que se han estudiado siguiendo este criterio, los estratos subyacentes a la Formación La Peña han sido incluidos en la Caliza Cupido.

Generalmente, los afloramientos de la Formación La Peña son malos, su litología la hace poco resistente a la erosión, formando depresiones o puertos

alineados entre las dos formaciones más resistentes, entre las que se encuentra; además, en las fotografías aéreas se presenta como una franja oscura entre dos de coloración clara, por lo que es fácilmente identificable en ellas.

En el área de El Cardito, los mejores afloramientos de la Formación La Peña se presentan, del poniente al oriente, en la Sierra La Gruñidora, en la Sierra de La Candelaria, en La Sierrita, en la Sierra del Barroso, en la Sierra de La Centella, en la Sierra de Santa Rita y en las elevaciones al sureste del área en referencia.

En una sección medida en el flanco norte de La Sierrita, al oriente del poblado de La Gruñidora, se encontró la siguiente secuencia: la parte inferior consiste de *60* m de caliza criptocristalina, de color gris rosado, con nódulos y lentes de pedernal gris que intemperizan en ocre y que presentan un aspecto característico debido a la disolución diferencial; el espesor de los estratos es de 0.40 a 1 m. Hacia arriba continúan 20 m de caliza arcillosa gris a gris rosado, que intemperiza en lajas de color amarillento, y contiene bandas de pedernal negro. Esporádicamente se observan intercalaciones de arcilla y limolita, así como estratificación ondulante y restos de amonitas. Continúan *30* m de caliza color rosa, microcristalina, con dendritas de manganeso, en estratos de 30 a 60 cm de espesor. Siguen *50* m de caliza gris rosáceo, con bandas de pedernal negro, concreciones de pirita oxidada y por último, en su parte superior, se presentan *30* m de caliza gris, compacta y clástica. El total de la sección medida fue de 190 m. Al oriente de la Sierra de Parras, Coahuila, de Cserna (1956, p. 21) midió espesores en la Formación La Peña que varían entre 120 y 230 m. En la región de El Salado, adyacente al oriente de la presente área, se midieron espesores que oscilan entre 150 y 200 m (García-Calderón, 1968).

En toda el área estudiada se encontraron pocos fósiles en esta formación y mal conservados, lo cual impidió su identificación. Según Humphrey (1949, p. 101), la edad de esta formación en la Sierra de los Muertos, es aptiana tardía. Rogers *et al.* (1961, p. 91) basándose en la evidencia suministrada por los fósiles y en su posición estratigráfica, sugieren que en el área de Concepción del Oro ésta puede representar todo el Aptiano e incluir, en algunas localidades, parte del Albiano temprano y en otros lugares representa sólo el Aptiano tardío.

Se puede suponer que el material clástico que contiene esta formación pudo haber sido transportado por los ríos que drenaban la Península de Coahuila (Imlay, 1936, p. 1123) y distribuidos por corrientes oceánicas y depositados en mares batiales. Según Humphrey (1949, p. 103) "el continuado hundimiento de la Península de Coahuila y la invasión de mares durante el Aptiano, dieron lugar al depósito de arcillas y limos calcáreos de la Formación La Peña".

Los contactos con la Caliza Cupido y con la Caliza Cuesta del Cura, son concordantes. El contacto con la Caliza Cuesta del Cura se marcó donde aparece la caliza gris oscuro, con estratificación ondulante y pedernal negro.

Caliza Cuesta del Cura. Esta formación fue definida por Imlay (1936, p. 1125) quien designó como localidad tipo los afloramientos situados al poniente de Parras, Coahuila, área en donde sobreyace a la caliza masiva y arrecifal de la Caliza Aurora y subyace a la caliza arcillosa de la Formación Indidura. Se trata de una unidad moderadamente resistente, que forma cerros más o menos resistentes. Consiste principalmente en calizas de color gris oscuro a negro, en estratos medianos y delgados, con estratificación ondulante y abundantes lentes de pedernal. En algunas partes contiene interestratificaciones de capitas lajosas de caliza arcillosa y lutita, que puede presentar tintes violáceos o rojizos debido al intemperismo.

En el área de El Cardito, la Caliza Cuesta del Cura descansa concordantemente sobre la Formación La Peña y se presenta en buenos y abundantes afloramientos, en todas las sierras que forman la región.

La litología de la Caliza Cuesta del Cura en esta área, está constituida principalmente por caliza gris a gris oscura, microcristalina, intemperiza en gris claro amarillento, en estratos delgados a medios, notándose un aumento en su espesor hacia su base. Presenta interestratificaciones de capas delgadas de caliza arcillosa y lutita calcárea y lentes y bandas de pedernal negro. Los rasgos más característicos de esta formación son la estratificación ondulante y la abundancia de pedernal.

Es difícil precisar el espesor de la Caliza Cuesta del Cura, debido a la presencia de numerosos pliegues de arrastre. Sin embargo, en La Sierrita, al oriente del poblado de La Gruñidora, se midió un espesor de 280 m.

Imlay no encontró fósiles de la Caliza Cuesta del Cura en la Sierra de Parras; sin embargo, en otras regiones sí se tienen capas fosilíferas que se presentan localmente dentro de la formación. En general, los fósiles están muy mal conservados y consisten principalmente en pequeñas amonitas desenrolladas y algunos gasterópodos. En la región de El Cardito se encontraron varios horizontes fosilíferos en tales condiciones. En áreas donde la Caliza Cuesta del Cura es coextensiva con la Caliza Aurora, por su posición estratigráfica se considera como perteneciente a la parte superior del Cenomaniano temprano, en vista de que sobreyace a los estratos de la Caliza Aurora, que contiene *Caprina* y que está cubierta por la Formación Indidura o por la Formación Agua Nueva, cuyos estratos superiores solamente proporcionaron fósiles característicos del Turoniano (De Cserna, 1956, p. 22 y 23). El mismo autor (1956) considera que en áreas donde la Caliza Cuesta del Cura sobreyace a la Formación La Peña, tanto por su posición estratigráfica como por su contenido de amonitas desenrolladas, pertenece al Albiano-Cenomaniano inferior. Rogers

et al. (1961, p. 98) le asignan una edad que abarca posiblemente desde mediados del Albiano hasta principios del Cenomaniano. Imlay (1938b, p. 1656) la limita al Albiano. En este trabajo se sigue el criterio de Rogers *et al.*

Tanto la litología como la fauna de la Caliza Cuesta del Cura, sugieren que el depósito se verificó en aguas de profundidad moderada, en la zona infranerítica (Rogers *et al.*, 1961, p. 98).

El contacto de la Caliza Cuesta del Cura con la Formación Indidura, que la sobreyace, está bien definido; se marcó donde se pasa de la caliza con estratificación ondulante y pedernal, a la caliza arcillosa y lajosa característica de esta última formación.

Formación Indidura.—Fue descrita por Kelly (1936, p. 1028) con base en unos afloramientos que se presentan en un flanco de la Sierra de Santa Ana, en la porción oriental del Cerro Indidura, 8 km aproximadamente al norte de Tanque Toribio, en la región de Las Delicias, Coahuila. Con este nombre designó a un cuerpo de aproximadamente 30 m de espesor, constituido por lutita, caliza resquebrajada y lajas de caliza, el cual cubre directamente a la Caliza Aurora y que contiene fósiles indicativos del Albiano tardío, Cenomaniano y Turoniano.

Imlay (1936, p. 1126-1132) midió varias secciones en la Sierra de Parras y dividió la Formación Indidura en cinco miembros constituidos, en general, por una alternancia de caliza y lutita en capas delgadas. De acuerdo con su descripción, esta formación descansa sobre la Caliza Cuesta del Cura y está cubierta por la Formación Caracol o la Lutita Parras. Los sedimentos agrupados dentro de la Formación Indidura, según Imlay (1938b, p. 1642) comprenden tres facies distintas.

El contacto entre la Formación Indidura y la Caliza Cuesta del Cura está muy bien definido; lo marca el cambio brusco de la caliza de estratificación ondulada a las capas delgadas de las rocas muy arcillosas. La formación se presenta principalmente en la parte baja de las laderas o en la base de las sierras, en estos casos es más bien raro que muestre buenos afloramientos, pero cuando se presenta a mayores elevaciones sus afloramientos son mejores, pudiendo entonces distinguirse con facilidad, tanto en el campo como en las fotografías aéreas, debido a que la vegetación que la cubre es muy escasa, comparada con la de las calizas adyacentes.

En el área de El Cardito los afloramientos son muy escasos, en su mayoría están cubiertos por aluvión; aflora principalmente de poniente a oriente, en la parte sur de la Sierra de La Gruñidora, en el flanco noreste de la Sierra de Potrerillos, en el flanco oriental de la Sierra de La Centella, en la pequeña sierra que se encuentra al noreste de Rancho Nuevo, en el flanco

oriental de la Sierra de Santa Rita y en algunas pequeñas elevaciones topográficas en el borde oriental de esta área. En la parte sur de la Sierra de La Gruñidora, litológicamente está constituida de la siguiente forma: en su base se compone de caliza gris a gris violáceo, cristalina fina y compacta, con bandas y concreciones de pedernal negro. Esta caliza intemperiza en gris claro ocre; el espesor de sus estratos es de 20 a 40 cm. Hacia arriba, disminuye la caliza compacta y se presentan interestratificaciones de caliza gris clara, en capas de 5 a 15 cm de espesor, bastante arcillosa que intemperiza en lajas amarillentas; alternan con estas calizas, limolitas de color rojizo, en capitas de 1 a 3 cm de espesor. En la parte superior de la formación predomina la caliza gris claro, arcillosa y la limolita. En el contacto con la Formación Caracol se observó un estrato que contiene *Inoceramus.*

En el área de El Cardito la Formación Indidura se encuentra fuertemente deformada por lo que no fue posible medir su espesor exactamente, sin embargo, se midieron 160 m en la Sierra de Santa Rica y 180 m en la Sierra de La Gruñidora.

Imlay (1936, p. 1132; 1937, p. 616) asignó una edad turoniana a la Formación Indidura basándose en su contenido de *Inoceramus* cf. *labiatus* y *Exogyra.* Humphrey (1949, 110) considera que dicha formación, en su localidad tipo, varía desde el Albiano tardío al Turoniano. Kellum y Shubak (1961) y Kellum y Robinson (1963) le asignaron una edad del Albiano tardío al Turoniano tardío. En el Anticlinorio de La Peña, la Formación Indidura representa el Albiano tardío, Cenomaniano y Turoniano (de Cserna, 1956. p. 24).

Jones (1938, p. 82) sugirió que la Formación Indidura en el Anticlinorio de La Peña, fue depositado en un medio ambiente cercano a la costa durante el Cenomaniano tardío, mientras que en el área de Parras y Arteaga ya se estaba erosionando en este tiempo. Esta formación es poco fosilífera, debido probablemente a que las condiciones del fondo marino, bajo las cuales se estaba depositando, fueron desfavorables para la mayoría de los organismos bentónicos. Tanto la fauna como la litología, indican que la profundidad del mar fue disminuyendo después de haberse depositado la Caliza Cuesta del Cura.

El contacto con la Formación Caracol se marcó en donde aparece la arenisca y lutita que caracterizan a esta formación en esta región.

Formación Caracol. Imlay (1937, p. 616) designó con el nombre de Formación Caracol a una serie de toba desvitrificada y lutita, con caliza en menor cantidad, que descansan concordantemente sobre la Formación Indidura en una serie de afloramientos que se observan en la parte oriental de la Sierra

de Parras, Coahuila. La localidad tipo se localiza en el lado occidental del Arroyo Caracol, cerca del final occidental de la Sierra de San Angel. Rogers *et al.* (1957, p. 31; 1961, p. 104) consideraron que las tobas descritas por Imlay más bien deben identificarse como areniscas arcósicas, calcáreas.

En el área de El Cardito, la Formación Caracol se presenta en afloramientos muy escasos y aislados, encontrándose, generalmente, al pie de las sierras y cubiertos por sedimentos cenozoicos, lo cual hace difícil una descripción completa de esta formación. En estas condiciones, aflora en unas pequeñas lomas situadas al occidente y al sur de la población de La Gruñidora; en las inmediaciones del Tanque de El Conejo, al norte de Rancho Nuevo; al norte de la ranchería de Tanquecillos y, en el flanco nororiental de la Sierra de Santa Rita.

Litológicamente, está constituida por una secuencia de arenisca y lutita interestratificada; la arenisca es de color gris verdoso que intemperiza en ocre, de grano fino y se encuentra en capas de 5 cm. En su composición varía de arcósica a calcárea, siendo esta última menos compacta y presenta fractura esferoidal. Como minerales presenta cuarzo, plagioclasa, biotita, magnetita, así como vidrio y fragmentos de rocas de tipo volcánico.

La lutita interestratificada es de color verde olivo a crema, en capas hasta de 20 cm. Intemperiza en fragmentos angulosos resultado de una fractura concoidea; son calcáreos o ligeramente arenosos. La arenisca predomina en la base de la formación y la lutita hacia su cima. La erosión diferencial en estas rocas, es notable, sobresaliendo las capas de arenisca por ser más resistentes.

El espesor de esta formación es bastante variable; en su localidad tipo tiene 300 m. En una sección completa medida al noroeste de Melchor Ocampo, Zacatecas, alcanzó un total de 1 020 m. Probablemente en esta área alcance su máximo desarrollo. Otra sección completa medida cerca de Terminal, Zacatecas, dio un total aproximado de 800 m. Aparentemente la formación se adelgaza hacia el suroeste, sur y sureste (Rogers *et al.*, 1961, p. 104). En el área de Apizolaya (Córdoba, 1965) el espesor aproximado es de 300 m en la Sierra de San Julián y mucho más grueso en la Sierra de Peribañez. En la región de El Salado (García-Calderón, 1968), se consideró tentativamente un espesor de 400 m. En el área de El Cardito no fue posible determinar el espesor de esta formación debido a que no se presenta una sección completa y a que en su mayor parte, se encuentra cubierta por sedimentos cenozoicos.

En general, la Formación Caracol no es fosilífera. En el área solamente se encontraron algunos restos de gasterópodos. Rogers *et al.* (1961, p. 105) registraron en Concepción del Oro, Zacatecas, algunos fragmentos de pelecípodos y algunas amonitas que les permitieron sugerir que la edad de esta formación puede corresponder al Coniaciano o al Santoniano. También se encontraron algunos ejemplares de foraminíferos. A pesar de que la evidencia proporcionada por los fósiles no es lo suficientemente precisa, Imlay (1944, p. 1160) considera que la Formación Caracol probablemente corresponde al Conaciano y al Santoniano. En este trabajo se acepta la conclusión de Imlay (1944).

En el área no se observa el contacto entre la Formación Caracol y la Formación Ahuichila, que la sobreyace.

Terciario

Formación Ahuichila. Rogers *et al.* (1961, p. 108-114) escogieron el nombre de Formación Ahuichila para designar a los depósitos continentales constituidos por conglomerado, arenisca, lutita, toba y otros materiales piroclásticos, que sobreyacen, en marcada discordancia angular, a los depósitos del Mesozoico; señalan como localidad tipo la colonia de Ahuichila, Zacatecas, lugar próximo al punto en donde convergen los Estados de Durango, Coahuila y Zacatecas.

Esta unidad fue estudiada inicialmente por Kellum (1932, p. 551-553) quien la describió por primera vez en su localidad tipo y posteriormente por Imlay (1938b, p. 1661-1670).

En el área de El Cardito, esta formación aflora en los Cerritos de Jesús, aproximadamente a la altura del kilómetro 200 de la Carretera Zacatecas-Concepción del Oro, en unas elevaciones topográficas al noreste de Rancho Nuevo y en una pequeña localidad en la parte norte de la Sierra de La Gruñidora. Litológicamente, en esta área está constituida en la siguiente forma: en la parte inferior presenta arenisca de grano medio, de color gris crema, en capas de 5 a 15 cm de espesor, constituidas por granos de pómez, cuarzo y feldespato, con un cementante calcáreo; hacia arriba la arenisca es más compacta y se encuentra en capas de 0.5 a 5 cm de espesor. En la parte superior de la formación se presenta un conglomerado constituido por fragmentos de caliza cretácica (Formaciones La Peña, Cupido, etc.), con un cementante calcáreo-arcilloso, de color gris ocre. Los fragmentos son de subredondeados a angulosos y su tamaño es de 2 a 5 cm como término medio, aunque algunas veces se presentan de tamaño mayor. En los Cerritos de Jesús tiene un espesor aproximado de 40 m.

Con respecto a las relaciones estratigráficas y edad probable de la For-

mación Ahuichila, hay una gran diferencia de criterio entre Kellum, Imlay, Rogers y otros autores. Imlay (1938b, p. 1668) se refirió a la Formación Ahuichila como Formación Mayrán de edad cuaternaria. Kellum (1932, p. 551) la designó como conglomerado del Cretácico Superior o Terciario. Rogers (1957, p. 40-42) la llamó Conglomerado Mazapil. Posteriormente le cambió el nombre a Ahuichila (Rogers *et al.*, 1961, p. 108-114) y asimismo, consideró que la Formación Ahuichila ni es tan antigua como sugiere Kellum ni tan reciente como propone Imlay, sino que es de edad terciaria. La Formación Ahuichila incluye los conglomerados terciarios y brechas descritos por Schulze (1953). De Cserna (1956, p. 27) considera que la Formación Ahuichila es un depósito de tipo "molasse" continental formado después del plegamiento de la Sierra Madre Oriental y sugiere que es correlacionable con los conglomerados rojos de Zacatecas y Guanajuato, a los cuales Edwards (1955, p. 171) asignó una edad del Eoceno tardío al Oligoceno temprano y, con el Grupo Balsas de los Estados de Morelos y Guerrero (Fries, 1960, p. 101).

Basaltos. En la parte suroriental del área de El Cardito, especialmente al noreste de Rancho Nuevo, se presenta una corriente de basalto que cubre parcialmente a la Formación Ahuichila. Se trata de una roca gris oscuro, holocristalina, porfídica y que presenta estructura fluidal; sus constituyentes esenciales son labradorita y olivino y como secundarios, ilmenita e iddingsita. Presenta algunas vesículas rellenas de calcita.

Al este de los afloramientos anteriores se presentan varios derrames basálticos y cuellos volcánicos, constituidos por basaltos de olivino e iddingsita.

Al norte de La Tinaja, a inmediaciones de San Tiburcio, se presenta otro cuerpo basáltico de las mismas características antes descritas.

La poca erosión e intemperismo que presentan los basaltos, así como el hecho de que en algunas localidades cubra a la Formación Ahuichila, de edad posiblemente Eoceno-Oligoceno, permite sugerir que son relativamente jóvenes, posiblemente de fines del Terciario.

Cuaternario

Grava Peribañez. Córdoba (1965) designó con este nombre a la grava no consolidada que está ampliamente expuesta en la Sierra de Peribañez, en la parte occidental de la Sierra de Teyra y en la parte septentrional de la Sierra de Ramírez, Zacatecas.

Aflora en varias localidades del área de El Cardito, principalmente en los flancos poniente y oriente de la Sierra del Toro, discordantemente sobre

las Formaciones Indidura y Caracol. En la parte sureste del área estudiada, cubre discordantemente a la Caliza Cupido, a la Caliza Cuesta del Cura y a la Formación Ahuichila, en unas pequeñas lomas situadas entre la Sierrita de Tanquecillos y la Sierra de Santa Rita y en el flanco suroccidental de esta última sierra donde cubre, también discordantemente, a la Caliza Cuesta del Cura.

Esta grava no consolidada, está constituida por fragmentos derivados de diversas formaciones cretácicas, predominando aquellas de la formación más próxima al lugar donde se encuentra. Principalmente consiste de gravas sin clasificar, de subredondeadas o subangulosas; el tamaño de los clásticos varía entre 15 y 20 cm principalmente, pudiendo haber de otras dimensiones; a veces se presentan pobremente cementadas por material arcilloso o caliche.

El espesor de estas gravas es muy variable, en el área se estimó un promedio de 80 m.

Estas gravas presentan rasgos morfológicos característicos, como son su tendencia a formar colinas de poca elevación, subredondeadas y un drenaje dendrítico.

No se observaron fósiles que permitan determinar su edad.

Rocas similares han sido descritas por Pantoja-Alor (1963) en la región de San Pedro El Gallo, Durango, y por García Calderón (1968) en la región de El Salado, San Luis Potosí y Zacatecas, quienes las describen como Formación Santa Inés y Grava El Jabonero, respectivamente, asignándoles una edad pliocénica, a la Grava Peribañez.

Aluvión. Los amplios valles y las pendientes inferiores de las montañas están cubiertas por una capa de aluvión de espesor muy variable, el cual puede ser hasta de 100 m o más.

De acuerdo con su composición litológica, estos aluviones pueden agruparse en tres tipos. Primero, depósitos de "pie de monte", los cuales forman parte de los abanicos aluviales y están constituidos principalmente por gravas y, en menor cantidad, por arena, limo y arcilla. El segundo tipo de aluvión está formado por arena, limo y arcilla con cementante calcáreo, siendo frecuente que se formen en éste, grandes capas de caliche. El tercer tipo está constituido por clásticos semejantes al anterior, pero con un alto contenido de yeso.

ROCAS ÍGNEAS

En el área de El Cardito se encuentran varias rocas intrusivas, las cuales están alojadas en calizas y calizas arcillosas, habiendo originado metamor-

fismo de contacto en las rocas encajonantes y algunos yacimientos minerales de alguna importancia.

Granodiorita. En el Valle de San Feliciano, situado en la parte media y en el flanco oriental de la Sierra de Santa Rita, aflora un cuerpo intrusivo granodiorítico que afectó a la Caliza Zuloaga, a las Formaciones La Caja y Taraises, a la Caliza Cupido y a la Formación La Peña. La parte que aflora de este intrusivo es un segmento de forma semicircular y en ella se encuentran cuerpos aislados de Caliza Zuloaga, la cual solamente se presenta recristalizada.

Posiblemente un apófisis de este mismo cuerpo intrusivo está aflorando a 2 km al oriente del Valle de San Feliciano donde forma un pequeño cerro y en el cual se presentan intrusionando a la Caliza Cuesta del Cura y a la Formación Indidura, los cuales se presentan bastante metamorfizados. Aquí se encuentra la denominada Mina Los Gemelos.

Megascópicamente, la granodiorita del Valle de San Feliciano es de color gris verdoso, holocristalina, de grano medio, compuesta de feldespato, augita (?) y cuarzo. La roca que aflora en la mina Los Gemelos es de color gris crema, holocristalina y de grano fino; el estudio petrográfico microscópico la clasificó como una granodiorita holocristalina, con microtextura hipautomórfica granular y zonal; sus constituyentes esenciales son andesina, anortoclasa, augita, hastingsita y poco cuarzo; los secundarios son calcita y cuarzo y como accesorios, titanita, zircón y apatita. (El estudio petrográfico microscópico fue efectuado por el profesor Eduardo Schmitter del Departamento de Petrografía del Instituto de Geología, UNAM).

Por las observaciones de campo, *Rogers* et al. (1957, p. 47) supusieron que el intrusivo del Valle de San Feliciano es un facolito, pero con la consideración de que, si este cuerpo es de mayores dimensiones, puede tratarse de un tronco (Stock) y que la concordancia observada, es local.

El intrusivo mencionado, produjo una flexión y una serie de fallas normales con desplazamiento horizontal, principalmente en el anticlinal de Santa Rita, así como una mineralización de óxido de hierro (hematita), la cual se presenta en forma de hilillos y vetillas. En la Mina Los Gemelos, la mineralización fue de zinc, oro y plata. En la Sierra de San José, situado al noreste de la Sierra de Santa Rita, hubo una concentración de mercurio en pequeñas bolsas y vetillas.

Riolita. En el Cañón del Potrero, en el flanco nororiental de la Sierra de Santa Rita y al poniente de la población de San José Carbonerías, aflora un pequeño cuerpo de riolita intrusiva, alojado en la Caliza Zuloaga. Está muy erosionado y forma una depresión de forma aproximadamente semicircular.

En la parte central de este intrusivo riolítico se presenta, dando la impresión de ser un cuerpo diferente, otro afloramiento de riolita, de 20 m por 10 m, con mineralización incipiente de manganeso. Se trata de una riolita muy intemperizada, de color pardo rojizo, de textura porfirítica, con fenocristales de cuarzo y ortoclasa, muchos de estos últimos ya caolinizados. La matriz es silícica y está muy alterada.

ROCAS METAMÓRFICAS

La masa intrusiva a que se hace referencia en el capítulo anterior, intrusionó a una serie de formaciones sedimentarias, provocando en ellas metamorfismo de contacto.

Las rocas metamórficas que aparecen en los cerros donde se encuentra la mina Los Gemelos, son, del intrusivo hacia la periferia, tactita, corneana calcárea (Hornfels calcáreo) y caliza recristalizada. La tactita se compone, en su mayor parte, de grosularita y presenta también cuarzo, hastingsita, calcita, epidota, etc., esta roca se encuentra alterada y se disgrega fácilmente.

Las corneanas calcáreas son de color gris verdoso, de textura granoblástica, cuyos constituyentes metamórficos son: granate, grosularita, diopsido, wollastonita, augita, etc., y los postmetamórficos como vesubianita, calcita, cuarzo, pirita, etc. (La determinación petrográfica microscópica fue efecuada por el profesor Eduardo Schmitter del Departamento de Petrografía del Instituto de Geología, UNAM).

Hacia la parte inferior del cerro, están la Caliza Cuesta del Cura y la Formación Indidura, recristalizadas.

TECTÓNICA

El área de El Cardito se encuentra en la llamada Meseta Central, al sur de las Sierras Transversales (Raisz, 1959); en la Zona de Intrusiones (de Cserna, 1953, p. 1479; 1955; 1956, p. 51) o en la Faja Mineral (Rogers *et al.*, 1961, p. 149).

La tectónica de esta área es muy complicada, como en general lo es toda esta región, estando regida por una gran falla que con una orientación NO-SE la cruza en su totalidad.

El área planificada incluye una serie de pliegues asimétricos en su mayoría, con una orientación general hacia el noroeste, aunque en la parte septentrional tienden a cambiar este rumbo por el de este-oeste. Se exceptúa de la orientación general, la estructura denominada La Sierrita, la cual tiene una orientación hacia el noreste. Las principales estructuras que se presentan en

el área son, de oriente a poniente, las siguientes: 1) la Sierra de Santa Rita; 2) la Sierrita de Tanquecillos o de Potrerillo; 3) la Sierra de La Centella; 4) la Sierra de Las Iglesias; 5) la Sierra del Junco; 6) la Sierra del Barroso; 7) la Sierra de La Candelaria; 8) la Sierra del Toro; 9) la parte suroriental de la Sierra de La Gruñidora; 10) La Sierrita y 11) las sierras sin nombre que se encuentran en la parte sur del área estudiada, especialmente en su porción oriental.

1. *Sierra de Santa Rita.* La parte de esta sierra que aparece en el área de El Cardito tiene una longitud aproximada de 23 km. Estructuralmente está formada por un anticlinal con una orientación norte-sur, en su parte meridional. A la altura del Valle de San Feliciano, el anticlinal sufre un recostamiento hacia el noreste, posiblemente provocado por el empuje del cuerpo intrusivo, y su eje estructural cambia hacia el noroeste.

El núcleo de este anticlinal lo forma la Caliza Zuloaga del Jurásico Superior, presentándose a continuación la secuencia estratigráfica completa del Cretácico Superior, hasta la Formación Caracol.

En su parte sur, el anticlinal está afectado por dos fallas; una de ellas, la de mayor dimensión longitudinal, tiene un rumbo aproximado de N30°E y afecta a la secuencia estratigráfica desde la Caliza Zuloaga hasta la Formación Caracol; convergente con la falla anterior, existe otra de menores dimensiones con un rumbo aproximado de N80°0, la cual afecta también la misma secuencia estratigráfica.

Hacia el norte, entre el Valle de San Feliciano y el Cañón del Potrero, se encuentra una falla longitudinal, de aproximadamente 4 km de longitud, que termina cerca del intrusivo riolítico. A continuación se observa otra falla, también longitudinal, con un desarrollo de 5.5 km, la cual, igual que la anterior, es paralela al eje axial de la estructura.

En la parte central, de la porción de la Sierra de Santa Rita que está en la región de El Cardito, aflora un gran intrusivo granodiorítico, el cual produjo mineralización por metamorfismo de contacto. Este intrusivo se encuentra parcialmente erosionado.

2. *Sierra de Tanquecillos.* Un valle alargado, en el que hay algunos afloramientos de la Caliza Cuesta del Cura y de la Grava Peribañez, separa la Sierra de Santa Rita de la Sierrita de Tanquecillos. De sus relaciones litológicas y estructurales, se infiere la existencia de una serie de pliegues menores.

La Sierrita de Tanquecillos o de Potrerillos es un anticlinal casi simétrico, con una orientación hacia el noroeste en su parte sur y francamente hacia el poniente en su porción norte. Esta sierra tiene 11 km de longitud.

3 a 6. *Sierra de La Centella, de las Iglesias, del Junco y del Barroso.* Estas sierras están separadas entre sí por una serie de pequeños valles alargados y se pueden considerar como una misma unidad fisiográfica. Tectónicamente la Sierra de la Centella se encuentra separada de las otras, por una falla regional sepultada.

Estructuralmente, estas sierras están formadas por una serie de pliegues que siguen, aproximadamente, la dirección de todas las estructuras de la región, es decir, hacia el noroeste. Se presentan ampliamente afectadas por varios sistemas de fallas, unas longitudinales, es decir, siguiendo la misma dirección de los ejes estructurales y, otras, casi perpendiculares a las primeras. Entre las más importantes está una cabalgadura de unos 5 km de longitud que se localiza en la porción central de la Sierra de La Centella y que con una traza ondulante y una dirección este-oeste pone en contacto a la Formación Indidura y a la Caliza Cuesta del Cura, con la Caliza Zuloaga.

También es notable otra falla de aproximadamente 15 km de longitud, la que con una orientación NO-SE, separa las sierras del Junco y del Barroso y bisecta a la de Las Iglesias. Se presentan, además, otra serie de fallas de dimensiones menores.

7 y 8. *Sierra de La Candelaria y del Toro.* Esta sierra puede considerarse como una prolongación hacia el norte del grupo de la Sierra de La Centella, de la cual se encuentra separada por una garganta de unos 2 km de longitud y por consiguiente, presenta las mismas características generales.

En el flanco suroeste del cordón montañoso principal, se observa a la Caliza Zuloaga descansando discordantemente sobre rocas más antiguas, de la Formación Nazas. En el pequeño y aislado cerro en las inmediaciones al poblado de La Candelaria, la Caliza Zuloaga, brechada y alterada, descansa sobre rocas de la Formación Nazas y Taray.

9. *Sierra de La Gruñidora.* En el área de El Cardito solamente está presente una parte del flanco oriental y suroriental de la Sierra de La Gruñidora.

Aflora, aunque no regularmente, toda la secuencia estratigráfica desde la Caliza Zuloaga hasta la Formación Caracol, predominando en extensión, los afloramientos de la Caliza Cupido y de la Caliza Cuesta del Cura. También se observa un pequeño afloramiento de la Formación Ahuichilla, yaciendo discordantemente sobre la Caliza Cuesta del Cura. Estructuralmente es bastante compleja, observándose varios sistemas de fallas, teniendo las principales un rumbo hacia el noroeste y otras hacia el noreste. En el extremo sur de la sierra los pliegues tienen un rumbo hacia el noreste.

10. *La Sierrita.* Esta pequeña sierra, con elevaciones topográficas de poca magnitud, está formada por una serie de pliegues asimétricos con un rumbo general hacia el noreste y en las cuales afloran la Caliza Cupido, la Formación La Peña y la Caliza Cuesta del Cura.

La posición del cuerpo que forma esta sierra y la orientación de sus pliegues, diferentes a las del resto del conjunto, hace suponer al autor que se trata de bloque separado del resto por un rasgo estructural, tal como una falla, que tentativamente se localiza pasando por La Grulla, al norte de la Sierrita y por San Francisco.

11. *Sierras sin nombre.* Con esta denominación se involucran una serie de pequeñas elevaciones topográficas situadas en la parte sur-oriental del área y que están constituidas por suaves pliegues asimétricos, con una orientación general hacia el noroeste y en las cuales afloran la Grava Peribañez y desde la Formación Indidura hasta la Caliza Cupido, así como unas pequeñas mesetas de basalto.

HISTORIA GEOLÓGICA

Las rocas más antiguas expuestas en el área de La Gruñidora son las que constituyen la Formación Taray; de ella se deducen los acontecimientos geológicos ocurridos durante el Paleozoico Tardío. Esta formación fue depositada desde el Devónico Temprano al Pensilvánico Temprano (?); esto se ha supuesto por su similitud con las rocas del Paleozoico Superior que afloran en la región de Marathon, en el oeste de Texas (King, 1936).

Los sedimentos de esta formación fueron depositados en un geosinclinal y muestran una serie de acontecimientos que se repitieron, lo cual puede postularse debido al carácter cíclico que presenta la lutita, arenisca, novaculita y dolimía. Posteriormente, la orogenia y el metamorfismo acompañante de bajo grado, que tuvo lugar al final del Paleozoico y principios del Mesozoico, convirtió estos sedimentos en filita de bajo grado de metamorfismo.

Este evento probablemente fue parte de la Orogenia Coahuiliana que consolidó la Faja Estructural Huastecana durante el Pérmico Tardío-Triásico Medio (de Cserna, 1960, p. 601) o bien, parte de la que consolidó la Faja Estructural Ouachita principalmente durante el Pensilvánico (Flawn *et al.*, 1961, p. 188).

Después de un periodo de erosión intensa, la Formación Nazas se depositó discordantemente sobre la Formación Taray, en la parte septentrional, en lo que hoy se denomina Sierra de La Candelaria. Todavía más al norte, fuera de los límites de esta área estudiada, se depositó sobre la Formación Rodeo.

La litología de la Formación Nazas señala que durante el Triásico (?) tuvo lugar una actividad volcánica y una deformación posterior que dieron lugar al basculamiento de sus estratos por medio de fallas y a la formación de pequeños pliegues, los cuales fueron truncados antes del depósito de la Caliza Zuloaga, durante el Oxfordiano.

Durante la transgresión marina que se inició al final del Oxfordiano y que cubrió una extensa superficie de erosión desarrolla sobre la Formación Nazas y sobre otras formaciones más antiguas, se depositó el "Grupo Zuloaga". Fragmentos de la Formación Nazas están presentes en la brecha basal de la Caliza Zuloaga. Esta unidad se depositó en un mar epicontinental de poca profundidad, consistiendo principalmente de caliza, con una cantidad relativamente pequeña de material clástico.

Durante el Kimmeridgiano y el Portlandiano cambiaron las características de los sedimentos, predominando los clásticos, posiblemente como consecuencia de levantamientos y ajustes tectónicos locales. Los sedimentos de estas edades están representados en el área por la Formación La Caja. Estos sedimentos se depositaron sobre una superficie irregular originada, posiblemente, por los mismos movimientos tectónicos menores ya mencionados, explicándose así la notoria variación en el espesor de esta formación. La presencia de fosforitas sugiere que el medio de depósito fue en un clima árido y los mares someros, ya que estas condiciones favorecen la formación de este tipo de depósitos.

Probablemente no hubo regresión marina al terminar el Jurásico, aunque el contacto con el Cretácico parece estar marcado por una diastema, ya que no hay sedimentos representativos del Berriasiano. Esta diastema, en igual forma como las oscilaciones anteriores, puede estar relacionada con la Orogenia Nevadense, evidencia para la cual, no obstante, aún no se ha encontrado en México. La sedimentación, desde el Jurásico Tardío al Cretácico Temprano, parece haber sido continua en el área de El Cardito. Se infiere que las formaciones Taraises, Cupido y La Peña fueron depositadas bajo condiciones poco favorables para la vida, lo cual se basa en la escasez de fauna bentónica que presentan.

La litología de la Caliza Cuesta del Cura, del Albiano y parte inferior del Cenomaniano, sugiere que fue depositada en aguas batiales; la amplia distribución que tiene esta formación indica que en una extensión considerable del norte y centro de México, prevalecieron condiciones similares.

Al principiar el Cretácico Tardío, cuando se depositó la Formación Indidura, hubo un cambio brusco en el suministro de los sedimentos, predominando los clásticos y a partir de entonces, continuó aumentando la proporción de este tipo de material. Imlay (1936, p. 1131) sugiere que estos sedimentos debieron de provenir de un continente situado al occidente y que principió a emerger en el

Cenomaniano. De Cserna (1956, p. 66) considera que la Formación Indidura representa el inicio de un depósito cíclico de tipo flysch, que principió en el Cenomaniano tardío, y que continuó hasta el Paleoceno.

En el Coniaciano, durante el depósito de la Formación Caracol, prevalecieron las mismas condiciones que existían cuando se depositó la parte superior de la Formación Indidura, pero la presencia de capas de arenisca parecen indicar el aumento de corrientes de turbidez.

Durante la Orogenia Laramide, que principió a finales del Cretácico y que se prolongó hasta mediados del Eoceno, los sedimentos que se acumularon en el Geosinclinal Mexicano quedaron comprimidos por fuerzas que actuaron desde el sur y del poniente, en dirección más o menos perpendicular al margen de las Penínsulas de Coahuila y de Tamaulipas, las cuales actuaron como contrafuerte. El resultado fue una serie de pliegues angostos y alargados y algunas cabalgaduras en las áreas circundantes a la Sierra Madre Oriental y Sierras Transversales. El fallamiento, aunque no fue dominante, sí tuvo importancia local (Rogers *et al.*, 1957, p. 79). El plegamiento de la Sierra Madre Oriental constituyó la culminación de la Orogenia Laramide. Böse y Cavins (1927, p. 142) concluyeron que dicho plegamiento se efectuó durante el Eoceno Temprano y Medio. Posteriormente, Muir (1936, p. 140) y Heim (1940, p. 347) apoyaron esta conclusión.

La deformación fue acompañada y seguida por un levantamiento. La erosión de las vertientes meridionales y occidentales de la Sierra Madre Oriental produjo grandes abanicos aluviales, los cuales rellenaron primero los sinclinales, constituyendo un depósito de tipo "molasse" continental (de Cserna, 1956). Así se formó la Formación Ahuichila.

Hacia fines de la Orogenia, fueron emplazados intrusivos granodioríticos en los pliegues preexistentes, que deformaron aún más a las rocas sedimentarias. Este período de intrusión probablemente continuó hasta el Oligoceno Tardío. En el área de El Cardito se presentan algunas manifestaciones de este evento, en su porción noreste.

Los esfuerzos de compresión fueron seguidos por un relajamiento, durante el cual predominaron los esfuerzos de tensión, que provocaron un fallamiento en bloques. Posteriormente, las rocas han sido arqueadas e inclinadas, aunque no ha tenido lugar un plegamiento propiamente dicho.

Durante el Mioceno y el Plioceno tuvo lugar un período de vulcanismo que produjo los derrames basálticos que se encuentran tanto en el área de El Cardito (noreste de Rancho Nuevo e inmediaciones de San Tiburcio) como en regiones adyacentes.

Posiblemente a fines del Terciario tuvo lugar el último levantamiento regional, el cual originó el depósito de la Grava Peribañez, que cubre discordantemente las formaciones mesozoicas. Estas gravas pudieron también ser producto de un cambio de clima, de árido a húmedo, con el consecuente incremento de la erosión. A partir del Plioceno hasta el Reciente, el proceso predominante es la erosión más que el depósito.

HIDROLOGÍA

La Hidrología se define como la ciencia que estudia las aguas sobre y bajo la superficie terrestre, en sus tres estados físicos, en la forma como se presenta y distribuye y en su circulación. Por lo tanto, en un sentido amplio, la Hidrología es un conjunto de ciencias y técnicas necesarias e indispensables para el completo conocimiento del agua. Cuando se refiere a los fenómenos y leyes de su movimiento, incluye el estudio de la Hidráulica. Su distribución sobre la Tierra involucra parte de la Geografía Física relacionada con el agua, es decir, la Hidrografía. También se pueden considerar algunos aspectos biológicos como la influencia del agua en la vida de los animales y de las plantas. Tiene una estrecha relación con la Meteorología y Climatología, con la Geología Física (Oceanografía, Potamología, Limnología y Criología), con la Química, así como con la Estadística Matemática y el Cálculo de Probabilidades.

La Hidrología se divide en dos ramas: Hidrología de Superficie e Hidrología Subterránea o Hidrogeología.

La Hidrología comienza donde termina la Meteorología y finalizándose, principia nuevamente esta última. Es decir, que se ocupa de estudiar el agua desde que ésta llega a la superficie terrestre por las diversas formas de precipitación y termina cuando ocurre la evaporación.

DESARROLLO HISTÓRICO

La Hidrología es una rama relativamente nueva de las Ciencias Naturales. Prácticamente hasta fines del siglo pasado no aparece la Hidrología como tal y, en sus comienzos, sólo en un aspecto cualitativo. A partir del 1930 es cuando inicia su desarrollo, especialmente a partir de que se establecieron dos principios fundamentales como fueron el de "la unidad hidrográfica" por Leroy K. Sherman (1932, p. 501) y el de "la capacidad de infiltración" por R. E. Horton (1933). Sin embargo, puede decirse que esta ciencia es tan antigua como el hombre, ya que en el fondo trata del aprovechamiento de este vital elemento.

Haciendo un recorrido histórico, se encuentran datos sobre niveles de inundaciones del Nilo, Egipto, desde 3 000 años A.C., así como también se conocen relaciones pluviométricas de la India de 400 años A.C. Existen vestigios de que chinos y árabes realizaron obras de riego también en épocas remotas. En Es-

paña, las obras de los romanos para abastecimiento de agua a las poblaciones y las de los árabes para riego, así como las obras que construyeron las civilizaciones prehispánicas en América, ponen de manifiesto que el hombre se ha preocupado siempre de aprovechar el agua.

El aspecto que se puede llamar racional de la Hidrología, fue planteado por Aristóteles y Platón, los cuales hicieron estudios filosóficos sobre lo que se llamó ciclo hidrológico. Llegando a conclusiones curiosas opinaban que la lluvia era menor que la escorrentía, es decir que la precipitación era menor que el agua que llevaban los ríos y creían que la diferencia la suplía el aporte de las corrientes subterráneas.

Fue Leonardo da Vinci el que estableció por primera vez el ciclo hidrológico en la forma que hoy se conoce. En el siglo XVII, el francés Perrealt, hizo por primera vez mediciones de la lluvia en la cuenca del Sena y del caudal de este río, llegando a la conclusión de que su caudal es la sexta parte de la lluvia que cae en la cuenca de dicho río.

Posteriormente el conocido astrónomo inglés Halley, demostró que la evaporación de los océanos proporcionaba agua suficiente para el caudal de todos los ríos conocidos. Es decir, que dio otro paso en el estudio del ciclo hidrológico, demostrando el importante papel de la evaporación y de la lluvia como fuente de caudales.

Los avances de la ciencia y de la tecnología, permiten afirmar que, en la actualidad, se tienen las herramientas necesarias para resolver casi todos los problemas que se pueden encontrar en este campo.

CICLO HIDROLÓGICO

En una o en otra forma, el agua se presenta prácticamente en todos los lugares, variando en cantidades desde un casi ilimitado abastecimiento en los océanos hasta ninguno en las regiones desérticas. En la atmósfera se presenta como vapor de agua, en forma de nubes o como precipitación. Sobre la superficie de la tierra se encuentra en forma de corrientes, lagos u océanos y debajo de la superficie terrestre en forma de aguas subterráneas, dentro de una clasificación especial.

Debido a la energía térmica solar y a la acción de la gravedad, el agua está sujeta a una serie de procesos que se manifiestan en cambios de estado físico. Como consecuencia de estos cambios, el agua va de desde la superficie de todos los depósitos de agua y de las corrientes, a la atmósfera, desde la cual se precipita en diferentes formas sobre la superficie terrestre, volviendo a los depósitos de agua a través de redes hidrográficas superficiales y subterráneas y aún por la misma evaporación. A este complejo proceso cíclico es al

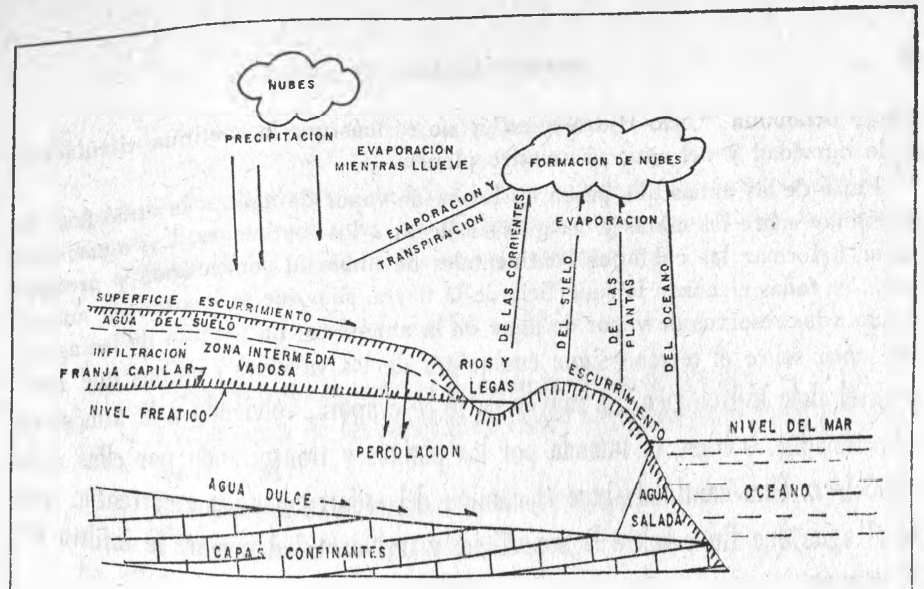

Fig. 3

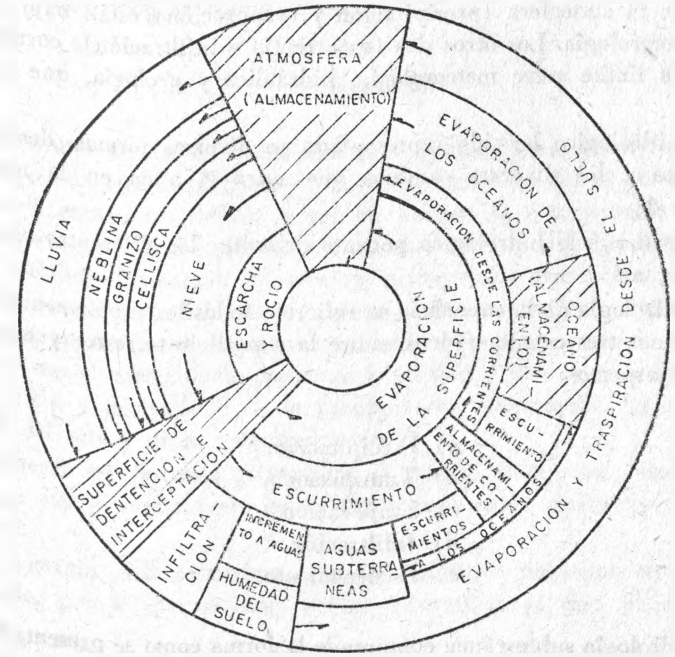

Fig. 4
EL CICLO HIDROLOGICO

que se denomina "Ciclo Hidrológico" y no es más que la continua circulación de la humedad y del agua en nuestro planeta.

Parte de las aguas que pasan en forma de vapor de agua a la atmósfera se precipitan sobre los mares y océanos sin llegar a los continentes. Las aguas que llegan a formar las cubiertas continentales de nubes al condensarse y precipitarse, no todas alcanzan la superficie de la tierra, sino que se incorporan nuevamente a las reservas de vapor de agua de la atmósfera. La porción de las aguas que caen sobre el terreno sigue cualquiera de los variados caminos que integran el ciclo hidrológico. La mayor parte se evapora, volviendo a la atmósfera directamente, o bien, es tomada por las plantas y transpirando por ellas a la atmósfera. Una cantidad sigue el camino del escurrimiento o escorrentía, que es el agua que fluye sobre la superficie, y una cantidad menor, se infiltra en el terreno.

Las condiciones climáticas, la abundancia de la vegetación, la permeabilidad y la pendiente de los suelos y rocas de la superficie terrestre, condicionan directamente la importancia relativa de estos fenómenos.

De los cuatro procesos que constituyen el ciclo hidrológico, dos de ellos se desarrollan en la atmósfera (precipitación y evaporación) están bajo el dominio de la meteorología. Los otros dos (escorrentía e infiltración), corresponden a una ciencia límite entre meteorología, hidráulica y geología, que es la hidrología.

El ciclo hidrológico ha sido representado en diversas formas, describiendo el movimiento y los diversos cambios que sufre el agua en la naturaleza (figuras 3 y 4).

El estudio del ciclo hidrológico permite delimitar los diferentes campos de la Hidrología, así:

1. La Hidrología de la superficie se refiere a todos los problemas referentes a el agua en sus tres estados físicos, sobre la superficie terrestre y comprende los siguientes aspectos:

a) Precipitación.
b) Transpiración
c) Evaporación.
d) Infiltración.
e) Escurrimiento.

2. La hidrología subterránea comprende la forma como se presenta el agua, su distribución y su movimiento, todos estos aspectos debajo de la superficie terrestre.

BALANCE HIDROLÓGICO

Las relaciones cuantitativas de las diversas cantidades que intervienen en el ciclo hidrológico se expresan en la siguiente ecuación, que indica la manera como se distribuyen las aguas caídas en una cuenca:

$$P = S + E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + M_1 + I_1 + I_2$$

P = Precipitación
S = Escurrimiento superficial durante la época de lluvias
E_1 = Evaporación de las superficies libres (masas naturales o artificiales de agua)
E_2 = Evaporación en el terreno (suelos, rocas, etc.)
E_3 = Transpiración en el terreno.
E_4 = „ „ las ciénagas
M_1 = Escurrimiento de manantiales de afloramiento espontáneo y libre
M_2 = Escurrimiento de manantiales de afloramiento en ciénagas
I_1 = Afloramientos artificiales de agua
I_2 = Infiltración de aguas en el subsuelo: colgada, pelicular retenida por combinaciones químicas, agua de la zona de saturación, aguas que emigran a otras cuencas.

PRECIPITACIÓN

Este término se usa en hidrología para incluir todas las formas de agua que se depositan en la superficie de la tierra derivadas del vapor de agua que contienen la atmósfera. Debido a que en México la precipitación se presenta en su mayoría en forma de lluvia, siendo muy local la del tipo de nieve, en el presente estudio solamente se considera la primera. En general, las nubes se forman por enfriamiento del aire por debajo de su punto de saturación. Este enfriamiento puede tener lugar por varios procesos que conducen al ascenso adiabático con el consiguiente descenso de presión y descenso térmico asociado. La intensidad y la cantidad de la precipitación dependerán del contenido de humedad del aire y de la velocidad vertical.

De acuerdo con la causa que originó el ascenso de la masa húmeda, pueden clasificarse las precipitaciones en la forma siguiente: ciclónica, convectiva y orográfica.

Sin embargo, en la naturaleza estos fenómenos se presentan en forma interrelacionada, por lo que es muy difícil determinar el tipo de precipitación resultante.

Precipitación ciclónica. Recibe este nombre la precipitación asociada al paso de una perturbación ciclónica. Está ligada con los planos de contacto entre

masas de aire a diferente temperatura y humedad, siendo el resultado de la elevación de aire convergente en un área de baja presión. Se cree que la mayoría de las tormentas en terrenos planos son de este tipo.

Precipitación convectiva. Esta clase de precipitación es originada por la elevación natural de una masa de aire más ligero y caliente, rodeado de otra más densa y fría. Tiene lugar cuando la temperatura de la superficie del suelo se calienta heterogéneamente, transmitiendo en forma desigual el calor al aire, éste se condensa, se eleva y finalmente precipita. Este tipo de precipitación es el más común en los trópicos y va desde llovizna hasta tormenta.

Precipitación orográfica. Este tipo de precipitación ocurre cuando masas de aire húmedo y caliente tienen que pasar una barrera montañosa provocando el enfriamiento de éstas. La precipitación es mayor a barlovento, disminuyendo rápidamente a sotavento. En cadenas montañosas muy elevadas el máximo de precipitación se produce antes de la divisoria de las aguas; en altitudes menores y en algunas ocasiones, el máximo se produce pasada la divisoria, debido a que el aire continúa el ascenso. En terrenos muy abruptos es tan marcada la influencia orográfica que las características de la precipitación de tormenta tienden a representar la precipitación media anual.

Medición de las precipitaciones

La cantidad de agua que cae sobre el suelo se mide por la altura de la capa de agua que cubriría un suelo supuestamente horizontal, si no se produjera ninguna pérdida. La medida de las precipitaciones a pesar de su aparente simplicidad, es difícil; la cantidad de agua caída se expresa en mm (1 mm equivale a un litro de agua sobre una superficie horizontal de un metro cuadrado).

Los aparatos que se usan para medir la cantidad de lluvia que cae, son de dos tipos: pluviómetros y pluviógrafos. Deben ser instalados a una distancia conveniente de árboles, edificios, etc., a poca altura del suelo y al abrigo de los vientos. Teóricamente cualquier recipiente abierto, con paredes verticales, puede servir como pluviómetro, sin embargo, los efectos causados por los vientos variables y las salpicaduras de las lluvias, tienen como consecuencia que las mediciones en aparatos de diferente tamaño o de diferente forma de recepción, no puden ser comparables.

Existen diversos tipos de pluviómetros, dentro de éstos los más importantes son los adoptados en Francia, Bélgica, Inglaterra, Canadá y Estados Unidos.

Tipo americano, (Figura 5). En éste, la medición se hace con una regla fina, de acero, graduada en pulgadas y décimas de pulgada que se introduce por la boca del pluviómetro en el depósito colector, el cual a su vez, tiene una sección que es 1/10 de la sección de la boca del colector o superficie receptora. En algunas dependencias en México, se usa este tipo de pluviómetro solamente que la regla está graduada en mm.

El colector tiene una base prácticamente al nivel de la base del pluviómetro. Si se desborda el colector, cuando la cantidad de la precipitación es muy grande, el agua desbordada queda en la armadura del pluviómetro. Esta agua se vierte en el colector y luego se mide con la regla. En algunas ocasiones el colector ya está graduado.

En regiones en donde la precipitación es muy grande, se usan los pluviómetros tropicales, los cuales difieren únicamente en el tamaño del depósito colector, de tal manera que pueda medir lluvias hasta de 500 mm.

Las ventajas que presentan estos aparatos son: bajo costo del aparato y de su mantenimiento, la persona encargada de su operación no necesita tener conocimientos especiales y el aparato no necesita grandes cuidados. Su desventaja principal radica en que la autenticidad de los datos depende de la persona encargada de operarlo.

Los otros instrumentos que se usan para medir precipitación son los pluviógrafos, los cuales proporcionan registros de la intensidad de las lluvias con respecto al tiempo transcurrido. Estos son aparatos un poco más complejos que los anteriores, ya que poseen un mecanismo especial para poder ir marcando sobre un papel de registro las fluctuaciones de la precipitación.

Las ventajas principales de estos aparatos son: obtención de registros tiempo-lluvia reales, donde no influye el factor humano y que trabajan en forma automática, siendo necesario únicamente el cambio del papel registrador. Como desventajas se puede considerar que su costo es mayor que los anteriores, así como que se necesita mayor cuidado para su mantenimiento y el personal encargado debe tener cierto entrenamiento.

La cantidad de agua recogido y medida, como se señaló anteriormente, se totaliza durante 24 horas y se lleva un registro por mes y por año, lo que permite establecer las medias mensuales y anuales.

En la región de El Cardito existe una estación meteorológica dentro del área estudiada (San Tiburcio) y varias en sus inmediaciones, como se especifica en la tabla No. 1.

Las precipitaciones mayores se presentan en los meses comprendidos entre mayo y octubre inclusive, que es lo que puede considerarse como el período de las lluvias. Durante los otros meses del año caen muy irregularmente y en cantidades todavía menores.

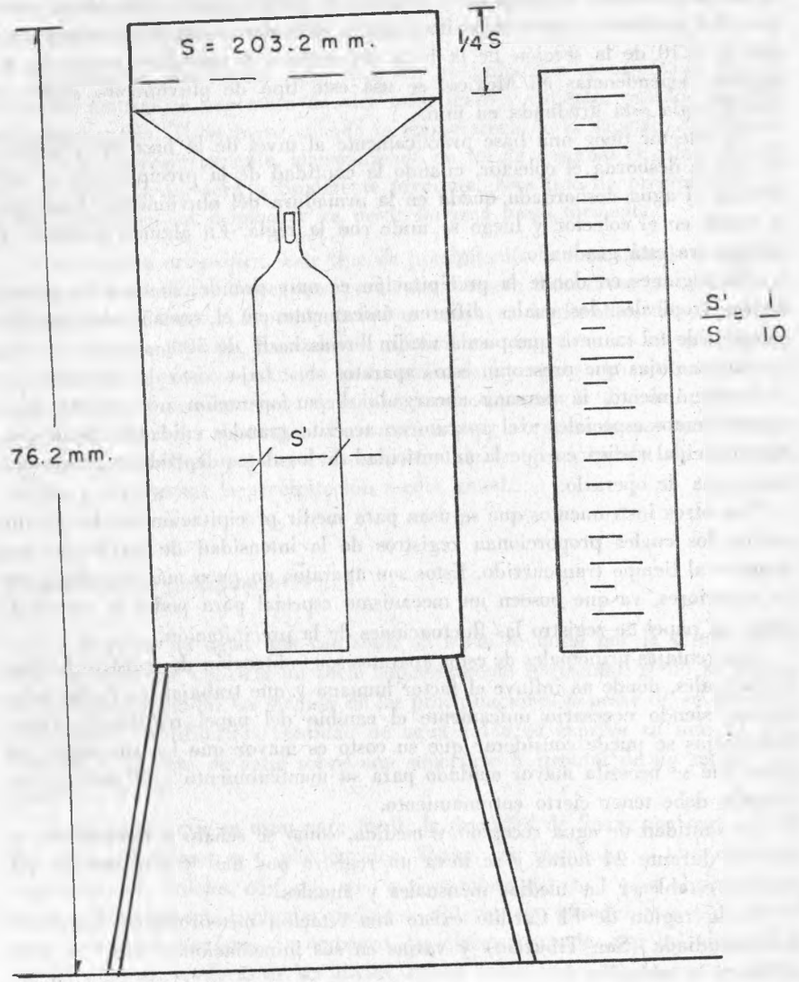

Fig. 5

TIPO AMERICANO

Precipitación media

Es el promedio de la precipitación en un período de tiempo para una zona determinada; la obtención de los valores reales está en función de la cantidad y de la distribución de las estaciones pluviométricas. Para diferentes distribuciones de estaciones existe un factor de corrección.

Para determinar la precipitación media hay varios métodos y son los siguientes:

Promedio aritmético. Este método es el más simple y se utiliza para zonas pequeñas, del orden de los 500 km² donde el terreno sea relativamente plano, las estaciones pluviométricas estén bien distribuidas y sus observaciones no difieren mucho de la media. Normalmente no se dan estas condiciones en la mayoría de las cuencas, por lo que este procedimiento es poco aproximado.

Como su nombre lo implica, este promedio se obtiene dividiendo la suma de las precipitaciones en cada estación, por el número de ellas.

Polígonos de Thiessen. Este método es recomendable para zonas medianas del orden de 500 a 5 000 km² y no requiere una distribución de estaciones como en el caso anterior.

La red poligonal se traza formando los polígonos mediante las perpendiculares en su punto medio a los segmentos que unen cada dos estaciones consecutivas. Se supone que cada estación es representativa del área de su correspondiente polígono, hallándose en esta forma la precipitación media como una media ponderada, según las áreas correspondientes de las precipitaciones de las distintas estaciones.

Así pues, la precipitación media se obtiene sumando los productos de las precipitaciones de cada estación por el área correspondiente y dividiendo este resultado por el área total.

$$Pm = \frac{Pa^A + Pb^B + Pc^C + Pn^N}{A + B + C + N} \text{ mm}$$

Donde: Pm precipitación media.

Pa, Pb, Pc, ... Pn precipitación promedio de las estaciones correspondientes en el período elegido.

A. B. C, ... N áreas de influencia de cada estación.

La desventaja principal de este método es que no es flexible y que supone una variación lineal de la precipitación, sin considerar el efecto topográfico; además, si alguna estación se elimina es necesario repetir todo el diagrama y el cálculo.

De las isoyetas. Este método es el más preciso, pero para su aplicación se requiere suficiente número de estaciones, observaciones y un plano base bien elaborado.

El trazo de las isoyetas (líneas de igual precipitación) se efectúa de la siguiente manera: se localizan las estaciones seleccionadas en el plano base, luego con los promedios de las precipitaciones en cada estación, se hace la configuración, pero en ésta no deberá hacerse la interpolación directa, sino que es necesario tomar en cuenta las alturas topográficas, con el criterio de que a mayor altura mayor precipitación. Las isoyetas tendrán cierto paralelismo con las curvas de nivel.

La precipitación media total en el área considerada, se obtiene sumando los productos del área planimetrada entre dos isoyetas consecutivas por la precipitación promedio entre ambas consideradas.

DATOS PLUVIOMÉTRICOS EN MÉXICO

Las Dependencias Federales que recopilan la información meteorológica son:

1.— Secretaría de Recursos Hidráulicos (S.R.H.).
2.— Servicio Meteorológico Mexicano (S.M.M.).
3.— Comisión Federal de Electricidad.
4.— Los diferentes Distritos de Riego.
5.— Petróleos Mexicanos.
6.— La Comisión Hidrológica de la Cuenca de México (C.H.C.M.).
7.— Gobiernos de los Estados.
8.— Uniones Ganaderas.
9.— Algunos particulares, como son algunas industrias.
10.— Universidad Nacional Autónoma de México.

En la Secretaría de Recursos Hidráulicos funcionan 2 452 medidores de lluvia, de los cuales 1 859 son pluviómetros y 593 pluviógrafos.

En el Servicio Meteorológico Mexicano funcionan 486 estaciones climatológicas provistas de medidores de lluvias.

A continuación se presenta la tabla No. 2 en la cual se indica el número de aparatos que existen en el país, en operación.

TABLA 2

ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

Estados	*S.R.H.* 1	2	*S.M.M.* 1	2	*Otros* 1	2
Aguascalientes	19	1	5	5	—	
Baja California	61	7	2	2	—	
Baja California T. Sur	63	6	—		—	
Campeche	29	3	12	11	—	
Coahuila	33	1	18	18	—	
Colima	20	5	5	3	—	
Chiapas	117	29	19	17	—	
Chihuahua	48	4	28	1	—	
Distrito Federal	34	10	9	—	5	2
Durango	65	10	19	—	—	
Guanajuato	67	6	11	—	—	
Guerrero	68	8	20	—	—	
Hidalgo	46	11	21	—	3	—
Jalisco	125	12	17	—	—	
México	127	20	19	—	2	—
Michoacán	72	5	32	—	11	—
Morelos	15	2	9	—	—	
Nayarit	30	4	6	—	—	
Nuevo León	56	10	10	—	—	
Oaxaca	135	27	22	—	6	—
Puebla	42	7	24	—	16	—
Querétaro	18	1	11	—	—	
Quintana Roo	24	2	—		—	
San Luis Potosí	80	1	19	—	—	
Sinaloa	58	6	10	—	14	—
Sonora	76	7	33	—	—	
Tabasco	42	12	8	—	—	
Tamaulipas	69	13	11	—	35	—
Tlaxcala	14	3	5	—	11	—
Veracruz	128	17	35	—	1	—
Yucatán	35	3	4	—	—	
Zacatecas	43	2	22	—	—	
TOTALES	1 859	593	486	57	105	2

Nota: 1. Pluviómetro 2. Pluviógrafo

Siendo la extensión de la República Mexicana de 1 963 890 km², resulta apenas una estación por cada 800 km² aproximadamente, lo que señala la urgencia de aumentar el número de estaciones meteorológicas. Considerando principalmente lo irregular de la distribución anual de la precipitación, debido a que todo el territorio nacional presenta relieve y características fisiográficas muy distintas, según sea la vertiente que se considere.

TABLA 3

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN DE EL CARDITO, ZACATECAS

Con los promedios obtenidos durante 1960 - 1970

(por el método de las isoyetas)

	(*Area km²*)	*Precipitación anual (mm) entre isoyetas*	*promedio*	*Area por precipitación (X 10³ m³)*
1	126.00	500 — 450	475	59 850.00
2	171.54	450 — 400	425	72 904.50
3	1 398.60	400 — 350	375	524 475.00
4	2 103.86	350 — 300	325	683 754.50
Total	3 800.00			1 340 984.00

$$Pm = \frac{1.340,984.00}{3,800.000} = 352.89 \text{ mm anuales}$$

$$Vanual = 1\,340\,984.00 \times 10^3 \text{ m}^3$$

El cálculo de la precipitación en una cuenca o área cualquiera debe hacerse para un período base determinado.

Cuando es necesario calcular el volumen medio anual precipitado se procede en la siguiente forma:

Método de Thiessen:

$$V = A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \ldots\ldots A_n P_n$$

$A_1, A_2 \ldots\ldots A_n$: área entre dos isoyetas sucesivas.

$P_1, P_2 \ldots\ldots P_n$: precipitación promedio entre dos isoyetas.

Método de las isoyetas:

$$V = A_1 P_1 + A_2 P_2 + \ldots\ldots + A_n P_n$$

$A_1, A_2 \ldots\ldots A_n$: área de influencia de una estación.
$P_1, P_2 \ldots\ldots P_n$: precipitación media de la estación considerada.

El valor del volumen medio anual se expresa en metros cúbicos.

Para el cálculo de la precipitación en el área de El Cardito, se procedió en la forma siguiente: se localizaron las estaciones meteorológicas y con base en los datos pluviométricos anuales (Tabla 1) de cada una y en las condiciones orográficas regionales, se construyeron las curvas de igual precipitación. A continuación se midieron las áreas comprendidas entre dos isoyetas consecutivas y luego se calculó la precipitación correspondiente a cada una de las áreas parciales. Finalmente se obtuvo la precipitación media de toda el área, así como el volumen total.

En forma similar se trazaron las isotermas.

(Ver tabla 3 y mapa 2).

EVAPOTRANSPIRACIÓN

El agua que es precipitada sobre la tierra regresa a la atmósfera como vapor de agua a través de la evapotranspiración, la cual comprende: evaporación. transpiración y sublimación.

Evaporación

Según el concepto físico más general, se llama evaporación al paso, a la temperatura ambiente, del estado líquido al de gas o vapor, de una substancia. En rigor, la evaporación principia antes de que la lluvia llegue a la superficie terrestre, sin embargo, desde el punto de vista hidrológico se considera la evaporación sólo de la lluvia que ha caído y no de la que se pierde en el camino por este fenómeno físico.

La evaporación depende de diversos factores meteorológicos y físico-químicos, entre los primeros se tienen:

1. Radiación solar. (Varía con la latitud, estación del año y hora del día).
2. Temperatura del agua.
3. Presión del vapor de agua.
4. Velocidad de los vientos.
5. Presión atmosférica.
6. La magnitud y forma de la superficie donde se realiza la evaporación.
7. Temperatura del aire, etc., etc.

Entre los factores físico-químicos se tienen:

1. Calidad del agua (contenido y concentración de sales). El agua de mar se evapora aproximadamente 2% menos que el agua pura a igual temperatura.
2. Lo relacionado con las características de la superficie de evaporación tales como el suelo, la vegetación, el pavimento, etc.

El agua procedente de la evaporación es agua pura porque las sales disueltas no pueden pasar al estado gaseoso a la temperatura ordinaria. La influencia de los factores mencionados es muy difícil de determinar.

En hidrometeorología la evaporación se mide por el espesor de la capa evaporada en mm y se toma el intervalo de tiempo entre dos observaciones consecutivas. Teniendo en cuenta que una lámina de agua de un mm de espesor y de un m² de superficie equivale a un litro, el mismo número que expresa el agua evaporada en mm representará también la cantidad en litros de agua evaporada por metro cuadrado de superficie evaporante.

La evaporación es difícil de medir debido principalmente a que sufre considerables variaciones de carácter local y es difícil encontrar un proceso suficientemente representativo de las condiciones medias de una región cualquiera.

Medida de la evaporación

Los aparatos que se usan para medir la evaporación se llaman evaporímetros o admidómetros y hay de varios tipos. Los más usados son los denominados tanques de evaporación, los cuales son depósitos de forma circular donde se observa la pérdida de agua por evaporación. Son de tres tipos: enterrados, flotantes y superficiales.

Cuando se necesita conocer la evaporación de un almacenamiento de agua superficial y se tiene un evaporímetro, es recomendable afectar los datos obtenidos con un coeficiente de 0.7.

En la región de El Cardito no fue posible determinar la evaporación debido a que las estaciones meteorológicas no están equipadas adecuadamente.

Transpiración. La evaporación a través de las plantas recibe el nombre de transpiración. Las raíces de las plantas toman el agua del suelo, principalmente por ósmosis, y por un mecanismo complicado asciende por el tronco de la planta hasta llegar por las ramas hasta las hojas y en éstas es donde se pone en contacto con la atmósfera. La superficie de evaporación es muy superior a la superficie aparente de la hoja, porque se produce no sólo en la superficie, sino también en el interior de la hoja, es decir que a través de los poros alcanza el aire una masa vegetal en el interior y por tanto, contribuye a la evaporación.

La transpiración depende también de varios factores tales como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, etc. También influye la humedad del suelo; si éste está muy seco, la planta no puede absorber agua por la raíz y transmitirla de tal manera que con humedades muy bajas en el suelo, cesa el mecanismo de transpiración.

La medición de la transpiración se realiza también por los mismos métodos de la evaporación. Puede hacerse con evaporímetros, así como también con parcelas de ensayo y con cajas de vidrio. La diferencia está en que en lugar de trabajar con suelos desnudos, se utilizan suelos en los cuales se han plantado distintas especies vegetales y se estudiará la influencia de una u otra especie.

Sublimación. El fenómeno de sublimación es aquel en el cual el agua pasa directamente del estado sólido (nieve o hielo) al de vapor. Estos fenómenos no tienen mayor importancia en Hidrogeología práctica debido a que no es posible cuantificarlos adecuadamente.

Importancia de la evapotranspiración. Los términos de evapotranspiración y uso consultivo y evaporación total, se consideran como sinónimos. El término evapotranspiración potencial se define como la evapotranspiración que tendría lugar si hubiere siempre un suministro adecuado de humedad.

La evapotranspiración representa un volumen muy importante de agua que se pierde en una región. Cuando se elabora el balance hidrológico de una cuenca, con el objeto de cuantificar las aguas subterráneas, representa un factor determinante ya que en algunos casos puede ser mayor del 65% del volumen total precipitado en un tiempo dado. Existen métodos experimentales para la medida de la evapotranspiración, así como varias fórmulas, cuyos resultados han sido comprobados en diferentes países.

Entre los primeros están los de toma y análisis de muestras del terreno,

medidas con evaporímetro, balance hidrológico, fluctuación del nivel freático, etc. Las fórmulas propuestas están basadas en los datos climáticos normales.

A continuación se citan algunos de los métodos y fórmulas más usadas para medir la evapotranspiración.

Método del balance hidrológico. Se basa en el principio de continuidad para una cuenca, suponiendo que sea posible medir al almacenamiento subterráneo así como obtener los datos referentes a las entradas y salidas de agua, exceptuando la evapotranspiración. La precisión de este método depende principalmente de el intervalo de tiempo considerado. Las aproximaciones de este método dependen fundamentalmente de las buenas observaciones de la precipitación, así como del adecuado control del escurrimiento superficial y de las corrientes subterráneas, tanto efluentes como afluentes.

Para una cuenca dada se plantea la siguiente ecuación:

$$E_t = P_c + F_e - (E + A_s + F_s)$$

donde:

E_t = evapotraspiración
P_c = precipitación en la cuenca
F_e = flujo que entra a la cuenca, superficial y subterránea
E = escurrimiento superficial que sale de la cuenca
A_s = cambio en el almacenamiento
F_s = flujo que sale de la cuenca, el cual puede ser:
a.—escurrimiento subterráneo
b.—aguas extraídas (pozos, manantiales, etc.)

Con esta fórmula se puede calcular la evapotranspiración para un período de tiempo determinado, por ejemplo puede ser mensual o anual. La evapotranspiración media se expresa en mm y según el período para el que se calcule, por ejemplo mm/día.

Fórmula de L. Turc (Castany, G., 1963)

Esta fórmula empírica se basa en la temperatura media anual del aire, en °C, por lo que expresa el poder evaporante de la atmósfera, y la altura de la precipitación media anual, en mm, que indica la humedad disponible. Esta fórmula ha sido probada en diferentes partes del mundo, bajo las más variadas condiciones y ha dado resultados satisfactorios. La fórmula en referencia es la siguiente:

$$Et = \frac{P}{\sqrt{0.9\,T + (P/L)^2}}$$

donde:

E_t = evapotranspiración.
P = altura de la precipitación media anual en mm.
L = $300 + 25\,T + 0.05\,T^3$
T = temperatura media anual ,en °C.

En el caso del área de El Cardito únicamente es posible el uso de una de las tantas fórmulas empíricas debido a que es incompleta la información que proporcionan las estaciones meteorológicas que han servido de base para este estudio; en el mejor de los casos solamente dan información sobre la precipitación y la temperatura. El método del balance hidrológico no se puede aplicar debido a que todavía se desconocen los datos referentes al movimiento de las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Cálculo de la evapotranspiración de la región de El Cardito, Zacatecas, con datos del periodo 1960-70 usando la fórmula de Turc.

$P_m = 352.89$
$T_m = 17°C.$
$L = 300 + 495 + 254.65 = 970.65$

$$E_t = \frac{352.89}{\sqrt{0.95 + \left(\frac{352.89}{970.65}\right)^2}} = \frac{352.89}{\sqrt{15.3 + 0.132}}$$

$$E_t = \frac{352.89}{\sqrt{15.43}} = \frac{352.89}{3.90} = 94 \text{ mm}$$

$E_t = 90 \text{ mm/m}^2$

En diferentes partes del mundo se han efectuado mediciones de la evapotranspiración aplicando la fórmula de Turc y métodos directos, al comparar los resultados se han obtenido datos satisfactorios.

Esta ecuación es aplicable en todos los climas, tanto áridos como húmedos y fríos como calientes. Estudios efectuados en el África Occidental han demostrado su validez para los climas tropicales y subtropicales (Castany, G., 1963, p. 40).

INFILTRACIÓN

El agua proveniente de la precipitación, después de ser afectada por la evapotranspiración y por la absorción de la cobertura vegetal, llega a la superficie del terreno en la cual se reparte en dos fracciones: el escurrimiento superficial y la infiltración.

La infiltración representa la cantidad de agua que penetra en el suelo y que posteriormente alimenta a las aguas subterráneas en forma de agua de retención, escurrimiento hipodérmico, escurrimiento subterráneo y alimentación de las reservas acuíferas.

En la figura 6 se ilustra la distribución del agua proveniente de la precipitación.

Horton, R. E. (1933) introdujo el concepto de infiltración en el ciclo hidrológico y definió la capacidad de infiltración: fp (mm/hr), como la máxima cantidad de agua que un tipo de suelo dado puede absorber en la unidad de tiempo y en determinadas condiciones.

La infiltración depende de una serie de factores, tales como la condición de la superficie del suelo, densidad de la vegetación, temperatura, composición química del agua que llega al suelo, propiedades físicas del suelo (porosidad, tamaño y arreglo de los fragmentos, cohesión, etc.), intensidad de lluvia, etc.

La infiltración es producida por la acción combinada de las fuerzas de la gravedad y de las producidas por la atracción molecular del terreno. Cuando la humedad del suelo es reducida y una gota de lluvia toca la superficie del terreno, las fuerzas moleculares de éste la atraen y hacen que sea absorbida. A medida que el suelo se humedece decrece la importancia de la atracción molecular y aumenta la de la fuerza de la gravedad. La permeabilidad del suelo es secundaria en un principio, pero a medida que el suelo se satura es fundamental para la velocidad de infiltración.

Capacidad de infiltración

En determinadas cuencas no hay correspondencia entre las grandes precipitaciones y los caudales importantes, puede ocurrir que lluvias muy fuertes solamente produzcan pequeños aumentos del caudal y viceversa, lluvias pequeñas originan considerables aumentos en el caudal. Esta reacción, más o menos rápida, está condicionada en gran parte por la permeabilidad del terreno. De este hecho se llega a la conclusión de que el conocimiento de la lluvia no es suficiente para poder obtener o predecir la escorrentía.

Se establece una nueva ecuación del balance hidrológico, referida a un corto período:

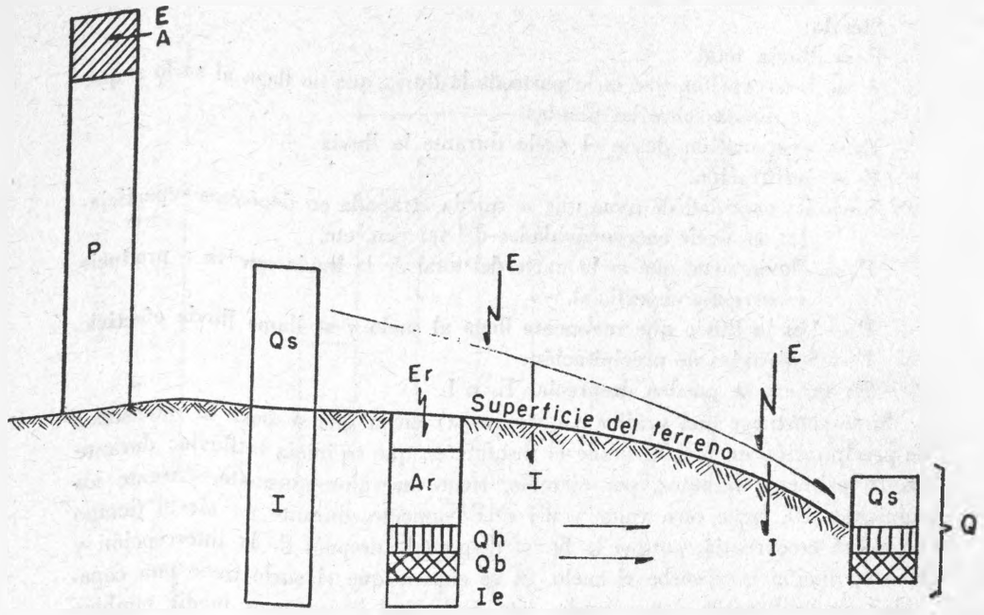

Fig. 6

P.— Precipitación
E.— Evapotranspiración
A.— Agua retenida por la cubierta vegetal
I.— Infiltración
Er.— Evapotranspiración real
Ar.— Agua de retención
Qh.— Escurrimiento hipodérmico
Qb.— Escurrimiento subterraneo
Qs.— Escurrimiento superficial
Q.— Escurrimiento
Ie.— Infiltración eficaz

$$P = I + E_l + F + S + P_n$$

Siendo:

P = lluvia total

I = intercepción, que es la parte de la lluvia que no llega al suelo y que se queda sobre las plantas.

E_l = evaporación desde el suelo durante la lluvia.

F = infiltración.

S = La cantidad de agua que se queda atrapada en depósitos superficiales, es decir en concavidades del terreno, etc.

P_n = lluvia neta, que es la parte del total de la lluvia que va a producir escorrentía superficial.

P — I es la lluvia que realmente llega al suelo y se llama lluvia efectiva.

F — S pérdidas de precipitación.

En genera se pueden despreciar E_l e I.

Si se construye una gráfica (hyetograma) en la que se pone la intensidad de precipitación en mm/h, desde el instante en que se inicia la lluvia; durante los 10 primeros minutos, por ejemplo, tiene un valor constante, durante los siguientes 10, tiene otro valor y así sucesivamente, durante un cierto tiempo no habrá escorrentía, porque la lluvia disponible después de la intercepción y la evaporación la absorbe el suelo. Si se supone que el suelo tiene una capacidad de infiltración determinada, esta capacidad la podemos medir también en mm/h y se diría que la capacidad de infiltración F mm/h sería la capa de agua extendida uniformemente sobre la cuenca, que es capaz de absorber ese suelo en una hora; mientras la lluvia no alcance ese valor, toda el agua que está cayendo se estará infiltrando hasta que la lluvia no alcance una intensidad mayor a la infiltración no habrá escorrentía; en el instante en que alcance este valor, el exceso sobre de F correrá sobre la superficie. Estos valores de intensidad de lluvia por encima del valor de F es lo que se llama lluvia neta Pn (Figura 7).

Los períodos de tiempo en los que la lluvia real es superior a la capacidad de infiltración, se llama "tiempo de lluvia eficaz".

En el hyetograma que se ha trazado para definir la lluvia neta y la lluvia eficaz, se ha limitado la lluvia neta y el escurrimiento por medio de una línea horizontal. En rigor esta línea debe ser descendente con base en que inicialmente se trata de un suelo completamente seco (f_o) y paulatinamente tiende a saturarse (f_c) (Fig. 8).

Métodos para la medida de la infiltración

En Hidrogeología el factor más importante del ciclo hidrológico es la infiltración, pero es el más difícil de evaluar.

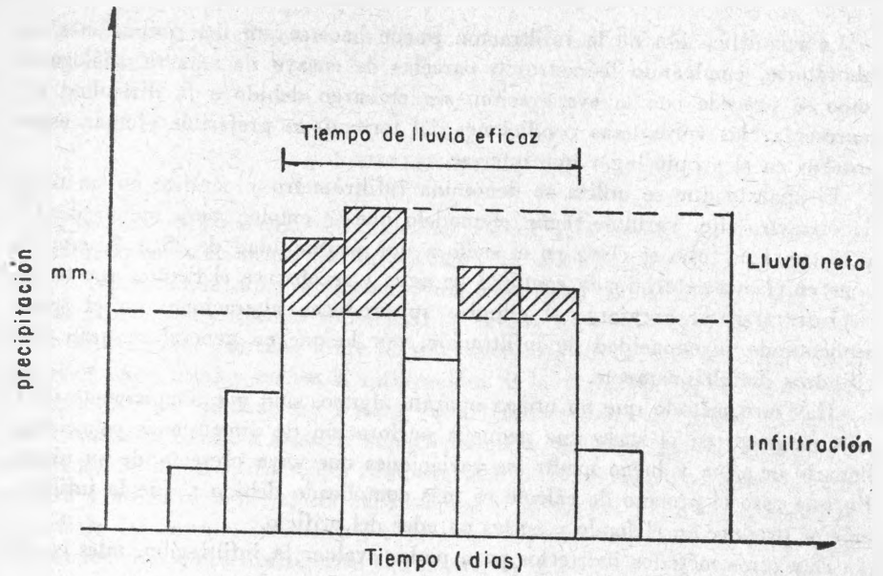

Fig. 7

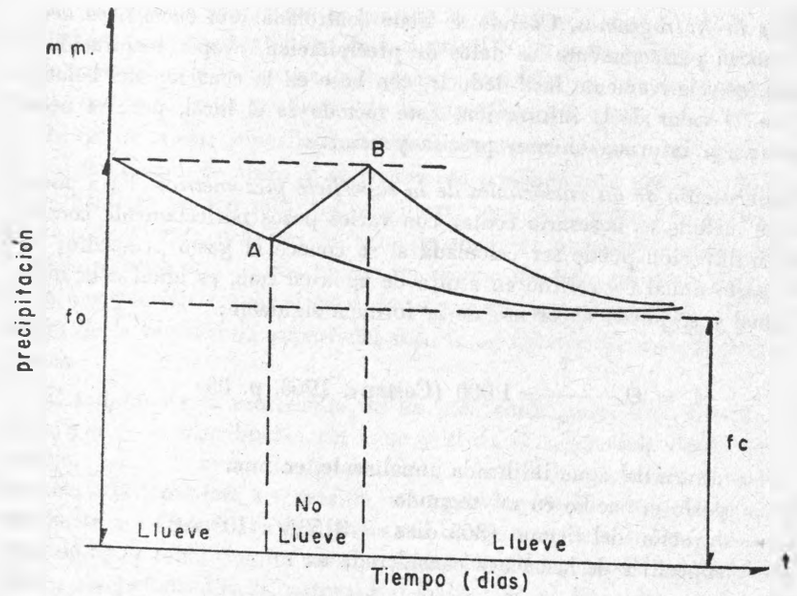

Fig. 8

La cuantificación de la infiltración puede hacerse por determinaciones de laboratorio, empleando lisímetros o parcelas de ensayo de manera análoga a como se procede con la evaporación, sin embargo debido a la dificultad de representar las verdaderas condiciones del terreno, es preferible efctuar estas pruebas en el propio lugar que interese.

El aparato que se utiliza se denomina infiltrómetro y consiste en un tubo de diámetro fijo, variable según el modelo que se empleé, pero menor de 15 a 20 cm. Este tubo se clava en el suelo a una profundidad de 25 a 30 cm, se pone en él una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse, al encajarse el cilindro se producen alteraciones en el suelo aumentando su capacidad de infiltración, por lo que en general se usan dos cilindros simultáneamente.

Hay otro método que no utiliza aparato alguno, sino que simplemente consiste en hacer en el suelo una pequeña perforación de dimensiones conocidas, llenarlo de agua y luego medir las variaciones que vaya presentando su nivel. En este caso el proceso de cálculo es más complicado debido a que la infiltración se produce en el fondo y en las paredes del orificio.

Hay otros métodos indirectos para poder evaluar la infiltración, tales como los siguientes:

Análisis de hidrogramas. Cuando se tiene controlada una cuenca, es decir que se conocen perfectamente los datos de precipitación, evapotranspiración y escorrentía, es relativamente fácil deducir, con base en la ecuación del balance hidrológico, el valor de la infiltración. Este método es el ideal, pero es necesario contar con información muy precisa y veraz.

Por observación de las variaciones de la superficie piezométrica. Para poder aplicar este método es necesario contar con varios pozos perfectamente controlados. La infiltración puede ser calculada si se conoce el gasto promedio; en efecto, el gasto anual convertido en altura de agua en mm, es igual a la infiltración anual y se puede hacer uso de la fórmula siguiente:

$$I = Q_m \frac{t}{S} 1\,000 \text{ (Castany, 1963, p. 83)}$$

donde: I = altura del agua infiltrada anualmente, en mm.
Q_m = gasto promedio en m^3/segundo
t = duración del tiempo (365 días = 31536 x 10^3 seg)
S = superficie de la cuenca considerada en m^2.
la fórmula queda así:

$$I = Q_m \text{ x una constante}$$

En el área estudiada no es posible efectuar este cálculo debido a la falta de información.

ESCURRIMIENTO

El término escurrimiento o escorrentía (runoff, écoulement) es generalmente considerado como sinónimo de "aportación" de una corriente de agua, en este sentido representa la suma de la escorrentía superficial más el flujo subterráneo.

La expresión escorrentía superficial se refiere al volumen del conjunto de las precipitaciones que caen sobre de una cuenca en un tiempo dado, menos la retención superficial y menos la infiltración. Si la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración, resulta como consecuencia un exceso de agua que finalmente tiende a escurrir superficialmente, es decir que el agua precipitada tiende a tomar diferentes caminos, una parte se evapotranspira, otra se infiltra y alimenta a las aguas subterráneas y la última parte corre sobre la superficie del terreno, formando los arroyos que posteriormente se unen para formar los ríos. Debe distinguirse claramente la diferencia entre el significado de infiltración y el de flujo subterráneo (Figura 6).

La escorrentía superficial es función de la intensidad y duración de la precipitación, de la permeabilidad de la superficie del suelo, de tipo de vegetación, de la extensión de la cuenca hidrográfica considerada, de la profundidad del nivel freático y de la pendiente de la superficie del suelo.

El escurrimiento superficial de una cuenca se mide con los datos obtenidos en las estaciones de aforo y se representa gráficamente por los hidrogramas. Estas gráficas no son más que una curva que representa las oscilaciones, en función del tiempo, del nivel del agua de un río en una sección dada del mismo. Cuando se trata de ríos que poseen un tiempo de descarga muy largo, los caudales que por él circulan al cabo de un tiempo, son el resultado de la acumulación de la escorrentía superficial más la aportación de las corrientes subterráneas.

El estudio de la escorrentía de los ríos como parte del ciclo hidrológico incluye el de la distribución del agua y el de su trayectoria desde que ésta se precipita sobre la tierra hasta que alcanza la red hidrográfica o vuelve directamente a la atmósfera a través de la evapotranspiración. La proporción correspondiente a cada una de las partes en las que puede distribuirse el volumen total de agua caída durante una precipitación dada, depende de las características y condiciones físicas, naturales o artificales, de la cuenca, así como de las características de la propia precipitación.

Clasificación de las corrientes. Las corrientes se dividen en tres grupos tomando en cuenta el tipo de características de escurrimiento, las cuales dependen de las condiciones físicas y del clima de la cuenca. Estos grupos son: perennes, intermitentes y efímeros.

Las corrientes perennes son aquellas que fluyen durante todo el tiempo y que están alimentados por manantiales.

Las corrientes intermitentes, fluyen durante algún período del año. El escurrimiento se debe a la influencia de la precipitación y al aporte de las aguas subterráneas. Se presentan también en las zonas desérticas, donde tienen lugar después de las tormentas.

Las corrientes efímeras son aquellas que fluyen inmediatamente después que ha tenido lugar una precipitación, no son constantes ni están definidos sus cauces.

Con relación a las aguas subterráneas, las corrientes se pueden clasificar en influentes y efluentes. Los primeros aportan agua a los acuíferos y los segundos las reciben de ellos.

Hidrogramas. El hidrograma es una gráfica en la cual se representa el nivel o el caudal de una corriente con relación al tiempo. Según el fin con que se construye el hidrograma, así será el método de trazado.

Es necesario separar la parte del escurrimiento que se debe directamente a la precipitación y la que corresponde a la aportación de los acuíferos adyacentes al cauce del río o al caudal base.

El hidrograma de la fig. 9 se ha dibujado con los datos obtenidos después de una tormenta aislada.

En el hidrograma se pueden observar las siguientes características:

1. Una rama ascendente que corresponde al momento de la creciente. Esta parte de la curva se llama de concentración y depende de la duración y de la uniformidad de la precipitación en relación al tiempo, de la orografía de la cuenca, de las condiciones iniciales de la humedad y de la cubierta vegetal.
2. El punto máximo de la curva representa el momento del caudal máximo.
3. Rama descendente, señala el escurrimiento en la cuenca después de la precipitación. Esta parte de la curva es función de las características físicas e hidrográficas de la cuenca.
4. Curva de agotamiento, corresponde a un período mayor de tiempo después que cesó la precipitación y vuelve a la posición inicial.

Desde el punto de vista hidrológico la región de El Cardito tiene características muy peculiares. Forma parte de la cuenca hidrográfica de Concepción del Oro y presenta una dirección aparente de sus aguas en dos sentidos, uno hacia el norte a partir del parte aguas principal localizado en las Sierras de

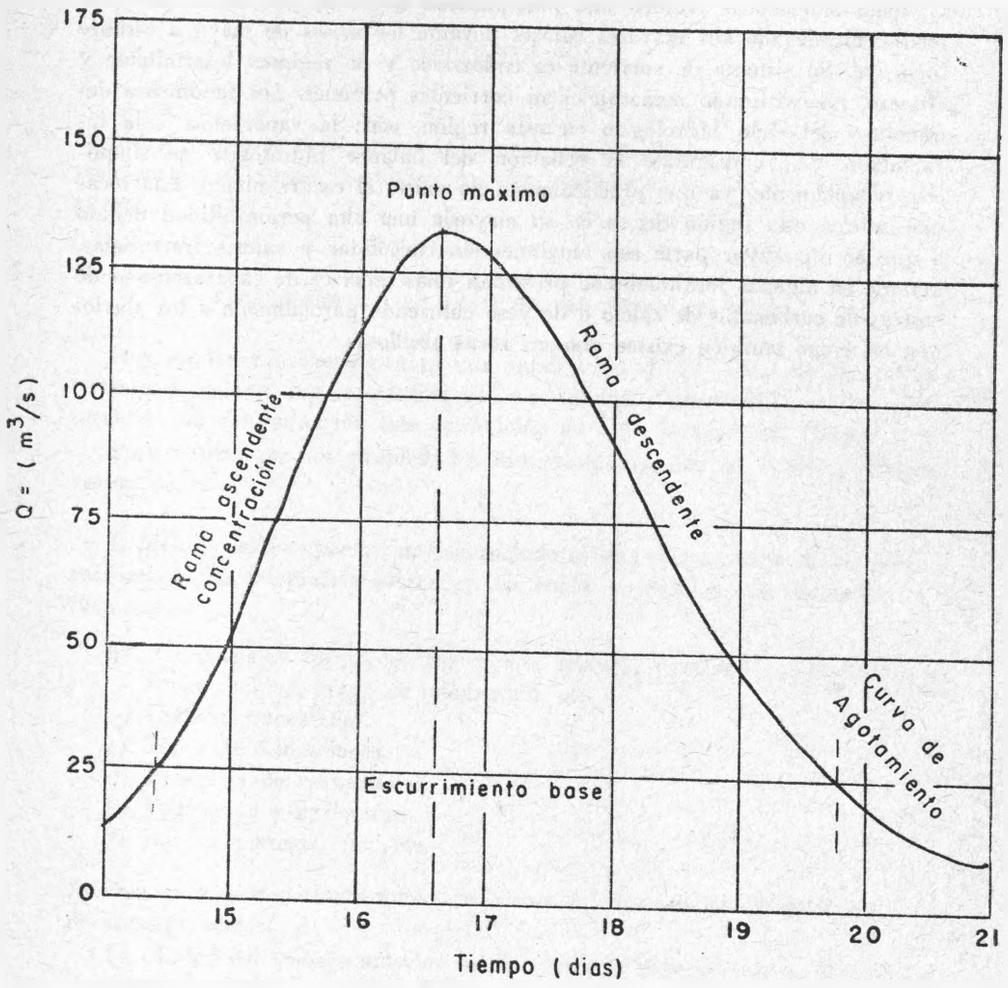

Fig. 9
Modelo de hidrograma

La Candelaria y de La Centella y otra dirección hacia el SO a partir del mismo parte aguas.

Estas subcuencas reciben una precipitación anual de 350 mm como promedio, alcanzando sus mayores valores durante los meses de mayo a octubre inclusive. Su sistema de corriente es endorreico y de régimen intermitente y efímero, no existiendo manantiales ni corrientes perennes. *Los* fenómenos dominantes del ciclo hidrológico en esta región, son: la vaporación y la infiltración, por consiguinte la ecuación del balance hidrológico se simplifica notablemente, ya que prácticamente no existe el escurrimiento. Las rocas que cubren esta región tienen en su mayoría una alta permeabilidad debido a que en su mayor parte son aluviones sin consolidar y calizas fracturadas, aunque en algunas localidades se presentan unas especies de caparazones o de costras de carbonatos de calcio o de yeso cubriendo parcialmente a los aluviones, así como también existen algunas rocas arcillosas.

HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología se define como la ciencia que estudia las aguas subterráneas, relacionando el medio geológico con las características hidrológicas de las aguas.

CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Una unidad hidrogeológica es una subdivisión de las rocas de la corteza terrestre basada en sus características de porosidad y permeabilidad. Por consiguiente, su determinación está en función de estas propiedades físicas.

Para determinar las propiedades hidrogeológicas de las rocas se siguen varios métodos:

1. *Método fotointerpretativo.* Este método es una consecuencia de las observaciones de las fotografías aéreas, en las cuales se estudian las siguientes características:

a) Del drenaje: forma, configuración, textura, densidad, uniformidad u homogeneidad, grado de integración, etc.
b) Cubierta superficial.
c) Tonos de coloraciones.
d) Presencia de manantiales.
e) Vegetación y agricultura.
f) Bordos y presas, etc., etc.

Además es muy importante tomar en cuenta la experiencia tenida en estudios de áreas parecidas.

La calidad del trabajo anterior es directamente proporcional a la cantidad de control terrestre que se le de, pudiendo afirmarse que la validez de un estudio fotointerpretativo depende de dicho control.

2. ***Método de reconocimiento de campo.*** Este método permite observar di-

rectamente todas las unidades que forman el área en estudio, obteniendo gran parte de la información que está relacionada con las características de las diferentes rocas que afloran, así como de sus relaciones entre sí. Todas estas características deben haber sido estudiadas desde el levantamiento geológico propiamente dicho y los reconocimientos complementarios serán para ampliar la información o para aclarar algunas dudas que pudieran tenerse al respecto.

Las principales características que deberán observarse en las rocas son las diaclasas, fallas, cavernas de disolución, etcétera.

Asimismo deberán localizarse los manantiales, norias, pozos, corrientes de agua, etc., que existen en el área, así como los datos complementarios a éstas, tales como aforos, rendimientos, columnas geológicas, dimensiones, etcétera.

3. *Métodos de laboratorio.* Hay algunos problemas específicos que requieren de la ayuda del laboratorio para determinar porosidades, permeabilidad, granulometría, etcétera.

4. *Métodos geofísicos.* En algunos casos especiales deberán usarse métodos indirectos para completar la información, tales métodos son gravimétricos, sismológicos, eléctricos, etcétera.

Estos dos últimos métodos, los de laboratorio y los geofísicos, deben considerarse como complementarios de los dos primeros.

5. *Sensores remotos.* Estos métodos están teniendo un gran desarrollo actualmente.

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS
(Mapas 1 y 2)

Basándose en los criterios de interpretación hidrogeológica enunciados en el párrafo anterior, se determinaron las siguientes unidades hidrogeológicas. Debe hacerse la aclaración de que todas las conclusiones obtenidas al respecto, son consecuencia, fundamentalmente, de observaciones de campo.

Unidad A

Rocas ígneas y metamórficas. Esta unidad incluye a los basaltos que aparecen en forma de pequeños conos en las inmediaciones de San Tiburcio o como derrames al noreste de Rancho Nuevo, las granodioritas del Valle de San Feliciano y las riolitas del Cañón del Potrero, ambas en la Sierra de Santa

Rita. Estas rocas se presentan fracturadas e intemperizadas. Su espesor es pequeño, del orden de los 30 m.

Unidad B

Está constituida por una secuencia de rocas que integran las Formaciones Taray y Nazas (Mapas 1 y 2) y están formadas de abajo hacia arriba, por grauvaca con interestratificaciones de filita, luego capas delgadas de lutita, riolita, toba, arenisca y conglomerado, las cuales afloran en pequeñas áreas en la Sierra de La Candelaria y en la del Toro. Tiene un espesor aproximado de 700 m, pero es muy irregular.

Unidad C

Está formada por la Caliza Zuloaga que litológicamente es una secuencia de caliza microcristalina, en capas de 50 cm a 5 m de espesor, tiene muchas pequeñas fracturas rellenas de calcita, estilolitos y lapiez. Aflora esta caliza en la cima de los cerros más elevados, especialmente en la Sierra de La Candelaria. Tiene un espesor de 600 m aproximadamente.

Unidad D

Litológicamente está formada por las rocas de las Formaciones La Caja y Taraises que en esta área están constituidas por una alternancia, en la primera, de limolita y limolita calcárea, de 10 a 30 cm de espesor, intercaladas con caliza cristalina y colítica en capas de 20 a 40 cm de espesor; hacia arriba aparece la caliza arcillosa de la segunda formación en capas de 10 a 30 cm, con intercalaciones de capitas de limolita de 2 a 5 cm de espesor. Aflora principalmente en las Sierras de La Candelaria, El Barroso, La Centella, de El Junco y Santa Rita. Tiene un espesor variable entre 70 y 90 m.

Unidad E

Está constituida por la Formación Cupido y es una de las unidades más importantes hidrogeológicamente, teniéndose amplia experiencia sobre de ella en otras áreas, especialmente en las de Monterrey y Saltillo, al noreste y al norte de la presente área respectivamente, sin embargo en esta región no ha sido probada todavía.

Litológicamente está formada por caliza criptocristalina con nódulos y lentes de pedernal, en capas de hasta 6 m de espesor. En el área presenta muy

buenos y extensos afloramientos, especialmente en las Sierras de La Gruñidora, La Candelaria, La Sierrita, de El Junco, de La Centella, de Santa Rita y en las elevaciones que se encuentran en la parte sureste del área estudiada. Tiene un espesor de 500 m.

Unidad F

Las Formaciones La Peña y Cuesta del Cura son las que constituyen esta unidad hidrogeológica. Litológicamente están formadas, de abajo hacia arriba, por caliza en capas de 0.40 a 1 m, interestratificadas con arcilla y limolita calcáreas, hacia arriba aumenta el espesor de la caliza y se presentan alternando con caliza arcillosa y lutita, las cuales contienen abundantes lentes o nódulos de pedernal. Presenta la caliza de la parte superior, estratificación ondulante. Estas rocas afloran en prácticamente todas las sierras de la región. Su espesor total es de aproximadamente 450 m.

Unidad G

Esta unidad comprende a las Formaciones Indidura y Caracol, las cuales litológicamente están formadas, de abajo hacia arriba, por caliza lajosa de 20 a 40 cm de espesor, alternando con caliza de 5 a 15 cm, arcillosas; siguen limolitas en capas muy delgadas de 3 cm de espesor, luego aparecen las areniscas de grano fino y lutitas interestratificadas. La erosión diferencial es muy notable en estas rocas, sobresaliendo las capas de areniscas. Esta unidad se presenta en afloramientos muy escasos y aislados, encontrándose generalmente al pie de las sierras y cubiertos por sedimentos recientes. En estas condiciones aflora en pequeñas lomas situadas al occidente y al sur de la población de La Gruñidora, al norte de Rancho Nuevo y de Tanquecillos y en el flanco nororiental de la Sierra de Santa Rita, así como también en las Sierras de La Centella y de Potrerillos. Su espesor es muy variable y en esta área no fue posible determinarlo, sin embargo, y por correlación en áreas vecinas (García Calderón, 1968) se puede suponer un espesor del orden de los 600 m.

Unidad H

Esta unidad está formada por la Formación Ahuichila, constituida por una secuencia de arenisca bien cementada de grano medio, en capas de 5 a 15 cm de espesor; hacia arriba se presenta un conglomerado de cantos calcáreos de 2 a 5 cm de diámetro. Aflora formando los Cerritos de Jesús a la altura del Km 200 de la Carretera Zacatecas-Concepción del Oro, en unas pequeñas

elevaciones al noreste de Rancho Nuevo y en la parte norte de la Sierra La Gruñidora. Tiene un espesor en los Cerritos de Jesús de 40 m.

Unidad I

Está formada por la Grava Peribañes que consiste en grava sin clasificar, de subredondeadas a subangulosas, el tamaño de los fragmentos varía entre 15 y 20 cm principalmente, a veces se presenta pobremente cementada por material arcilloso a caliche, los fragmentos son principalmente calcáreos. Aflora en varias localidades, principalmente en los flancos poniente y oriente de la Sierra del Toro, en unas pequeñas lomas situadas entre la Sierrita de Tanquecillos y la Sierra de Santa Rita. El espesor promedio de esta unidad es de 80 m, pero en general es muy variable.

Unidad J

Esta unidad está formada por los aluviones que afloran ampliamente en toda el área. De acuerdo con su composición litológica se agrupan en tres tipos: primero, depósitos de pie de monte, que forman los abanicos aluviales y que están constituidos principalmente por grava y en menor cantidad por arena, limo y arcilla. El segundo tipo de aluvión está formado por arena, limo y arcilla con cementante calcáreo, formándose en éste, grandes capas de caliche. El tercer tipo está formado por clásticos semejantes al anterior pero con alto contenido de yeso. El último de los tipos de aluvión se presenta especialmente en el borde oriental del área.

El espesor de este aluvión es muy variable, a inmediaciones de La Gruñidora tiene un espesor de 1 m y en otros lugares se han medido 100 m.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LAS UNIDADES DEFINIDAS

Como se ha descrito anteriormente, la mayor parte de las rocas que se presentan en la región, están constituidas por aluviones, aproximadamente el 60% del área, calizas en una amplia variedad y lutitas, así como en grado mínimo rocas ígneas y metamórficas. Las características físicas de estas rocas han sido determinadas megascópicamente. De acuerdo con estas apreciaciones generales se ha establecido la siguiente escala arbitraria de permeabilidad e infiltración.

Escala de permeabilidades	permeable semi-permeable impermeable
Escala de infiltración	alta deficiente o reducida nula

Se hace constar que las características de las rocas y de los suelos como son la permeabilidad y la infiltración, deberán ser determinadas con el auxilio de un laboratorio equipado convenientemente, pero en este caso, el autor tuvo necesidad de adoptar criterios generales, debido a no haber podido contar con el equipo indispensable.

De acuerdo con la capacidad de una roca para contener y transmitir agua, se hace la siguiente clasificación:

Acuífero: capa o cuerpo de roca suficientemente permeable que es capaz de contener y de transmitir agua. Algunos autores agregan, "en cantidad que pueda usarse para alimentar un manantial o un pozo" (Heath, R. 1968).

Acuicludo: cuerpos rocosos de muy baja permeabilidad que no son capaces de transmitir agua, pero que pueden almacenarla. Muchas rocas son claramente acuíferos o acuicludos, sin embargo existe un grupo intermedio que no es claramente ni uno ni otro. Este grupo ha sido denominado acuitardo, pero por razones prácticas este término es poco usado.

Acuífugo: una roca que ni almacena ni transmite agua.

Los términos acuífero y acuicludo son relativos, rocas que podrán considerarse acuíferos en un área, pueden llamarse acuicludos en otra.

Con base en los conceptos anteriores, se determinan las características hidrogeológicas de las unidades definidas:

Unidad A. (Rocas ígneas y metamórficas)
Semi-impermeable
Reducida capacidad de infiltración
Acuicludos

Unidad B. (Interestratificaciones de filita, con grauvaca, lutita, riolita, toba, arenisca, conglomerado)
Impermeable
Nula capacidad de infiltración
Acuicludos

Unidad C. (Caliza microcristalina, fracturada)
Permeable
Alta capacidad de infiltración
Acuíferos libres y confinados

Unidad D. (Caliza alternando con limolita y caliza arcillosa)
Impermeable
Reducida o nula capacidad de infiltración
Acuicludos

Unidad E. (Caliza cripto cristalina, con nódulos de pedernal, fracturada)
Permeable
Alta capacidad de infiltración
Acuíferos libres y confinados

Unidad F. (Caliza con capitas de limolita y caliza arcillosa)
Semi-impermeable
Reducida capacidad de infiltración
Acuicludos

Unidad G. (Caliza lajosa, limolita y arenisca)
Impermeable
Reducida o nula capacidad de infiltración
Acuicludos

Unidad H. (Arenisca y conglomerado)
Impermeable
Reducida o nula capacidad de infiltración
Acuicludos o acuifugos

Unidad I. (Grava)
Permeable
Alta capacidad de infiltración
Acuíferos libres

Unidad J. (Grava, arena y arcilla en lentes)
Permeable
Alta capacidad de infiltración
Acuíferos libres

FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LAS UNIDADES DEFINIDAS (Mapa 2)

El área estudiada se divide en dos zonas hidrológicas e hidrogeológicas principales: la primera se encuentra en la porción norte a partir del parte aguas que se localiza en la Sierra de La Gruñidora, de La Candelaria y de

La Centella y la segunda comprende la parte sur de toda el área a partir del mismo parte aguas (Mapa 2). En este caso particular parece ser que coinciden ambas zonas, tanto la hidrológica como la hidrogeológica.

El sistema de flujo de las aguas subterráneas de poca profundidad en estas zonas, se compara con el sistema ideal descrito por Hubbert (1940), en el cual las componentes principales del sistema están constituidos por la siguiente secuencia: zona de recarga situada en los flancos de las elevaciones topográficas, zona de flujo lateral y una zona de descarga que puede coincidir con la costa o el mar, o como en este caso, con las depresiones de los valles. Los límites del sistema son el parte aguas natural del área, el nivel freático, la superficie superior y la zona de rocas impermeables o cualquier otro límite que impida el flujo en las partes bajas de todo el sistema. (Fig. 10).

Unidad A

Los afloramientos constituidos por rocas ígneas y metamórficas son de poca magnitud en el área y en general están muy aislados unos de otros por lo que no se puede considerar continuidad en todos ellos, sin embargo por las características propias de este tipo de rocas se pueden clasificar como semi-impermeables y de reducida capacidad de infiltración. En el área no tienen importancia hidrogeológica.

Unidad B

Los afloramientos representativos de esta unidad están agrupados en la parte noroccidental y son de poca extensión en el área. Por sus características litológicas no tiene importancia hidrogeológica, pero sí permite que el agua escurra sobre de ellos y ésta alcance a los aluviones.

Unidad C

Esta unidad formada por potentes capas de caliza fracturada, en algunas partes, constituye una unidad hidrogeológica importante. Presenta amplios afloramientos en la cima de las elevaciones topográficas, especialmente en las Sierras de La Centella y de Santa Rita, constituyendo una roca muy importante desde el punto de vista de la recarga de las aguas. El movimiento de éstas es en su mayoría, hacia el sur y el oeste, exceptuando una pequeña parte que drena hacia el norte. Esta unidad es capaz de constituir muy buenos acuíferos, tanto libres como confinados.

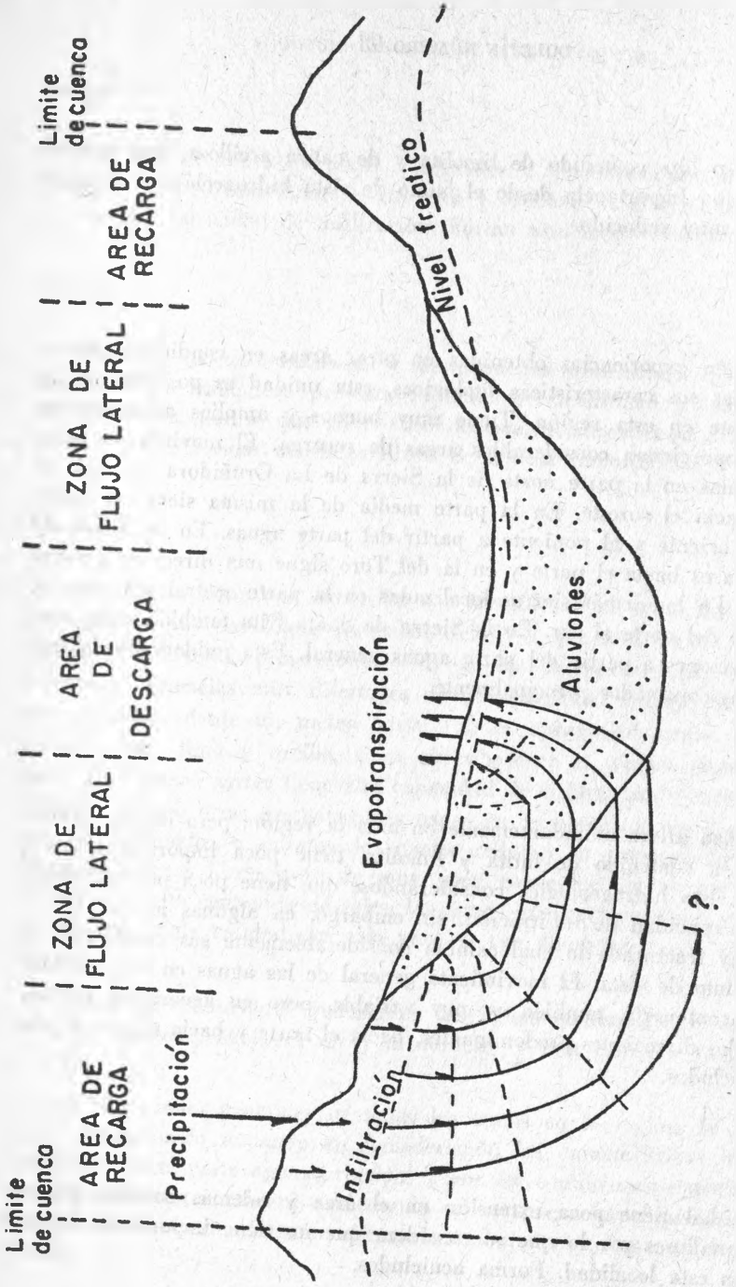

Fig. 10
SISTEMA IDEALIZADO DE FLUJO DE LAS AGUAS
(Hubbert, 1940)

Unidad D

Debido a su alto contenido de limolita y de caliza arcillosa, esta unidad no tiene ninguna importancia desde el punto de vista hidrogeológico. Además su espesor es muy reducido.

Unidad E

Con base en experiencias obtenidas en otras áreas en condiciones semejantes, y dadas sus características litológicas, esta unidad es posiblemente la más importante en esta región. Tiene muy buenos y amplios afloramientos los cuales proporcionan considerables áreas de recarga. El movimiento general de las aguas en la parte norte de la Sierra de La Gruñidora es hacia el noroeste y hacia el sureste. En la parte media de la misma sierra el movimiento es al oriente y al poniente a partir del parte aguas. En la Sierra de La Candelaria es hacia el norte y en la del Toro sigue una dirección general hacia el sur. En las demás sierras localizadas en la parte central del área, el drenaje varía del norte al sur. En la Sierra de Santa Rita también sigue esas mismas direcciones a partir del parte aguas general. Esta unidad, puede formar acuíferos confinados principalmente.

Unidad F

Esta unidad aflora abundantemente en toda la región, pero debido principalmente a su contenido de lutita y limolita, tiene poca importancia desde el punto de vista hidrogeológico considerándose que tiene poca permeabilidad y reducida capacidad de infiltración, sin embargo, en algunas localidades se presenta muy fracturada lo cual cambia considerablemente sus características desde ese punto de vista. El movimiento general de las aguas en esta unidad, en caso de contenerla, también es muy variable, pero en general se pueden considerar dos direcciones predominantes, hacia el norte y hacia el sur. Puede formar acuicludos.

Unidad G

Esta unidad tiene poca extensión en el área y además contiene varios miembros arcillosos por lo que se considera que no tiene importancia hidrogeológica en esta localidad. Forma acuicludos.

Unidad H

Esta unidad aflora en pocas localidades y en extensiones muy pequeñas. Debido a que su cementante es calcáreo y arcilloso se le considera una reducida o nula capacidad de infiltración. Forma acuicludos o acuifugos.

Unidad I

Aflora en pocas localidades y de pequeñas dimensiones. Debido a sus características litológicas presenta bastante permeabilidad y alta capacidad de infiltración, por lo que en el caso de estar sobreyaciendo a rocas impermeables podrá formar acuíferos libres de alguna importancia.

Unidad J

Esta unidad tiene una extensión considerable en el área. Su composición litológica es muy variable e irregular, debido a que está formada por clásticos de muy diversas dimensiones y a que los cuerpos o capas que forman, presentan secuencias muy diferentes de una localidad a otra. Su espesor es muy variable, desde un metro hasta 100 m aproximadamente, conteniendo grava, arena, limo y arcilla, pero sin obedecer a ningún orden determinado. En algunas partes tiene alta capacidad de infiltración y mucha permeabilidad, pero en otras presenta unas capas en la superficie, en forma de costras de carbonatos y sulfatos, las cuales reducen su permeabilidad. Pueden formar acuíferos libres pero de muy poca capacidad de almacenamiento y debido a su alto contenido de sales, las aguas que contienen son en su mayoría de muy mala calidad, no sólo para el uso doméstico sino también para los cultivos.

El movimiento general que siguen las aguas contenidas en esta unidad, es en su mayoría, hacia el sur y al suroeste y una pequeña parte es hacia el norte.

Las direcciones generales de todas las aguas en la región de El Cardito se ha determinado tomando en consideración las características hidrológicas señaladas por el parte aguas principal y por las condiciones estructurales, sin embargo, el autor considera que cuando se trata de resolver problemas locales en el área estudiada, deberán efectuarse trabajos complementarios de mayor detalle.

RELACIONES ENTRE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS Y LAS HIDROGEOLÓGICAS

De acuerdo con lo señalado en el Código de Nomenclatura Estratigráfica (1970), "una unidad litoestratigráfica es una subdivisión de las rocas de la corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base sus características litológicas y son reconocidas y definidas por rasgos físicos observables, más bien que por la historia geológica inferida". Una unidad hidrogeológica se define como una subdivisión de las rocas de la corteza terrestre que se distingue y delimita tomando como base su permeabilidad, la cual está estrechamente relacionada con la porosidad de la roca, que es una función directa de la forma, tamaño y arreglo de los fragmentos, así como del cementante en el caso de las rocas clásticas y del estado de disolución y de fracturamiento en el caso de otro tipo de rocas.

Al comparar las definiciones de las unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas dadas por el Código Estratigráfico y por el autor, respectivamente, y que se basan en características diferentes de las rocas, parece ser que no existe ninguna relación entre ambas. Al dar la definición de unidad litoestratigráfica se están considerando fundamentalmente las características de las partes sólidas de las rocas, en cambio en las unidades hidrogeológicas se basa la definición en el concepto de permeabilidad.

Comúnmente una unidad litoestratigráfica puede contener varias unidades hidrogeológicas o por el contrario, varias unidades litoestratigráficas pueden constituir una sola unidad hidrogeológica, sin embargo, en algunas ocasiones unas coinciden exactamente con las otras. Puede suceder también, que una u otra pierdan, por procesos geológicos posteriores, sus características iniciales.

El código de nomenclatura estratigráfica no considera entre las unidades estratigráficas a las unidades hidrogeológicas, pero el autor considera que es posible aprovechar algunas de las normas establecidas por el Código para clasificarlas y denominarlas.

COMPARACIÓN ENTRE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS Y LAS HIDROGEOLÓGICAS

1. Ambas son unidades prácticas de trabajo geológico; las primeras sirven de fundamento para describir y estudiar la litología, la estructura regional y local, la estratigrafía, los recursos económicos y la historia geológica; las segundas sirven para diferenciar e identificar un cuerpo rocoso de otro, de acuerdo, fundamentalmente, con la propiedad física llamada permeabilidad.

COMPARACIÓN ENTRE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS Y LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

FIGURA 11

Edad geológica	Unidades litoestratigráficas	Litología	Espesor (m)	Sección geológica	Unidades Hidrogeológicas
Cuaternaria	Aluvión	Grava, arena, limo a veces con yeso	100		I: Acuífero
	Grava Peribañez	Grava sin clasificar	80		I: Acuífero
Terciaria	Tg, Tb, Tm	Basalto, granodiorita, riolita, tactita, corneana	30		A: Acuicludo
	Formación Ahuichila	Conglomerado arenisca	40		Acuicludo o H: Acuífugo
Cretácica tardía	F. Caracol F. Indidura	Arenisca, limolita Caliza lajosa	600		G: Acuicludo
Cretácica temprana	F. Cuesta del Cura F. La Peña	Limolita, arcilla caliza	450		F: Acuicludo
	Caliza Cupido	Caliza	500		E: Acuífero
	F. Taraises	Caliza arcillosa	90		D: Acuicludo
Jurásica tardía	F. La Caja Caliza Zuloaga	Caliza y limolita Caliza	600		C: Acuífero
Triásica	F. Nazas	Limolita, conglomerado, lava grauvaca, filita	700		B: Acuicludo
Paleozoica (?)	F. Taray				

2. La definición de una unidad litoestratigráfica así como la de una hidrogeológica debe basarse en el conocimiento más amplio posible de sus variaciones laterales y verticales. En el caso de una unidad litoestratigráfica deberá designarse una sección tipo, no siendo necesario en el caso de una hidrogeológica.

3. Los conceptos basados en la historia geológica inferida o en la secuencia biológica no juegan un papel importante en la definición o diferenciación de ambas unidades.

4. En el caso de las unidades litoestratigráficas la extensión de una unidad definida a cuerpos de rocas separados sólo es permisible cuando sean homotaxiales; en el caso de las unidades hidrogeológicas la extensión de una unidad definida a cuerpos de rocas separadas es posible cuando ambas tengan propiedades semejantes de porosidad y permeabilidad.

5. Al establecer una formación como la unidad fundamental en la clasificación litoestratigráfica es esencial la viabilidad de poderse cartografiar en la superficie y en el subsuelo. La misma condición se establece al determinar una unidad hidrogeológica.

6. Los cambios de facie son fundamentales, tanto en las unidades litoestratigráficas como en las hidrogeológicas, es decir, cuando una unidad cambia lateralmente por transición a un tipo de roca marcadamente diferente o se interdigita con esta, puede convenir el proponer una nueva unidad en el caso de las primeras; en el caso de las unidades hidrogeológicas puede convenir si se han alterado las condiciones de permeabilidad.

7. La definición de ambas unidades es independiente del concepto tiempo. La comparación entre ambas unidades se expresa en la figura 11.

FORMA DE PRESENTARSE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Se denominan aguas subterráneas a las que se encuentran bajo presión hidrostática saturando los espacios en las rocas consolidadas y los depósitos no consolidados en la corteza terrestre. En los depósitos no consolidados los espacios o poros se presentan entre las diversas partículas, en las rocas consolidadas los espacios más comunes son las diaclasas y los espacios intergranulares como en el caso de las areniscas o de cavernas de disolución como en algunas calizas. Los espacios en las rocas consolidades por lo general no son continuos o aproximadamente uniformes como sucede con las graves y las arenas sin consolidar.

Como se mencionó en párrafos anteriores, el agua que llega a la superficie terrestre en forma de precipitación, puede tomar los siguientes caminos: *a*) se evapora directamente en la atmósfera, *b*) escurre sobre la superficie formando

corrientes de agua, las cuales desembocan en los grandes depósitos como lagos, mares, etc. *c*) es usada por las plantas en su proceso de crecimiento, *d*) se infiltra en la tierra donde parte de ella es retenida dando humedad al suelo y el resto penetra más profundamente hasta la zona de saturación.

El agua se presenta en los acuíferos bajo dos condiciones diferentes: 1) Bajo condiciones de nivel freático, es decir en forma no confinada y 2) Condiciones artesianas o confinadas. Se dice que un acuífero es confinado cuando se encuentra entre dos cuerpos impermeables, en caso contrario se llama acuífero libre. Cuando en la superficie del terreno se presenta una capa impermeable, por ejemplo arcillosa, actúa como una barrera que impide la infiltración del agua, dando lugar a la formación de un depósito superficial de agua si la forma topográfica es adecuada (Figura 12).

Cuando un acuífero tiene un afloramiento submarino abierto hacia el mar, su parte más baja puede estar llena de agua salada y la parte superior puede contener agua dulce; la cual flota sobre la primera debido a que tiene una gravedad específica menor. La presión del agua dulce y la cantidad de su flujo determinan la magnitud del desplazamiento del agua salada hacia abajo y hacia el mar. El espesor de una lente de agua dulce es proporcional a la razón de las densidades relativas de los dos tipos de agua, por lo tanto, en un cuerpo saturado de agua dulce la presión provocada, cuando el nivel freático se encuentra a una altura de un pie sobre el nivel del mar, desplazará la interfase aproximadamente 40 pies bajo el nivel del mar, asumiendo que la gravedad específica del agua del mar es de 1.025. Cuando la presión hidrostática se abate debido a una explotación irracional de los pozos, la interfase tiende a subir.

Debajo de una planicie costera el agua salada contenida en un acuífero, tenderá a moverse en dirección de tierra adentro y podrá invadir los pozos que se encuentren en sus inmediaciones, si la columna hidrostática del agua dulce se reduce lo suficiente para permitir que la interfase suba hasta el fondo de los pozos. Un muestreo periódico de los pozos y sus consiguientes análisis químicos, permite conocer oportunamente la invasión del agua salada.

Herzberg (Tolman, 1937, p. 246) encontró en pozos perforados en unas islas próximas a las costas alemanas, que la profundidad del agua salada es una función de la altura del nivel freático a partir del nivel del mar, y de la densidad del agua salada, obteniendo finalmente la siguiente ecuación:

$$h = t/g—l$$ donde:

g = gravedad específica del agua salada.
l = gravedad específica del agua dulce.
t = altura del nivel freático arriba del nivel del mar.
h = profundidad del agua dulce bajo el nivel del mar.

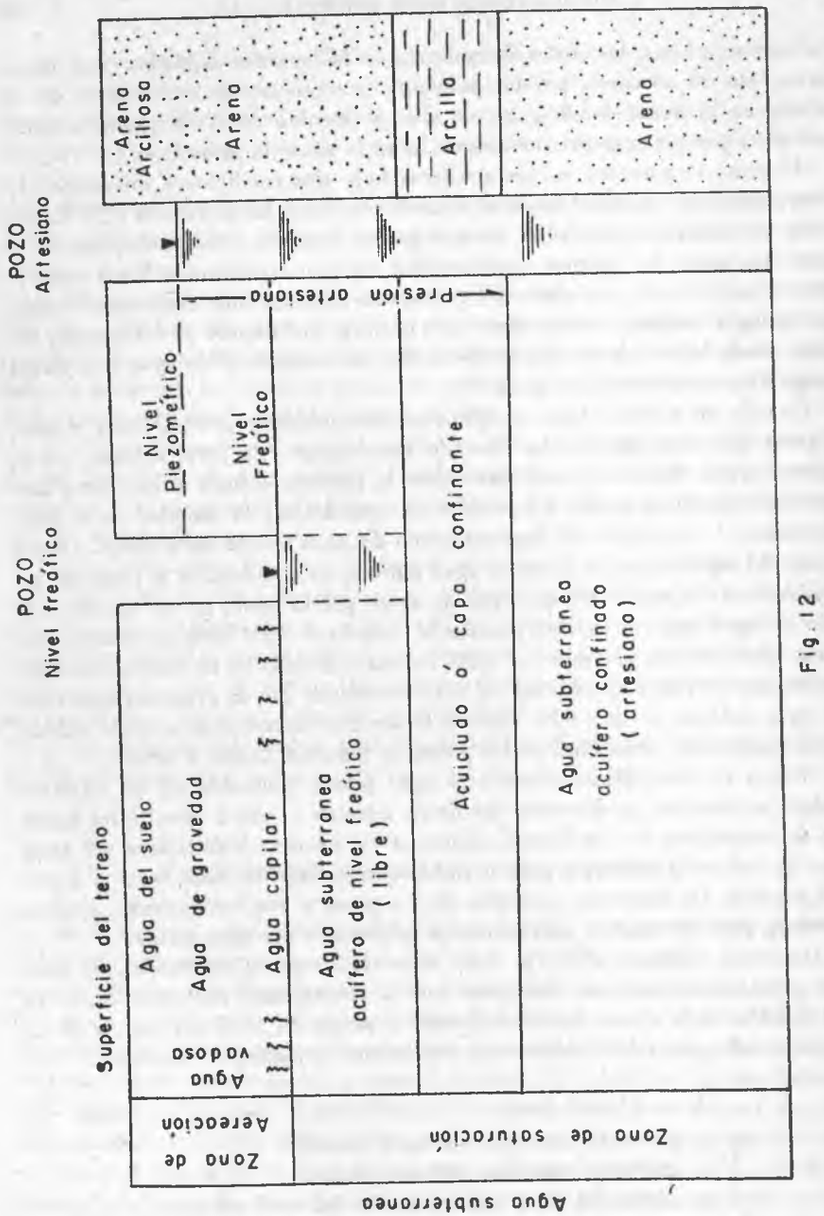

Fig. 12 TERMINOLOGIA DE AGUAS SUBTERRANEAS Y DE ACUIFEROS

CUANTIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La última meta que se persigue con la cuantificación hidrogeológica es poder determinar las adiciones de agua a los depósitos de aguas subterráneas en la zona que se está estudiando, así como de las pérdidas o descargas que están sufriendo los acuíferos. La comparación de una con el otro es lo que se llama inventario de las aguas subterráneas.

Este inventario o balance hidrogeológico deberá controlarse durante el mayor número de años y en forma continua para poder obtener resultados satisfactorios y confiables, ya que la precipitación, la evapotranspiración, etc., varían constantemente de uno a otro año, pero en el tiempo, se comportan en forma cíclica, por consiguiente es necesario tener una completa y amplia estadística de estos valores. Es recomendable llevar este control por periodos pequeños de tiempo, por ejemplo días, y meses para poder lograr promedios verdaderamente representativos.

Si el balance hidrogeológico puede ser efectuado en un momento tal, que los niveles hayan retornado a la posición que tenían cuando se inició su control, es decir cuando los incrementos y los decrementos sean iguales, sin cambiar la capacidad de almacenamiento, querrá decir que todos los factores que afectan el proceso han sido perfectamente cuantificados y controlados.

La relación de los factores que deben ser medidos y usados para el inventario hidrogeológico, es la siguiente:

Incremento de las aguas subterráneas:

1. Lluvias, las cuales elevan el nivel freático.
2. Influencia natural de la infiltración desde las corrientes superficiales, lagos, pantanos, etcétera.
3. Infiltración causada por la irrigación, presas, etcétera.
4. Aportación de las aguas confinadas o de otros acuíferos, etcétera.

Decremento de las aguas subterráneas:

1. Infiltración hacia las corrientes superficiales, evapotranspiración, etcétera, o por drenaje artificial.
2. Infiltración o descarga de corrientes confinadas a lo largo de fallas o por aguas de alta temperatura.
3. Drenaje artificial por bombeo.
4. Descarga subterránea de aguas libres o confinadas desde abajo del área, etcétera.

AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la región de El Cardito se han perforado aproximadamente 30 pozos o norias, a profundidades comprendidas entre 6 y 110 m y con diámetros muy variables. El objeto de estas perforaciones ha sido principalmente, obtener agua para usos domésticos y para abrevaderos; en algunos pocos casos también se ha tratado de obtener agua para usos agrícolas, pero los resultados conseguidos no han sido satisfactorios, debido principalmente a la limitada cantidad de agua conseguida.

Todas estas obras han sido localizadas en los aluviones, donde generalmente se encuentra agua a poca profundidad, pero en cantidades muy pequeñas y en la mayoría de las veces, de mala calidad.

En la localidad denominada La Gruñidora brotan tres manantiales aparentemente de la Formación Caracol, la que en esta área se presenta muy fracturada; sin embargo es más factible que esta agua provenga de los aluviones, los cuales tienen una gran amplitud lateral aunque son de poco espesor. El caudal de cada uno de estos manantiales es muy pequeño.

Los pozos y norias fueron perforados sin ningún control durante su ejecución, además de que posteriormente no se aforaron como es indispensable. Esto hace prácticamente imposible llevar a cabo una evaluación de su capacidad. Los únicos pozos que se han perforado apegándose más a la técnica han sido los de El Crucero, La Pardita, El Berrendo, La Grulla y La Presita, sin embargo no se tienen los datos relacionados con sus aforos. En las Tablas 3 y 5 se presenta una relación de los pozos, norias y manantiales, así como de las características químicas de las aguas de cada uno de ellos. De los análisis químicos de las aguas se deduce que la mayoría de ellas son de muy mala calidad, sin embargo, aceptando como potables las que tienen hasta 1 gr/litro de residuo total, las de Jazminal 3, Candelaria, El Cardito, La Presita, Tanquecillos 1, Tanquecillos 2, San Francisco, El Berrendo, Rancho Nuevo, San José Carbonerías 2, La Pardita y La Cigüeña, son aguas que se pueden considerar como potables (Tabla 4).

TABLA 4

RELACIÓN DE LOS POZOS, NORIAS Y MANANTIALES
EL CARDITO, ZACATECAS

Número	*Nombre*		*Coordenadas* *Latitud*	*Longitud*	*Prof. total (m)*	*Prof. espejo de agua (m)*
1	La Gruñidora	(m)	24°13'	101°55'30"	—	—
2	El Tajo	(m)	"	"	—	—
3	San Juan	(p)	"	"	6.00	4.00
4	El Tendedero	(m)	"	"	—	—
5	La Grulla	(p)	24°10'30"	101°56'	32.00	16.00
6	La Grulla	(n)	"	"	10.00	2.00
7	Norio El Junco	(p)	24°08'	101°52'30"	70.00	23.00
8	Noria El Junco	(n)	"	"	23.00	21.00
9	Jazminal 1	(n)	24°05'	101°53'	30.50	27.00
10	Jazminal 2	(n)	"	"	15.85	8.40
11	Jazminal 3	(n)	"	"	16.00	8.00
12	San Ignacio	(n)	24°00'30"	101°56'	30.80	21.60
13	Candelaria	(n)	24°28'30"	101°51'30"	25.35	12.00
14	La Zorra	(n)	24°26'30"	101°49'30"	28.00	24.00
15	El Cardito	(n)	24°22'	101°50'	80.00	15.00
16	San José	(n)	24°16'	101°50'	15.00	5.00
17	Calabazal	(n)	24°12'	101°50'	—	—
18	El Rosario	(n)	24°23'30"	101°40'	35.00	10.00
19	El Rosario	(p)	"	"	99.00	10.00
20	La Presita	(p)	24°21'	101°43'	50.00	25.00
21	Presa del Junco	(p)	24°18'	101°38'	90.00	23.00

Continúa TABLA 4

Número	*N o m b r e*		*Coordenadas* *Latitud*	*Longitud*	*Prof. total* (*m*)	*Prof. espejo de agua* (*m*)
22	Tanquecillos 1	(n)	24°21'30"	101°31'30"	17.50	13.30
23	Tanquecillos 2	(p)	"	"	15.50	13.40
24	El Berrendo	(p)	24°13'	101°35'	81.00	36.00
25	San Francisco	(n)	24°09'	101°34'	15.65	10.00
26	Rancho Nuevo	(n)	24°00'	101°37'	28.00	18.00
27	San José Carbonerías 1	(n)	24°27'	101°28'30"	18.50	17.00
28	San José Carbonerías 2	(n)	"	"	20.00	15.00
29	La Pardita	(p)	24°18'	101°26'	60.00	10.00
30	San Tiburcio	(n)	24°09'	101°29'	6.00	3.00
31	San Tiburcio	(p)	"	"	45.00	35.00
32	La Cigüeña	(n)	24°24'	101°21'30"	18.00	17.00
33	El Crucero	(p)	24°18'	101°25'	110.00	50.00

p: pozo; n: noria; m: manantial.

TABLA 5

POTABILIDAD DE LAS AGUAS

	Buena	*Regular*	*Mediana*	*Mala*	*Pésima*
Coloración	Incolora	Incolora			
Limpidez	Límpida	Límpida			
Olor	Inodora	Inodora			
Sabor a 20°C	Agradable	Perceptible	Pronunciado	Desagradable	Muy desagradable
SO4	0 — 150	150 — 250	250 — 575	575 — 1150	1150....
Cl	0 — 175	175 — 350	350 — 700	700 — 1400	1400....
Res. seco	0 — 500	500 — 1000	1000 — 2000	2000 — 4000	4000....
Na	0 — 100	100 — 200	200 — 400	400 — 800	800....
Ca	0 — 100	100 — 200	200 — 400	400 — 800	800....
Mg	0 — 60	60 — 120	120 — 240	240 — 480	480....
Dureza dh en °F	0 — 25	25 — 50	50 — 100	100 — 200	200....
pH					

de 6.0 a 8.0 para aguas naturales no tratadas.
Alcalinidad total expresada en $CaCO^3$ hasta 400 mg/l.
Schoeller, H., 1955

TABLA 6

ANALISIS QUIMICO DE LAS AGUAS

Pozos o Norias

Elementos	*(mg/l)*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Sílice	(SiO_2)	22.00	17.50	16.40	23.20	75.50	84.50	54.50	69.00	53.50	57.00
Carbónico	(CO_3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbónico	(HCO_3)	290.00	282.10	254.66	284.74	243.90	214.20	256.76	303.80	347.10	355.20
Sulfúrico	(SO_4)	1 515.00	1 618.81	2 076.00	1 378.00	1 468.10	2 054.49	1 975.68	2 018.01	46.03	342.36
Cloro	(Cl)	167.00	169.69	190.00	165.00	176.61	245.87	465.56	48.48	6.92	10.39
Nítrico	(NO_3)	0.00	2.75	0.60	0.00	88.95	114.68	453.08	2.02	2.75	4.25
Hierro	(Fe)	0.30	0.00	0.60	0.25	huellas	0.017	huellas	huellas	0.005	0.00
Aluminio	(Al)	3.30	0.70	5.40	3.35	1.20	2.98	1.00	0.75	1.50	0.50
Calcio	(Ca)	342.54	404.01	408.19	278.00	297.48	414.06	420.50	343.71	75.37	74.37
Magnesio	(Mg)	52.00	70.75	82.59	54.84	61.12	90.45	74.02	73.80	24.87	34.92
Sodio	(Na)	427.00	381.02	562.62	451.04	467.00	600.00	868.00	560.75	22.75	150.00
Potasio	(K)	25.00	23.24	41.92	21.31	31.95	24.03	38.18	30.29	3.32	7.88
Dureza $CaCO_3$	$Ca\ CO_3$	1 038.35	1 257.65	1 309.54	886.94	957.62	1 352.73	1 310.32	1 116.88	275.47	308.15
Residuo total		2 823.00	2 836.00	3 667.00	2 075.00	2 801.00	3 788.00	4 565.00	3 315.00	415.00	860.00
pH		7.8	7.8	8.1	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8

Continúa TABLA 6

Elementos *(mg/l)*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
Sílice	20.00	86.60	21.00	32.00	69.50	—	17.50	74.50	70.00	25.00
Carbónico	0.00	13.15	0.00	0.00	0.00	—	0.00	0.00	0.00	284.00
Bicarbónico	314.32	212.00	271.13	177.28	328.74	—	213.00	466.80	469.50	0.00
Sulfúrico	11.91	1 742.37	28.77	4 771.10	14.38	—	1 626.06	1 079.77	1 129.02	202.88
Cloro	3.46	428.00	20.78	967.56	17.32	—	165.00	27.70	20.78	11.00
Nítrico	3.37	262.88	3.38	209.60	46.61	—	105.40	79.67	16.53	97.96
Hierro	0.03	0.40	0.01	0.05	0.2	—	0.30	0.03	0.00	0.15
Aluminio	4.47	8.00	1.67	1.46	0.98	—	2.00	1.22	0.75	7.00
Calcio	62.31	313.53	79.39	572.85	104.52	—	383.20	325.62	496.47	117.74
Magnesio	12.48	60.27	9.09	181.33	8.76	—	84.52	23.21	23.40	10.92
Sodio	21.70	804.00	19.05	2 040.00	10.77	—	394.00	318.00	120.00	32.00
Potasio	18.26	23.25	7.37	10.79	19.92	—	16.75	4.15	4.77	14.95
Dureza $CaCO_3$	199.46	994.77	230.29	2 066.78	291.96	—	1 253.82	962.79	1 323.08	332.57
Residuo total	320.50	3 837.00	332.50	8 975.00	484.50	—	2 883.00	2 184.00	2 118.00	591.00
pH	7.8	9.00	7.8	7.8	7.8	—	7.8	7.8	7.8	7.8

Continúa TABLA 6

Elementos *(mg/l)*.	*21*	*22*	*23*	*24*	*25*	*26*	*27*	*28*	*29*	*30*
Sílice	—	23.00	42.00	31.75	37.50	3.50	32.00	24.50	64.25	56.50
Carbónico	—	0.00	82.50	0.00	0.00	17.90	0.00	0.00	12.90	0.00
Bicarbónico	—	434.00	384.00	374.54	298.00	78.26	279.00	333.00	409.20	159.00
Sulfúrico	—	20.10	47.73	317.47	2 847.82	0.00	153.08	172.21	112.00	2 290.09
Cloro	—	61.50	42.50	28.00	93.50	9.00	59.00	27.70	55.00	1 232.83
Nítrico	—	241.80	122.76	60.28	65.62	10.50	278.38	131.74	0.00	1 385.88
Hierro	—	0.40	0.50	0.93	0.02	1.80	0.25	0.02	0.40	0.05
Aluminio	—	11.00	15.00	1.51	0.98	4.45	6.00	1.73	1.35	1.25
Calcio	—	47.77	169.20	117.33	440.20	22.83	224.94	174.87	35.00	637.17
Magnesio	—	20.74	16.10	2.39	17.08	8.08	25.77	19.50	1.09	87.16
Sodio	—	200.00	60.00	198.70	1 025.35	8.66	30.00	34.86	205.04	1 560.00
Potasio	—	18.70	31.40	2.49	8.30	13.69	4.80	3.32	3.73	19.19
Dureza $CaCO_3$	—	192.02	479.35	301.69	1 160.28	85.36	652.55	503.85	91.32	1 897.93
Residuo total	—	775.00	744.00	971.00	4 740.00	128.00	1 009.00	761.00	691.00	7 403.00
pH	—	7.8	9.00	8.6	7.8	9.8	7.8	7.8	9.2	7.8

Continúa TABLA 6

Elementos	*(mg/l)*	*31*	*32*	*33*
Sílice		35.00	47.50	27.00
Carbónico		0.00	0.00	0.00
Bicarbónico		287.70	568.00	96.00
Sulfúrico		1 695.37	3.70	641.97
Cloro		145.45	31.00	906.00
Nítrico		48.56	141.98	79.36
Hierro		0.00	0.60	2.00
Aluminio		0.75	12.50	24.00
Calcio		627.12	174.18	238.88
Magnesio		52.34	24.24	45.64
Sodio		196.00	22.00	592.00
Potasio		28.64	31.40	16.60
Dureza $CaCO_3$		1 750.99	520.29	756.94
Residuo total		3 009.00	827.00	2 863.00
pH		7.8	7.8	7.5

Los análisis químicos de las aguas fueron efectuados por los Químicos Esperanza Schroeder y Angel Rodríguez M., de la Sección de Química del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

CONCLUSIONES

1. El área de recarga principal está constituida por los aluviones y en menor grado por las calizas de la unidad C y E (Caliza Zuloaga y Caliza Cupido).

2. El proceso dominante es el de infiltración y el de evaporación, existiendo muy poco escurrimiento superficial.

3. El movimiento general de las aguas es hacia el sur y el poniente aunque parece ser que existe una barrera que controla la migración del agua hacia el poniente a la altura del poblado La Gruñidora, debido a la presencia de la Unidad G (Formación Caracol y Formación Indidura), aflorando en algunos lugares y sepultada a poca profundidad en otros.

4. Es imposible efectuar una cuantificación real de las posibilidades de las aguas subterráneas en esta región debido a las causas siguientes:

a) No hay suficiente número de estaciones meteorológicas y las pocas que existen no están equipadas convenientemente, así como que su localización obedeció más a razones de comodidad que a la conveniencia hidrológica.

b) Los pozos o norias perforadas hasta la fecha, lo han sido sin obedecer a ningún planteamiento general desde el punto de vista hidrológico, sino solamente para tratar de resolver problemas muy locales.

c) De todas estas perforaciones no se ha llevado un control adecuado y son muy pocos los datos que se pueden obtener de ellos; es indispensable conocer la columna geológica atravesada, la localización de los acuíferos en el caso de que existan, en qué tipo de roca están, dimensiones del orificio, profundidad total, profundidad a que se encuentran los niveles estáticos y dinámicos, etcétera.

d) No se tiene ninguna información relacionada con los aforos de los pozos o norias y su comportamiento hidráulico derivado de él.

5. Los aluviones contienen agua en su mayoría, pero de acuerdo con los datos obtenidos ésta es de mala calidad, se encuentra muy cargada de sales y los caudales que se obtienen son pequeños. Esto se debe principalmente a que su composición litológica es muy diversa ya que están formados por clásticos de

diferentes dimensiones, en su mayoría de constitución calcárea y a que forman lentes entrelazados de arenas, limos y arcillas.

6. Las calizas no han sido todavía probadas. Las de las unidades C y E parecen tener posibilidades, sobre todo si se considera las experiencias que se han obtenido en otras áreas, por lo que convendría hacer algunas perforaciones de exploración, especialmente en las Sierras de Santa Rita y de La Centella.

7. De los análisis químicos de las aguas obtenidas en los pozos, norias y manantiales se puede deducir que han circulado por rocas corbonatadas principalmente, lo que explica su alto contenido de sales. Asimismo se observa una concentración de éstas que se incrementa de las sierras hacia los valles.

8. Desde el punto de vista geológico el área estudiada presenta características muy interesantes; la estratigrafía comprende formaciones posiblemente desde jurásicas a recientes.

9. La Formación Taray necesita un estudio más completo especialmente en lo relacionado con la edad, ya que hasta la fecha se le asigna una edad posiblemente paleozoica correlacionándola únicamente por similitud litológica y posición estratigráfica; su relación con las formaciones que la subyacen y sobreyacen es discordante.

10. La tectónica del área es también bastante compleja y ésta tiene un interés muy especial desde el punto de vista de la circulación de las aguas subterráneas, pero ésta debe ser resuelta regionalmente.

RECOMENDACIONES

1. En toda investigación hidrogeológica deberá seguirse la secuencia de trabajo que se ha establecido en este estudio, es decir: Geología, Hidrología e Hidrogeología.

2. Los Gobiernos de los Estados, en este caso el de Zacatecas y las Dependencias Federales correspondientes, deberán levantar un inventario completo de todas las obras hidráulicas de este tipo que existan (pozos, norias, manantiales, etc.). En este inventario se debe incluir todos los datos propiamente hidráulicos de las obras y los relacionados con sus dimensiones y características. Llevar un control efectivo cuando se ejecuten, con el objeto de asegurarse que se hacen de acuerdo con un programa previamente establecido y que se vaya recabando toda la información derivada de la obra en cuestión.

El contar con toda esta información unida a la hidrológica general, permitirá hacer evaluaciones hidrogeológicas en tiempo mínimo y a bajo costo y se verá, además, la conveniencia de hacer otras obras o de cómo aprovechar mejor las existentes.

3. Establecer nuevas estaciones meteorológicas y equipar adecuadamente a las que ya existen. En el área de El Cardito se recomienda poner estaciones en los siguientes lugares: al norte de Tanque de Piedra en la Sierra de La Gruñidora, en Calabazal, en El Rosario, en algún lugar de la Sierra del Junco y en Rancho Nuevo. Estas estaciones deberán estar dotadas del siguiente equipo mínimo: pluviómetro, termómetro, anemómetro, evaporímetro, tanque de evaporación, etcétera.

Cada una de las estaciones deberá estar atendida por dos personas, previamente entrenadas, las cuales podrán turnarse en sus actividades.

4. En los pozos y norias perforados con anterioridad se debe obtener toda la información posible, tales como columna geológica, horizontes donde brota el agua, tipo de roca, dimensiones de la obra, etc. y efectuar un aforo completo.

Al tener toda esta información debe hacerse una nueva evaluación de la región.

5. En todos los pozos nuevos y en los antiguos donde sea posible, debe correrse registros eléctricos. Los aforos que se hagan deberán ser durante 24 horas consecutivas como mínimo.

6. Hacer un muestreo sistemático de las Formaciones Zuloaga y Cupido para poder determinar en el laboratorio sus características de porosidad y de permeabilidad. Se recomienda levantar secciones en la Sierra del Toro y en la de la Gruñidora siguiendo una dirección NO-SE, cortando las estructuras. En las Sierras de la Centella y de Santa Rita las secciones tendrán una dirección NE-SO.

7. Lo ideal sería efectuar estudios geofísicos sistemáticos para determinar el verdadero espesor de los aluviones y para conocer toda la estructura geológica del subsuelo, de acuerdo con el poder de penetración de cada método y equipo. En esta región no es conveniente hacerlo debido al elevado costo de operación de la mayoría de estos métodos y a que los resultados prácticos que se obtendrían no compensarían los gastos. Sin embargo es recomendable levantar una sección sismológica en La Pardita y Noria de Guadalupe, considerando que los pozos y el agua obtenida en la primera y en El Crucero son de los mejores que se tiene en la región, por lo que vale la pena conocer mejor toda el área. En otras localidades deben usarse métodos eléctricos de resistividad o de polarización inducida.

8. Debe efectuarse un trabajo de detalle en la Formación Taray para determinar su edad con mayor precisión y todas sus demás características y relaciones estratigráficas.

9. Hacer un estudio de la tectónica regional para poder resolver todos los problemas que se derivan de ella y que la expliquen.

10. Establecer e incluir en el Código de Nomenclatura Estratigráfica el

concepto de "unidad hidrogeológica", definida como una subdivisión de las rocas de la corteza terrestre determinada por su porosidad y permeabilidad, por consiguiente se distingue y delimita tomando como base esas características de las rocas.

TRABAJOS CITADOS

BÖSE, Emil, 1923. *Vestiges of an ancient continent in northeast Mexico*: Am. Jour. Sci., 5a. ser., v. 6, p. 127-136; 196-214; 310-337.

BÖSE, Emil y CAVINS, O. A., 1927. *The Cretaceous and Tertiary of southern Texas and northern Mexico*: Univ. Texas, Bull. 2847, p. 7-142.

BURCKHARDT, Carlos, 1906. *La faune jurassique de Mazapil avec un appéndice sur les fossiles du Cretacique Inferieur*: Inst. Geol. México, Bol. 23, 216 p.

——, 1907. *Sobre las rocas fosforíticas de las Sierras de Mazapil y Concepción del Oro, Zacatecas*: Parergones, Inst. Geol. México, v. 2, n. 1, p. 63-67.

——, 1921. *Faunas jurásicas de Symon, Zacatecas y faunas cretácicas de Zumpango del Río, Guerrero*: Inst. Geol. México, Bol. 33, 137 p.

——, 1930. *Etude synthétique sur le Mesozoique mexicain*: Soc. Paleont. Suisse, Mém. 49-50, p. 1-280.

CASTANY, G., 1963. *Traité Practique des eaux souterraines*: Dunod, Editeur. Paris.

Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1970. *Código de nomenclatura estratigráfica*: Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología, 28 p.

CÓRDOBA, D. A., 1965. *Hoja Apizolaya 23R-(9) con Resumen de la geología de la Hoja Apizolaya, Estados de Zacatecas y Durango*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100,000.

CSERNA, Zoltan de, 1953 *Structural geology of southeastern Coahuila and adjacents parts of Nuevo Leon, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 64, p. 1497 (abstract).

——, 1955. *Structural geology of southeastern Coahuila and adjacents parts of Nuevo Leon, Mexico*: Tesis doctoral Universidad de Columbia.

——, 1956. *Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey*: Cong. Geol. Intern., 20a. México, Monogr, 87 p.

——, 1960.*Orogenesis in time and space in Mexico*: Geol. Rundschau, v. 50, p. 595-605.

EDWARDS, J. D., 1955. *Studies of some early Terciary red conglomerates in central Mexico*: U. S. Geol. Survey Prof., Paper 264-H.

FERRUSQUÍA, V. I., en prensa 1974. *Distribution of Cenozoic Vertebrates faunas in Middle America and problems of migration between North and South America*: Sociedad Geológica Mexicana.

FLAWN, P. T., Goldstein, Angust, Jr., King, P. B. and Weaver, C. E., 1961. *The Ouachita system*: Univ. Texas, Bur. Econ. Geol., Pub. 6120, 401 p.

FRIES, Jr., Carl, 1960. *Geología del Estado de Morelos y partes adyacentes de*

México y Guerrero, región central meridional de México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 60, p. 98-101.

GARCÍA-CALDERÓN, Jorge, 1968. *Hoja El Salado 14R-J(11) con Resumen de la geología de la Hoja El Salado, Estados de Zacatecas y San Luis Potosí*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100.000.

GARCÍA, Enriqueta, 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen*: Offset Larios, S. A. México, D. F.

HALLER, R. y KELSON, K. R., 1959. *The mammals of North America*: The Ronald Press Company, New York. vol. I y II.

HEATH, Ralph C., 1968. *Introduction to Ground-Water Hidrology*: John Wiley and Sons., New York.

HEIM, Arnold, 1940. *The front ranges of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria to Tamazunchale*: Eclog. Geol. Helvetiae, v. 33, p. 313-362.

HORTON, R. E., 1933. *The role of infiltration in the Hidrologic Cycle*: Transaction American Geophysical Union, v. 14, p. 446-460.

HUBBERT, M. K., 1940. *The theory of ground-water motion*: The Journal of Geology, 48(8), p. 785-944. (Nov.-Dic.).

HUMPHREY, W. E., 1949. *Geology of the Sierra de Los Muertos area, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 60, p. 89-179.

——, 1956. *Notes of the geology of northeast Mexico*: Supplement to Corpus Christi (Texas), Geol. Soc. Ann. Field Trip, 41 p.

IMLAY, R. W., 1936. *Geology of the western part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 47, p. 1091-1152.

——, 1937. *Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 48, p. 587-630.

——, 1938a. *Ammonites of the Taraises Formation of northern Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 49, p. 539-602.

——, 1938b. *Studies of the Mexican geosyncline*: Bull. Geol. Soc. America, v. 49, p. 1651-1694.

——, 1943. *Jurassic formations of the Gulf region*: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologist, v. 27, p. 1407-1533.

——, 1944. *Cretaceous formation of Central America and Mexico*: Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologist, v. 28, p. 1077-1195.

JONES, T. S., 1938. *Geology of Sierra de La Peña and paleontology of the Indidura Formation, Coahuila, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 49, p. 69-149.

KELLUM, L. B., 1932. *Reconnaissance studies in the Sierra de Jimulco, Mexico*: Bull. Geol. Soc. America, v. 43, p. 541-564.

——, 1936. *Geology of the mountains west of the Laguna district*: Bull. Geol. Soc. America, v. 47, p. 1039-1090.

KELLUM, L. B. y SHUBACK, K. A. 1961. *New exogyras from the Indidura Formation, Mexico*: Michigan Acad. Sci., v. 46, p. 31-59.

KELLUM, L. B. y ROBINSON, W. I., 1963. *Geology of the west-central part of the Sierra de Tlahualilo, Coahuila, Mexico*: Michigan Acad. Sci., v. 48, p. 223-261.

KELLY, W. A., 1936. *Geology of the mountains bordering the valleys of Acatita and Las Delicias*: Bull. Geol. Soc. America, v. 47, p. 1009-1038.

KING, P. B. 1936. *Geology of the Marathon Region, Texas*: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 187.

KÖEPPEN, Wilhelm, 1948. *Climatología*: Fondo de Cultura Económica, México, p. 152-192.

MUIR, J. M., 1936. *Geology of the Tampico region, Mexico*: Am. Assoc. Petroleum Geologist, Tulsa, 280 p.

MULLER, C. H., 1939. *Relations of the vegetation and climatic types in Nuevo Leon, Mexico*: Amer. Midl. Natur. 21, p. 687-729.

——, 1947. *Vegetation and climate of Coahuila, Mexico*: Madroño 9, p. 33-35.

PANTOJA-ALOR, Jerjes, 1963. *Hoja San Pedro del Gallo 13R-K(3) con resumen de la Geología de la Hoja San Pedro del Gallo, Estado de Durango*: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, serie de 1:100,000.

RAISZ, Erwin, 1959. *Landforms of Mexico*: Cambridge, Mass. mapa con texto, 1:3.000,000.

ROGERS, C. L., CSERNA, Zoltan de, Tavera, Eugenio y Ulloa, Salvador, 1957. *Geología general y depósitos de fosfatos del distrito de Concepción del Oro, Estado de Zacatecas, México*: Inst. Nal. Inv. Rec. Minerales (México), Bol. 38, 129 p.

ROGERS, C. L., CSERNA, Zoltan de, Tavera, Eugenio, van Vloten, Rogelio y Ojeda, Jesús, 1961. *Reconocimiento geológico y depósitos de fosfatos del norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, México*: Consejo de Recursos No Renovables (México), Bol. 56, 322 p.

RZEDOWSKI, Jerzy, 1961. *Vegetación del Estado de San Luis Potosí*: Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 228 p.

SCHOELLER, H. 1955. L'Interprétation des Analyses Chimiques des Eaux Salaés. Les Problemes des Zones Arides (UNESCO), p. 61-67.

SCHULZE, Gustavo, 1953. *Conglomerados terciarios continentales en la Comarca Lagunera de Durango y Coahuila y sus relaciones con fenómenos ígneos, geomorfológicos y climatológicos*: Inst. Nal. Inv. Rec. Minerales, Bol. 30, 52 p.

TOLMAN, C. F., 1937. *Ground Water*: Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York.

VAN VLOTEN, Roger, 1955. *Geology of the border region between Coahuila and Zacatecas, Mexico*: Leidse Geologische Mededelingue, v. 19, p. 111-166.

BOLETINES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

50. *Las Meteoritas Mexicanas*, por José C. Haro, 1931.	$ 50.00 M.N.	$ 5.00 Dlls.
51. *Zonas Mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit*, por Tomás Barrera, 1931.	Agotado.	Out of Print.
53. *Topografía Sepultada en la Región de Santa Rosalía, B. C.*, por Ivan F. Wilson, 1948.	$ 25.00 M.N.	$ 2.50 Dlls.
54. *Paleontología y Estratigrafía del Plioceno de Yepómera*, Edo. de Chihuahua (Primera Parte), por John F. Lance, 1950.	$ 25.00 M.N.	$ 2.50 Dlls.
55. *Los Estudios Paleobotánicos de México*, por Manuel Maldonado Koerdell, 1950.	$ 25.00 M.N.	$ 2.50 Dlls.
56. *Las Provincias Geohidrológicas de México* (Segunda Parte), por Alfonso de la O. Carreño, 1954.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
57. Espeleología Mexicana, *Cuevas de la Sierra Madre Oriental le la Región de Xilitla*, por Federico Bonet, 1953.	Agotado	Out of Print.
58. *Geología y Paleontología de la Región de Caborca*, por G. Arthur Cooper y otros, 1954.	Agotado.	Out of Print.
Pt. III. *Fauna Pérmica de El Antimonio, Oeste de Sonora, México*, por G. Arthur Cooper y otros, 1965.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
59. *Los Depósitos de Bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que exista Bauxita en México*, por Guillermo P. Salas, 1959.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
60. *Geología del Estado de Morelos y de Partes Adyacentes de México y Guerrero*, Región Central Meridional de México, por Carl Fries, Jr., 1960.	$ 50.00 M.N.	$ 5.00 Dlls.
61. *Fenómenos Geológicos de Algunos Volcanes Mexicanos*, por Luis Blásquez L., Armando Reyes Lagos, Federico Mooser y José L. Lorenzo, 1961.	$ 20.00 M.N.	$ 2.00 Dlls.
62. *Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur*, entre Chilpancingo y Acapulco, Edo. de Guerrero, por Zoltán de Cserna, 1965.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
63. *Contribución al Estudio de Minerales y Rocas*, por Eduardo Schmitter y Ruth Rojas de Gómez, 1962.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
64. *Estudios Geocronológicos de Rocas Mexicanas*, por Carl Fries, Jr., 1962.	Agotado.	Out of Print.
65. *Estudios Mineralógicos y Petrográficos del Casquete y la Sal de Algunos Domos Salinos del Istmo de Tehuantepec, México*, por Salvador Enciso de la Vega, 1963.	$ 30.00 M.N.	$ 3.00 Dlls.
66. *Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos*, BOLEITA, por Francisco J. Fabregat, 1963.	$ 40.00 M.N.	$ 4.00 Dlls.

67. Pt. I. *Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México,* por Amado Yáñez Correa, 1963. $ 25.00 M.N. $ 2.50 Dlls.

Pt. II. *Sistemática y Distribución de los Géneros de Diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México,* por Angel Silva B., 1963. $ 25.00 M.N. $ 2.50 Dlls.

Pt. III. *Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México,* por Agustín Ayala Castañares, 1963. $ 75.00 M.N. $ 7.50 Dlls.

Pt. IV. *Sistemática y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México,* por Antonio García-Cubas, 1963. $ 30.00 M.N. $ 3.00 Dlls.

68. *Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la "Playa Washington" al S. E. de Matamoros, Tamps.,* por Luis Rafael Segura V., 1963. $ 30.00 M.N. $ 3.00 Dlls.

69. *Geología del Area delimitada por el Tomatal, Huitzuco y Mayanalán,* Estado de Guerrero, por José Ma. Bolívar, 1963. $ 30.00 M.N. $ 3.00 Dlls.

70. *Derrames Cineríticos Las Américas de la Región de El Oro Tlalpujahua, Estados de México y Michoacán,* parte centromeridional de México, por Carl Fries Jr., C. S. Ross y Alberto Obregón Pérez. En preparación Being prepared.

71. *Estudios Geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí,* por Diego A. Córdoba, Eugenio Cserna y Alejandro Bello Barradas, 1963. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

72. *Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos, LA PLUMOSITA,* por Francisco J. Fabregat G., 1964. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

73. *Contribuciones del Laboratorio de Geocronometría.* Partes I-III.

Pt. I. *Discusión de Principios y Descripción de la Determinación Geoquímica por el Método Plomo Alfa o Larsen,* por César Rincón Orta, 1965.

Pt. II. *Nuevas aportaciones Geocronológicas y Técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría,* por Carl Fries, Jr. y César Rincón Orta, 1965.

Pt. III. *Compendio de Edades de Radiocarbono de Muestras Mexicanas de 1962 a 1964,* por Josefina Valencia y Carl Fries, Jr., 1965. $ 45.00 M.N. $ 4.50 Dlls

74. *Estudios Geológicos en el Estado de Chihuahua.* Partes I-II.

Pt. I. *Geología del área de Plomosas, Chih.,* por Inther W. Bridges.

Pt. II. *Notas sobre la Geología de la Región de Placer de Guadalupe y Plomosas, Chih.,* por Zoltán de Cserna, 1966. $ 45.00 M.N. $ 4.50 Dlls.

75. *Estudios Minerológicos,* por Richard V. Gaines:

1. *Mineralización de Telurio en la Mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora.*
2. *Métodos de Laboratorio para la Separación y Purificación de Muestras Minerales,* 1965. $ 30.00 M.N. $ 3.00 Dlls.

76. *Estudios de Mineralogía.* Partes I-III.

Pt. I. *Los Minerales de Manganeso de Molango, Hgo.,* por Liberto de Pablo Galán.

Pt. II. *Caolinita de Estructura Desordenada de Concepción de Buenos Aires, Edo. de Jalisco, México,* por Liberto de Pablo Galán.

Pt. III. *Nota Preliminar sobre la Identificación por Rayos X, de Oxido Tálico Tl_2O_3,* por Jesús Ruiz Elizondo, Gloria Avila I., Octavio Cano Corona y Gloria Ayala Rojas, 1965. $ 35.00 M.N. $ 3.50 Dlls.

77. *Los Minerales Mexicanos,* 3. DURANGITA, por Francisco J. Fabregat G., 1966. $ 45.00 M.N. $ 4.50 Dlls.

78. *Los Minerales Mexicanos,* 4. CUMENGEITA, por Francisco J. Fabregat G., 1966. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

79. *Los Minerales Mexicanos,* 5. LIVINGSTONITA, por Francisco J. Fabregat G., 1966. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

80. *"Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán",* por Federico Bonet, 1967. $ 60.00 M.N. $ 6.00 Dlls.

81. *Ecology Distribution and Taxonomy of Recent Ostracoda of Laguna de Términos, Campeche, México,* por Gustavo A. Morales. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

82. *Estudios de Geocronometría y Mineralogía.*

Pt. I. *Edad de Tres Rocas Intrusivas en la Parte Centro Septentrional de México,* por Jerjes Pantoja Alor y César Rincón Orta.

Pt. II. *Nuevos datos sobre Mackayita,* por Richard V. Gaines.

Pt. III. *Ilvaita de El Guariche, Mich.,* por Liberto de Pablo.

Pt. IV. *Cálculo Cristalográfico,* por Francisco J. Fabregat y Ricardo Esquivel Esparza, 1967. $ 30.00 M.N. $ 3.00 Dlls.

83. *Los Minerales Mexicanos,* 6. JALPAITA, por Francisco J. Fabregat G., 1967. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

84. *Sedimentología de la Laguna Madre, Tamaulipas.*

Pt. I. *Composición y distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas,* por Amado Yáñez y Carmen Schlaepfer, 1968.

Pt. II. *Minerales Pesalos de los Sedimentos de la Laguna Madre, Tamaulipas*, por CARMEN J. SCHLAEPFER, 1968. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

85. *Los Minerales Mexicanos*, 7. VANADINITA y ENDLICHITA, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1970. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

86. *Ecología y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México*, por ANTONIO GARCÍA-CUBAS JR., 1968. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

87. *Ecología y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna Madre, Tamaulipas, México*, por AGUSTÍN AYALA-CASTAÑARES y LUIS R. SEGURA, 1968. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

88. *Geología Marina de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México*, por RODOLFO CRUZ. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

89. *Algunos programas de Cálculo Cristalográfico mediante computadora electrónica*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1971. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

90. *Espeleología de la región de Cacahuamilpa, Estado de Guerrero, México*, por F. BONET, 1971. $ 70.00 M.N. $ 7.00 Dlls.

91. *Ecología y distribución de los micromoluscos de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México*, por ANTONIO GARCÍA-CUBAS JR. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

92. *Sistema Caolinita-Caolinita Desordenada-Metahaloisita-Endelita Atapulgita-Microscopia y Difracción Electrónica*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN, 1971. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

93. *Fisiografía y Sedimentología del Delta del Río Balsas, Michoacán, México*, por MARIO GUTIÉRREZ-ESTRADA, 1971. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

94. *Las Arcillas de la Cuenca Carbonífera de Coahuila. Montmorrillonita le Estructura Interestratificada*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN.
La Celda Reducida, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1972. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

95. 1º Cálculo cristalográfico. Programas para computadora electrónica, por Francisco J. Fabregat G.
2º Notas sobre la petrología del complejo oaxaqueño, por Keith Bloomfield y F. Ortega-Gutiérrez.
3º Fases del vulcanismo en la región de Tlanchinol, Hidalgo, México, por Claude Robin y C. Bobier.
4º Los hidróxidos de aluminio en los suelos de Chiapas, por L. Castellanos, M. Medina V. y N. Aguilera. $ 50.00 M.N. $ 5.00 Dlls.

96. *Attapulgita sedimentaria marina de Yucatán, México*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN. 33 p. 16 figs.
Cálculo cristalográfico. Programa de Cálculo electrónico, por FRANCISCO J. FABREGAT GUINCHARD. 31-54 pp.
El vulcanismo de las planicies de la Huasteca, Este de México, por CLAUDE ROBIN. 55-92 pp.
Geología de la Faja del Salto. Durango, México, por DAVID EDWIN WAHL, JR. 93-182 pp. 23 figs. $ 70.00 M.N. $ 7.00 Dlls.

97. *Estudios geológicos-paleontológicos en la región Mixteca, PT. I: Geología del área Tamazulapan. Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca. México*, por ISMAEL FERRUSQUÍA VILLAFRANCA. $ 60.00 M.N. $ 6.00 Dlls.

98. *Investigación Hidrogeológica de la región de "El Cardito" Zacatecas*, por JORGE GARCÍA CALDERÓN. $ 40.00 M.N. $ 4.00 Dlls.

Para su adquisición diríjase al:
Instituto de Geología, Oficina de Publicaciones — Ciudad Universitaria.
México 20, D. F.