

29
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL AREA
BUENAVENTURA, CHIH.

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
LUIS NOEL TORRES LIRA



México, D. F. Cd. Universitaria

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-41

Señor TORRES LIRA LUIS NOEL.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing.- Raúl Morales Escalante, para que lo desarrolle como tesis para - su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL AREA BUENAVENTURA, CHIH."

RESUMEN.

- I GENERALIDADES.
 - II GEOLOGIA.
 - III HIDROLOGIA SUPERFICIAL.
 - IV GEOHIDROLOGIA.
 - V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Febrero 4 de 1986.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

ARCH' MRV!gtg

I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN	1
CAPITULO I: GENERALIDADES	
Observaciones	4
Objetivo del estudio	5
Método de trabajo	6
Localización y vías de acceso	8
Población y actividades económicas	10
Clima, flora y fauna:	11
Clima	11
Flora	13
Fauna	16
CAPITULO II: GEOLOGIA	
Fisiografía y Geomorfología	18
Estratigrafía	23
Rocas sedimentarias	25
Rocas Igneas	34
Tectónica-Geología Histórica	40
Geología Estructural	45

CAPITULO III: HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Hidrología	48
Cuencas y Subcuencas	48
Hidrografía	48
Estaciones Hidrométricas	50
Embalses superficiales	50
Climatología	53
Estaciones Climatológicas	53
Disponibilidad de agua superficial	55

CAPITULO IV: GEOHIDROLOGIA

Antecedentes	57
Formación Las Vigas	58
Formación Cupido	58
Formación La Peña	58
Formación Aurora	58
Formación Loma de Plata	58
Rocas Intrusivas del Terciario Inferior	59
Supergrupo Volcánico Superior (SVS)	59
Conglomerados terciarios	60
Basalto	61
Aluviones cuaternarios	61
Depósitos lacustres	62
Condiciones geohidrológicas del área	63

	PAGINA
Cuencas rellenas por acumulación de clásticos en depresiones (fosas tectónicas)	64
Elevaciones de roca ígnea con perfil abrupto.	65
Elevaciones de roca ígnea con relieve de meseta.	67
Elevaciones de roca ígnea con relieve dómico y perfil suave.	67
Elevaciones de roca sedimentaria cretácica con perfil suave.	68
Elevaciones de roca ígnea y sedimentaria cretácica, con perfil abrupto.	69
Resumen acerca de las condiciones geohidrológicas del área.	70
Unidades geohidrológicas	72
Cartografía Geohidrológica	76
Observaciones	77
Generales	77
Particulares	78
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones y Recomendaciones	81
BIBLIOGRAFIA	101

R E S U M E N

El área de estudio tiene una extensión de 18,105 km² y su enfoque es regional, se localiza al NW de la ciudad de Chihuahua siendo el poblado Buenaventura uno de los mas importantes y del que toma nombre este trabajo; está situada en una zona de transición entre la sierra Madre Occidental y la región de los Bolsones.

El paisaje está formado por sierras alargadas (orientadas N-S y NW-SE) separadas por valles; también existen algunas montañas y lomeríos aislados. Tal paisaje es consecuencia de sistemas de fallas normales que han creado estructuras de fosas y pilares tectónicos en las rocas del área. Dichas rocas están constituidas de la siguiente manera: por conglomerado, arenisca, lutita y caliza cretácicas en una fase tectónica transgresiva; por ígneas intrusivas de composición intermedia (monzonita) del Terciario Inferior; por ígneas efusivas eminentemente ácidas y cantidades subordinadas de basalto, ambas del Terciario Medio, las cuales sobreyacen discordantemente a las anteriores y son las más abundantes en el área; por basalto cuaternario; y por clásticos continentales del Terciario y Cuaternario, con mayor abundancia del primero, ocupando los amplios valles y las depresiones locales.

El clima del área es seco-templado en las sierras y en -- los valles occidentales, mientras que en el oriente y norte es muy seco-templado, ambos con verano cálido. La temporada de -- lluvia es en verano, su régimen medio anual es mayor de 500mm en las regiones más elevadas y desciende hasta 250mm en las más bajas. Otras aportaciones de agua ocurren en Invierno en forma de lluvias, nevadas y heladas.

Existen dentro del área 14 subcuencas de escurrimiento su per fi ci al, de las cuales hay 12 abiertas que escurren en su ma yo ri a hacia el norte y 2 endorréicas; sus corrientes son principalmente intermitentes y constituyen por lo general redes hi dro gr á ci as desintegradas, las corrientes perennes son 3 y dos de ellas cuentan con una presa cada una. Esto muestra que la - disponibilidad de agua superficial es insuficiente.

Todas las elevaciones del área constituyen zonas de re ca r g a a acuíferos en los valles, con potenciales altos (basaltos), variables (rocas efusivas ácidas y calizas) y nulos (rocas intrusivas o lutita, arenisca y conglomerado cretácicos). La superficie de los valles también constituye por lo general zonas de recarga a niveles subyacentes, donde el material granular - comúnmente forma acuíferos de tipo libre o localmente de tipo confinado. Las rocas basales a los sedimentos continentales, - como riolita y piroclásticos asociados o basalto o rocas calcáreas, pueden llegar a constituir acuíferos debido al fractura-

miento o cavidades entre coladas superpuestas en las rocas ígneas, o por disolución en las calizas.

Es muy probable que exista flujo subterráneo regional hacia el norte en las cuencas abiertas; de ser corroborado, los acuíferos en los valles del norte tienen una recarga adicional significativa, aparte de la local. En el mismo sentido, la explotación masiva a los acuíferos meridionales deberá contemplar el flujo regional para evitar afectaciones nocivas a los del norte.

C A P Í T U L O I

GENERALIDADES

I.1. OBSERVACIONES

Este trabajo es el resultado de una apreciación personal y cualitativa, sobre diversos parámetros que permiten determinar características hidráulicas a las rocas del área, como sus estructuras primarias y secundarias, su porosidad, su permeabilidad, su posición topográfica, el clima y el tipo y la densidad de las corrientes superficiales de agua.

Por otra parte, el término "geohidrología" es utilizado aquí en un concepto amplio (ciencia de las aguas subterráneas) y no se hace alguna referencia o diferenciación con el de "hidrogeología", aunque el uso práctico de ambos términos en México y algunos otros países si exista (a nivel cuantitativo el primero y cualitativo el segundo); ya que oficialmente no hay deferencia.

Así pues, reitero que este trabajo es cualitativo y no tiene que ver con el uso práctico y no-oficial que se le ha venido dando en México al término geohidrología.

I.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

En el norte del país el clima predominante es desértico y semidesértico; ésto ocasiona que las lluvias sean escasas, la variación de la temperatura extremosa y bajo el índice de humedad en el aire.

Ante tales condiciones las corrientes superficiales de agua perennes son insuficientes para satisfacer la cada vez mayor demanda del líquido, y su utilización se ve limitada a las zonas que por su cercanía o condiciones topográficas así lo permiten.

El resto del territorio norte debe limitarse a las cortas y ocasionales temporadas de lluvia, pero el desarrollo y progreso de los asentamientos humanos en dichas áreas hace necesaria la búsqueda y explotación organizada del agua en el subsuelo.

Dada la gran extensión del área estudiada, este trabajo persigue fundamentalmente mostrar un panorama general de gran visión (a nivel regional), sobre las condiciones geohidrológicas presentes en el área y determinar las zonas susceptibles de ser embalses subterráneos; asimismo pretende ser un instrumento que apoye estudios futuros.

I.3 METODO DE TRABAJO

El desarrollo de esta investigación consistió en varias etapas, las cuales son:

- 1a. Recopilación de información geológica y geohidrológica en áreas internas o vecinas a la de este estudio. Esta incluye publicaciones, mapas topográficos y geológicos (en escalas 1:50,000, 1:250,000 y 1:1,000,000), -cartas de uso del suelo, edafológicas y climatológicas, fotografías aéreas e imágenes de satélite, entre otras.
- 2a. Primera interpretación o interpretación preliminar sobre las condiciones geológicas y geohidrológicas del área.
- 3a. Primera sesión de campo en el área de estudio, para conocerla y corroborar algunos aspectos propuestos en la interpretación preliminar.
- 4a. Ampliación de la bibliografía y reinterpretación sobre las condiciones geológicas y geohidrológicas del área; determinación de localidades por visitar que sirvan como puntos de verificación.

- 5a. Segunda sesión de campo con el objeto de verificar, en puntos prefijados, las condiciones geohidrológicas propuestas en la reinterpretación anterior.

- 6a. Vaciado final de los datos de campo y reinterpretación final sobre las condiciones geohidrológicas del área.

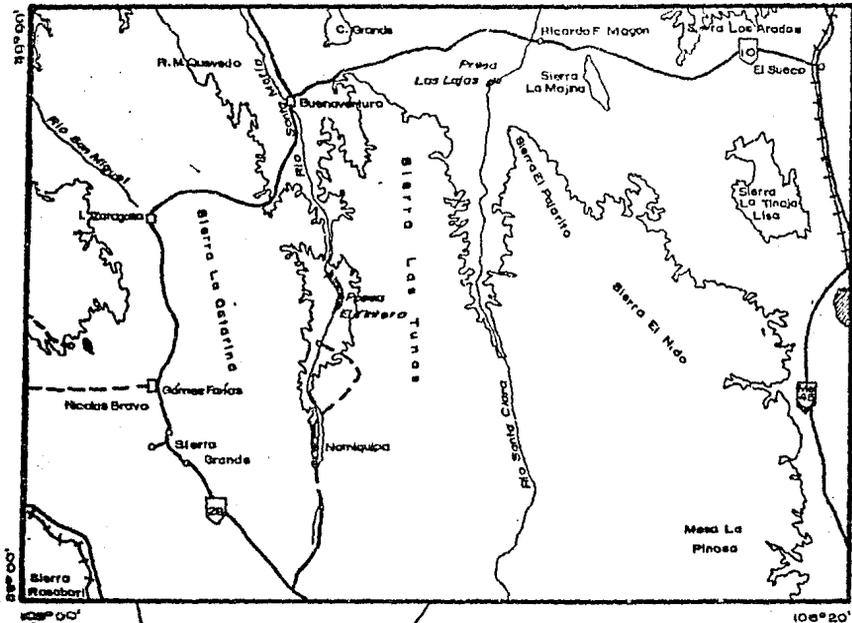
- 7a. Elaboración del escrito, revisión y edición.

I.4 LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

El área de estudio se localiza en el noroeste del estado de Chihuahua, está limitada por los paralelos 29°00'00" y 30°00'00" de latitud norte y los meridianos 106°20'00" y 108°00'00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una superficie aproximada de 18 105 km² (figura 1).

Las poblaciones con mayores asentamientos humanos son: -- Buenaventura, Ignacio Zaragoza, Gómez Farfias y Ricardo Flores Magón, principalmente.

La comunicación se lleva a cabo por la carretera federal número 45, que cruza el área por el oriente y une a la capital del estado con Ciudad Juárez (frontera con EEUU); por la carretera estatal número 28, en el tramo que va del poblado Cuauhtémoc (al sur del área) a Buenaventura, cruzando los poblados de Oscar Soto Maynes, Peña Blanca, Gómez Farfias e Ignacio Zaragoza; la carretera estatal número 10, que parte de la estación - El Sueco a Nuevo Casas Grandes, cruzando los poblados de Ricardo Flores Magón, Buenaventura y Rodrigo M. Quevedo. Hay además, numerosos caminos de terracería y brechas que son transitables la mayor parte del año, constituyendo así una red de comunicación bastante integrada.



LEYENDA

- Río, Lago, Presa
- Curva de nivel (cota: 1900 m.)
- Poblaciones
- Carretera: Federal
- Estatad
- Via férrea



Fig. 1: Plano de Localización

Facultad de Ingeniería UNAM
TESIS PROFESIONAL

Por otra parte, el oriente del área es cruzado por la vía férrea que comunica la ciudad de Chihuahua con Ciudad Juárez y en el NW y SW por la Chihuahua al Pacífico.

I.5 POBLACION Y ACTIVIDADES ECONOMICAS

Según el censo general de población (1970), y apoyándose con la cartografía censal que elabora la Dirección General de Geografía (S.P.P.), dentro del área hay 60 723 habitantes con densidad de población de 3.5 hab/km².

La actividad principal en la región es la agricultura y la ganadería. La agricultura es de riego y temporal, predominando la segunda; los cultivos principales son: maíz, frijol, avena, trigo, sorgo, manzana y durazno. La madera también es explotada, las principales especies que se destinan para esa actividad son: ocote, pino, encino, capulín, aile, cedro blanco y axóchitl.

La actividad ganadera principal es con ganado vacuno, de forma extensiva, a base de las variedades Hereford y Angus, principalmente. En menor escala también se explota ganado caprino y equino.

I.6 CLIMA, FLORA Y FAUNA

I.6.1. CLIMA. El tipo de clima característico en la región, obtenido de acuerdo con la Clasificación Mundial de Tipos de Climas elaborada por Wilhem Köppen en 1936 y modificada para adaptarla a las condiciones particulares de la República Mexicana por Enriqueta G. (1974), comprende tres rangos; los cuales son:

1) clima tipo BWkw"(e')

BW- muy seco o desértico.

k- templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del más caliente mayor de 18°C.

w"- régimen de lluvias de verano: por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco de la mitad caliente del año; porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual.

(e')- muy extremoso, oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, mayor de 14°C.

2) clima tipo BS_okw(e')

BS_o- seco o estepario, con un cociente de precipitación sobre temperatura menor de 22.9.

- k - templado con verano cálido, temperatura media -- anual entre 12 y 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del más caliente mayor de 18°C.
- w- régimen de lluvias, de verano: por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco de la mitad caliente del año; un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual.
- (e')- muy extremoso, oscilación anual de las temperaturas medias mensuales mayor de 14°C.

3) clima tipo BS₁kw(e)

- BS₁- seco o estepario, con un cociente de precipita--ción sobre temperatura mayor de 22.9.
- k- templado con verano cálido, temperatura media -- anual entre 12 y 18°C; la del mes más frío entre -3 y 18°C, y la del más caliente mayor de 18°C.
- w- régimen de lluvias de verano: por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco de la mitad caliente del año, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y - 10.2 de la total anual.
- (e)- extremoso, oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14°C.

De acuerdo con la clasificación anterior y con el relieve

de la zona, se deduce que el clima predominante de las sierras y valles intermontanos es seco-templado con verano cálido y en las partes bajas del este, centro-norte y valle de I. Zaragoza, es muy seco-templado con verano cálido.

La temperatura es más alta en las depresiones que en las regiones elevadas; su variación es muy extensa, tiene una oscilación anual comúnmente mayor de 14°C.

La temporada de lluvia es en verano; en las sierras la precipitación es mayor de 400 mm, en los valles intermontanos varía de 300 a 400 mm y en las zonas más bajas es de 250 a 300 mm.

I.6.2 FLORA. Las comunidades vegetales dominantes principales que existen dentro del área, ordenadas de mayor a menor extensión, son las siguientes:

Pastizal Natural. Comunidad de gramíneas que se encuentra desarrollada en la mayor parte del área principalmente en el oriente; ocupa las regiones topográficamente bajas de los valles fluviales y llanuras. Ha sido parcialmente desplazado para desarrollar zonas de cultivo en el centro-sur y poniente del área.

Bosque de Pino-Encino. Esta comunidad existe en las

sierras de más de 2000 m de altura snm; en algunas localidades está asociada con vegetación secundaria arbustiva.

Bosque de Encino-Pino. Vegetación arbórea que se desarrolla abajo de los 2000 msnm en las regiones templadas de las sierras; por lo común exhibe poca variación de especies.

Bosque Bajo Abierto. Comunidad de árboles bajos con grandes espacios entre sí que están ocupados por gramíneas; se localiza en una faja de transición que existe entre los pastizales y los bosques de encino.

Matorral Desértico Micrófilo (espinoso y subinermes). Comunidad caracterizada por elementos arbustivos de hojas pequeñas; se le encuentra generalmente en terrenos aluviales, en particular en el oeste y norte del área.

Pastizal Halófilo. Comunidad de gramíneas de tallos huecos anudados con flores en espigas; se desarrolla sobre suelos que contienen gran cantidad de sales.

Matorral Crasicaule. Tipo de vegetación formada por cactáceas grandes como: nopaleras, cardonales y chollales.

Mazquital. Comunidad dominada por mezquites que se -

desarrolla por lo general en suelos profundos.

Vegetación Halófila. Agrupaciones vegetales que se desarrollan sobre suelos con alto contenido de sales; se encuentra en las partes bajas de las cuencas cerradas.

Vegetación de Galería. Esta se desarrolla en las márgenes de los ríos o arroyos, en condiciones favorables de humedad local.

La flora más frecuente que se ha desarrollado en esas comunidades vegetales es la siguiente:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>
Acahual, Romerillo	Viguiera Cordifolia
Capulín	Prunus
Cedro Blanco	Curpressus
Charrasquillo	Quercus intricata
Encino	Quercus sp
Escobilla	Gutierrezia sarothrae
Gatuño	Acacia greggii
Gobernadora	Larrea tridentata
Huizache	Acacia sp
Llorón	Rhus aromática
Madroño	Arbutus xalapensis
Maguey	Agave sp

Mezquite	Prosopis glandulosa
Nopal	Opuntia sp
Palmilla, Soyate	Nolina sp
Parraleño	Zinnia sp
Pino	Pinus sp
Táscate	Juniperus monosperma
Zacate borreguero	Erioneuron sp
Zacate colorado	Heteropogon contortus
Zacatón liendrilla	Muhlenbergia Virescens
Zacate navajita	Bouteloa gracilis
Zacate tres barbas, garañona	Aristida sp

I.6.3 FAUNA. Las especies de animales en la región comprenden a una amplia variedad; de ellas, algunas de las más comunes son:

<u>Nombre Común</u>	<u>Nombre Científico</u>
Aguililla	Butio lineatus elegans
Cacomixtle	Bassariscus astutus
Camaleón	Phrynosoma orbiculare
Codornis	Calyptoputia squamata
Conejo	Sylvilagus floridanus
Correcaminos	Geococcyx mexicanus
Coyote	Canis latrans
Gato Montes	Lynx tufus

Liebre	Lepus californicus
Lobo	Canis lupus
Oso negro	Ursus americanus
Puma	Felix Concolor
Tlacuache	Didelphis mesoamericana
Vibora de cascabel	Crotalus viridis
Zorro	Conepatus mesolencus
Zopilote	Catharistes atratus

C A P I T U L O I I

GEOLOGIA

II.1 FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

Según la clasificación de Erwin Raisz (1964), el área queda situada dentro de dos provincias fisiográficas: al poniente, en la de la Sierra Madre Occidental (subprovincia de Tierras Altas con Cuencas), y hacia el oriente en la de Sierras y Cuencas (figura 2).

Por las observaciones de campo y de mapas topográficos -- con escalas 1: 50,000 y 1:250,000, el área se caracteriza por la presencia de sierras y valles, ambos paralelos o subparalelos, con orientación general N-S y NW-SE.

En forma progresiva, la amplitud de los valles decrece de oriente a occidente, mientras que la altura se incrementa gradualmente; el perfil resultante de esta característica, semeja una serie de escalones que se van estrechando cada vez más a medida que se incrementa la altura.

En el oriente y centro-norte la elevación de las sierras es poco mayor de 2000 m como en: Mesa Las Varas, sierra La Tinaja Lisa, Los Arados, La Mojina y cerros Malpaíses. A su vez, los valles que les circundan como por ejemplo el de la Laguna Encinillas o el que está situado al sur de la sierra Los Arados, son de menos de 1 600 m.

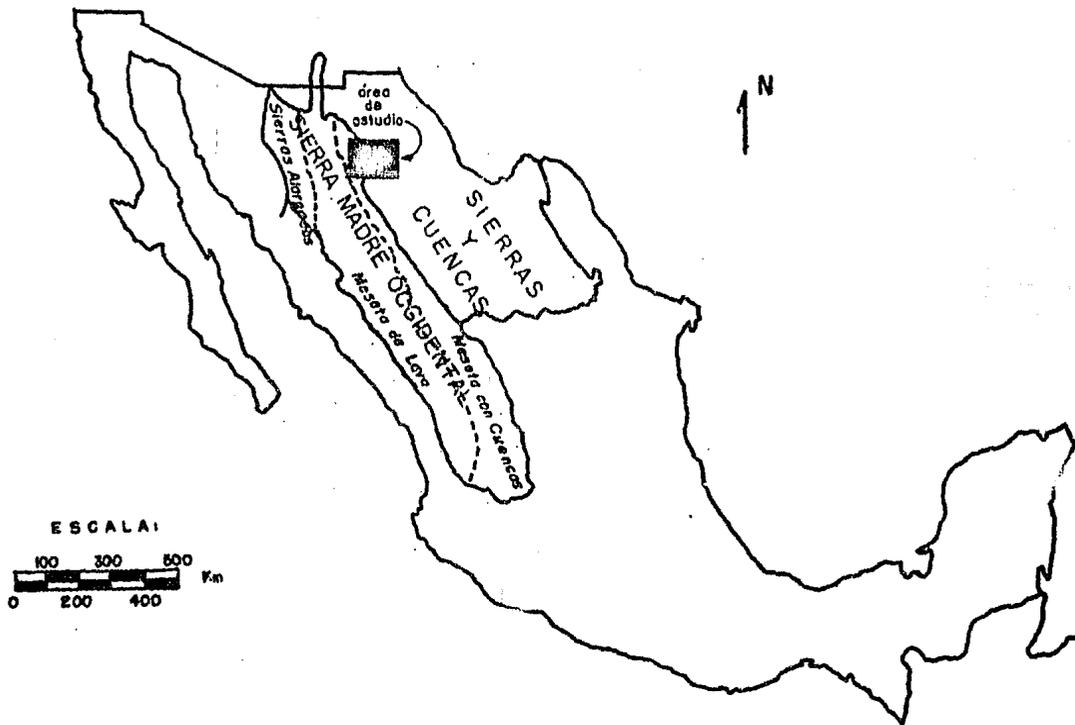


Figura 2 : Provincias fisiográficas en el área de estudio.
 (Según Erwin Reisz)

En el occidente, las sierras tienen por lo general elevaciones mayores de 2,500 m, sus partes más elevadas sobrepasan los 2,800 m, como ocurre en la mesa Laguna Alta y en las sierras La Catarina y Tres Picachos, ésta última con la cota más alta del área (3,040 m).

Comúnmente las sierras son escarpadas y abruptas, están constituidas por rocas extrusivas ácidas en forma de derrames y acumulaciones de piroclásticos. Las mesetas, están ligeramente inclinadas por lo regular hacia el oriente, y son producto de derrames basálticos que cubren a las rocas ácidas. Contrasta con la topografía general los suaves flancos de la sierra La Mojina, que está constituida por rocas sedimentarias marinas y con la forma dómica del intrusivo de Cerro Grande. Las cuencas por su parte, son inclinadas cerca de las sierras y horizontales hacia su centro; en ocasiones presentan lomeríos.

La red hidrográfica está por lo general desintegrada, tiene un patrón de drenaje subparalelo. Las corrientes principales con régimen permanente drenan hacia el norte, hacia cuencas cerradas localizadas fuera del área de estudio y son tres: el río Santa Clara que fluye hacia la Laguna de Patos y los ríos Santa María y San Miguel hacia la laguna de Guzmán.

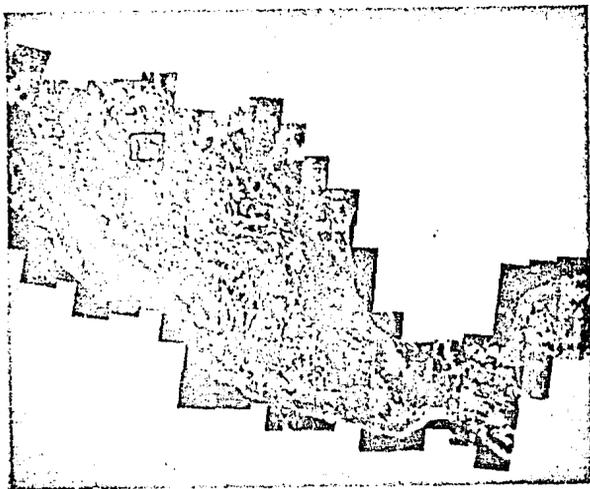
Observaciones por medio de imágenes de satélite en varias escalas (1: 250 000, 1:2 300 000, 1:4 000 000 y aprox. - - - -

1:20 000 000) han permitido examinar el área con un enfoque a gran visión: de dicho escrutinio es notoria la existencia de una gran estructura circular (GEC) con un diámetro que varía de 100 a 120 km, ocupando gran parte del área y prolongándose más allá de ésta, hacia el sur (figura 3).

La estructura en cuestión presenta características particulares a nivel regional: su forma es ovalada semejante a una elipse con distancia focal pequeña y su extremo sur achatado, orientada en su eje focal NW-SE. El perímetro está constituido por sierras que guardan una orientación N-S y NW-SE; la parte central es cruzada por una sierra de menor amplitud y longitud que las perimetrales en dirección N-S (sierra Las Tunas).

Fuera de la estructura, los depósitos aluviales están desarrollados y el pedimento alcanza casi la cima de las montañas que se encuentran hacia el norte; mientras que en su interior hay depósitos continentales del Terciario y escaso aluvial, que constituye un pedimento que dista más a la cima de las montañas y sierras.

Por otro lado, la mayor porción del área queda comprendida dentro de la vertiente interior de las Cuencias Cerradas del Norte (SARH, 1976) con excepción de una pequeña porción que está localizada en el extremo SW del área que drena sus escorrientes al océano Pacífico en la vertiente del río Yaqui. Además de esto, existen dos cuencas endorréicas importantes --



Esc. aprox. 1: 20 000 000



Esc. aprox. 1: 12 000 000

Figura 3. Gran Estructura Circular (GEC)

dentro del área: la de la laguna Encinillas en el oriente y -- la de la laguna de Bavícora en el poniente (ver localización - en los planos).

Los rasgos fisiográficos descritos son consecuencia de -- eventos geológicos internos de segundo orden, con grandes emisiones de magma y piroclásticos de composición ácida principalmente, que acaecieron durante el Terciario; los cuales afectan y cubren a rocas pre-terciarias, como les sucede a las sedimentarias del Cretácico.

Estos elementos fueron modificados durante el Terciario - Superior por fuerzas de tipo tensional, creándose un sistema - complejo de fracturas y fallas que a su vez propiciaron el desarrollo de fosas y pilares tectónicos que guardan una orientación regional N-S y NW-SE; dando como resultado sierras y cuencas que han sido paulatinamente rellenas por clásticos continentales.

otros elementos que modificaron la configuración del área son las emisiones de magma de composición basáltica del Cuaternario que sobreyace a las rocas terciarias formando mesetas -- (principalmente en el sur y poniente); así también el intrusivo expuesto anteriormente.

La gran estructura circular (GEC), constituye una gran me

seta que buza regionalmente hacia el este, constituyéndose en una zona de transición entre la Sierra Madre Occidental y la región de los bolsones.

El principal agente destructor que ha actuado para modificar y crear los rasgos de tercer orden o externos, es el agua. Por su efecto y lapso de acción, las montañas muestran laderas abruptas con fuerte pendiente, peñascos, cañones intermontanos profundos y valles creados con productos acarreados de las regiones altas.

En base al enfoque regional que tiene este análisis, se concluye que el área forma parte de la Altiplanicie de la Sierra Madre Occidental en su porción oriente, y que, se encuentra en una etapa de madurez geomorfológica para una altiplanicie (plateau) constituida por rocas ígneas efusivas constituyendo montañas en bloque, para una región árida; con los valles fluviales también en etapa de madurez. Sólo hacia el norte, puede observarse por medio de las imágenes de satélite -- una etapa más avanzada de peneplanación que corresponde a una etapa de madurez tardía-senectud (Lobeck A.K., 1939; Kostenko P.N., 1975).

II.2 ESTRATIGRAFIA

Las rocas que afloran dentro del área fueron emplazadas durante el lapso Cretácico Inferior-Cuaternario.

El Cretácico Inferior consta de una secuencia de rocas sedimentarias de ambiente marino que inicia con clásticos y termina con carbonatos, lo cual refleja un período de transición marina para esa época.

En el Terciario, fué emplazado un cuerpo ígneo plutónico de composición intermedia; posteriormente grandes volúmenes de roca efusiva de composición calcoalcalina con rango bimodal (ácida-básica) fué también emplazada. Las rocas efusivas son en su mayoría riolitas y piroclásticos de composición ácida que alternan con cantidades subordinadas de basalto hacia la cima de la secuencia.

Las relaciones de campo permiten inferir que el paquete de rocas ígneas efusivas pertenece al evento denominado por McDowell F.W. y Clabaugh S.W. (1981): Supergrupo Volcánico Superior, al que se le asigna un rango de edad de 34-27 ma.

Sobre el SVS (supergrupo volcánico superior), yace un conglomero de edad Terciario Superior que cubre la región de --

TABLA ESTRATIGRAFICA

EON	ERATEMA ERA	SISTEMA PERIODO	SERIE EPOCA	PISO EDAD	Millones de años	UNIDAD	ESTRATIGRAFIA				
F A N E R O Z O I C O	M E S O Z O I C O	T E R C I A R I O	Cuaternario	Holoceno			Q(B),	Basaltos Depósitos aluviales, lacustres y de playa de montaña			
				Pleistoceno		1	Q(al, la, cg)				
			Neogeno	Plioceno		4	T(cg)	Conglomerado			
				Mioceno		22					
				Paleogeno	Oligoceno		35	T(B) T(ar) T(r-tal, T(bo)	Basaltos arenos Riolitos, placostilos, etc.		
						Eoceno				54	
			Paleoceno			65	T(Mz)	Monzonita			
					Superior	Maestrichtiano			70		
			M E S O Z O I C O	C R E T A C I C O		Superior	Senoniano	Companioniano	76	Complejo Volcánico Inferior (CVI)	Rocas Sediment. F. Lago de Plata
							Santoniano	82			
	Coniaciano	88									
	Turoniano	94									
	Tardío	Cenomaniano					100				
		Inferior					Superior				
	Medio										
	Inferior					106					
	Aptiano					Superior					
						Inferior	112				
	Barremiano					118					
	Hauteriviano	124									
	Temprano	Valanginiano				Superior					
						Inferior					
		Berriasiense				136	KI (CZ)	F. Aurora			
											F. La Peña
											F. Cupido
											F. Las Vigas
								F. La Mojina			

 Afloramiento ausente o no depósito

 Concordancia

 Discordancia

 Traslape

 Dique

las cuencas y subyace a sedimentos continentales cuaternarios. El último registro de roca ígnea está constituido por basalto del Cuaternario.

Las unidades cartografiadas son cronoestratigráficas, sólo indican que un grupo de rocas corresponde a un cierto intervalo de tiempo. El carácter litológico dominante de cada unidad en regiones específicas, está determinado por claves entre paréntesis; en el caso de que dos tipos dominantes de roca están asociados, se usa la combinación de claves.

A continuación se describen cada una de las claves utilizadas en este trabajo:

Unidades Cronoestratigráficas.

Q	Cuaternario
T	Terciario
K ₁	Cretácico Inferior

Litología Dominante

Depósitos sedimentarios no-litificados:

- (al) suelo aluvial
- (la) suelo lacustre
- (cg) conglomerado
- (ar) arena

Depósitos sedimentarios litificados:

(cz) caliza

(lu-ar) lutita y arenisca interestratificadas

Rocas ígneas intrusivas:

(Mz) monzonita

Rocas ígneas extrusivas:

(b) basalto

(ta) toba ácida

(R-ta) asociación de riolita y piroclásticos ácidos.

La descripción de las unidades cronoestratigráficas es -
presentada desde la más antigua a la más joven, primero las -
rocas sedimentarias y en segundo término las rocas ígneas.

II.2.1 ROCAS SEDIMENTARIAS

II.2.1.(1) Cretácico Inferior

II.2.1.(1a) K_1 (cz). La unidad aflora escasamente en -
dos localidades de toda el área en las sierras La Mojina y La
Tinaja Lisa, comprendiendo a varias formaciones cretácicas: -
La Mojina, Las Vigas, Cupido, La Peña, Aurora y Loma de Plata.
A continuación se describen cada una de ellas.

Formación La Mojina. Esta formación fué descrita por - -

Staehelin P.K. en 1928 y por Pérez M.S. en 1971 (DGG, 1984); está expuesta en la sierra del mismo nombre, en el norte del área.

Se trata de una serie clástica constituida por conglomerado, arenisca conglomerática, cuarcita y lutita hematizada. El conglomerado es polimictico de clastos sobredondeados y angulosos de cuarcita, esquisto, caliza, pedernal y riolita; los tamaños varían en general de 10 a 18 cm, están incluidos en matriz arenosa y cementante calcáreo. Los estratos de la secuencia son desde delgados hasta masivos, el espesor medido por PEMEX (1976) en la porción central de la sierra es de 87 m.

El contacto inferior no se observa, pues está cubierto por suelos y afectado por una falla normal; el superior es transicional con la formación Las Vigas.

Por su posición estratigráfica le ha sido asignada una edad Berriasiano-Valangiano Inferior.

De acuerdo con sus características litológicas, los materiales que la componen fueron depositados en un ambiente nerfítico de litoral, en una costa subsidente.

Formación Las Vigas. Fué definida por Burrows R.H. (1910) en el área de Chorreras, a 82 km al NE de la ciudad de Chihua-

hua. En el área está expuesta en dos localizadas: al noreste de la sierra Las Tunas y en la sierra La Mojina.

Está constituida por una secuencia en que alternan arenisca y lutita calcárea. La arenisca es principalmente arcosa con tamaño de grano fino a medio, de matriz arcillosa y con cementante calcáreo; es de colores pardo, pardo rojizo y pardo verdoso. La lutita calcárea es laminar y de color pardo oscuro. La secuencia está compuesta por estratos delgados; el espesor medido en la porción central de la sierra La Mojina (PEMEX, op. cit.) es de menos de 5 m.

Su contacto inferior es, como ya se ha dicho, concordante y transicional con la formación La Mojina; el superior no es visible.

Por su posición estratigráfica que guarda en otras áreas, ya que no cuenta con fósiles que permitan determinar su edad, varios autores la colocan en el lapso Neocomiano-Aptiano Inferior (Ramírez C. J. y Acevedo C.F., 1957; Navarro G.A. y Tovar R.J., 1974), y más específicamente Valangiano Superior-Barremiano.

El ambiente de depósito de los clásticos corresponde a una zona nerítica de litoral.

Formación Cupido. Fue descrita por Imlay R.W. (1937), co-

mo caliza de color gris en la porción media de la sierra de -
Parras, Coah.

En el área aflora en la sierra La Mojina; está constituida por caliza y algunas intercalaciones de lutita calcárea, es de texturas: wackestone, mudstone y packstone. El contenido -- faunístico está integrado por fragmentos de equinodermos y gasterópodos, ostrácodos, pelecípodos (*griphaea* sp, *ostrea* sp, -- *toucasia* sp), foraminíferos planctónicos y radiolarios. Su color es gris y pardo rojizo, es de estratificación gruesa a masiva, su espesor medido en la porción central de la sierra La Mojina (PEMEX, op. cit.) es del orden de 420 m.

El contacto inferior no es visible debido a la presencia de un sill monzonítico, el superior es concordante con la formación La Peña.

La edad que se le asigna por paleontología y relaciones - estratigráficas, es Barremiano Superior-Aptiano Inferior.

De acuerdo a sus características, el ambiente de depósito que sugiere esta formación es de plataforma.

Formación La Peña. Fué definida en 1936 por Imlay R.W. en el flanco norte de la sierra de Taraises, Coah.; por su parte Humprey W.E. (1949) consideró solamente al miembro superior de la unidad para el nombre que lleva la formación, e incluyó el

subestrato dentro de la formación Cupido.

En el área aflora en la porción central de la sierra La - Mojina; consiste en una alternancia de margá, caliza (de textura mudstone) y calcarenita biógena, contiene fragmentos mal conservados de equinodermos y amonites del género Dufrenoya. - Está dispuesta en estratos medianos y gruesos de color pardo; el espesor medido en la porción central de la sierra La Mojina (PEMEX, op. cit.) es de 20 m.

Sus contactos superior y subyacente son concordantes con las formaciones Aurora y Cupido, respectivamente. La edad que se le asigna a esta formación es Aptiano Superior.

El ambiente de depósito de sus componentes es de aguas - marinas profundas.

Formación Aurora. Fué definida por Burrows R.H. (op. - - cit.) cerca de la mina Aurora en la sierra de Cuchillo Parado, Chih., como caliza con algunas concreciones de pedernal y hie rro. En 1956 Humprey W.E. propuso que el término "caliza auro ra" abarcara a todas las rocas carbonatadas del noreste de Mé xico, que estén entre las formaciones La Peña o equivalentes y Cuesta del Cura o equivalentes.

Aflora en la sierra La Mojina; está constituida por cali za de texturas mudstone y wackestone; contiene pellets, radio

larios, foraminíferos (entre ellos Orbitolina Texana), abundante calcita relleno de fracturas y su color es gris y pardo rojizo. Esta dispuesta en estratos gruesos a masivos; el espesor medido en la porción central de la sierra La Mojina (PE--MEX, op. cit.) es de 30 m.

El contacto inferior es claro y concordante con la formación La Peña, el superior no se observa. La edad que se le asigna es Albiano Inferior-Albiano Medio.

El ambiente inferido es que se depositó esta formación en una plataforma, con aguas relativamente tranquilas y de poca profundidad.

Formación Loma de Plata. Este nombre fue propuesto por Amsburi (1954) a una secuencia de caliza con bandas de pedernal y rudistas silicificados que subyace a la marga Grayson (equivalente a la F. Del Río) y sobreyace a la Formación Benavides, localizada en el cañón Pinto, Texas.

En el área de estudio aflora en la sierra La Tinaja Lisa; está constituida por caliza de textura wackestone y algunos horizontes de lutita calcárea interestratificada. Contiene fósiles de gasterópodos, rudistas, caprinidos, Toucasia sp, lentes de pedernal y nódulos ferruginosos; los estratos son masivos y su color es gris claro y pardo claro.

Sus relaciones estratigráficas con las otras rocas cretácicas no son visibles, pero por correlación se infiere que sobreyace a la formación Benavides, como sucede al oriente del área; su contacto superior es discordante con el SVS (supra) del Oligoceno.

La edad que se le asigna es Albiano Superior, constituyendo la parte alta de la secuencia del Cretácico Inferior.

El ambiente en que se depositó la roca indica una zona nerítica.

II.2.1 (1b) K₁(lu-ar). Esta unidad tiene un sólo afloramiento cartografiable, el cual comprende exclusivamente a la formación Las Vigas, que ya ha sido descrita en el inciso anterior.

II.2.1(2) Terciario Sedimentario,

II.2.1(2a) T(ar). Esta unidad aflora en un área reducida de menos de 5 km², se localiza entre los poblados de Peña Blanca e Independencia, a través de la carretera estatal número 28.

Está compuesta por clásticos de arena de grano grueso y tiene incluidos algunos fragmentos subredondeados del tamaño de grava que provienen de rocas volcánicas. Está dispuesta en

estratos gruesos y masivos de color pardo claro.

Su ambiente de depósito es continental, se le observa relleno de depresiones de un paleorelieve que sobreyace a rocas volcánicas de composición ácida y subyace a basalto. Por sus relaciones estratigráficas, su edad probable es Oligoceno-Mioceno.

II.2.1(2b) T(cg). Esta unidad cubre cerca del 40% del área y está distribuida ampliamente en toda ella en los valles y al pie de las sierras; está formada principalmente por abanicos aluviales.

Consta de una mezcla heterogénea de clásticos con diversos tamaños que en ocasiones forman pseudoestratos de espesor variado, lentes arenosos, estructuras laminares de carbonatos y acumulaciones masivas, todos de color pardo. Los fragmentos constituyentes son de limos, arena, grava, cantos y bloques; varían todos de angulosos a redondeados, están incluidos en una matriz arcillo-limosa y ocasionalmente cementados por carbonato de calcio y óxidos de hierro. Proviene de rocas preexistentes como: riolita, toba ácida, basalto y localmente de caliza.

Su ambiente de depósito es continental, en algunas localidades se le encuentra intercalada con basaltos en el subsuelo,

observable en cortes litológicos de pozos para agua (Buenaventura, Alta Bavicora).

Por la posición estratigráfica que ocupan se les asignó una edad con rango de variación Oligoceno-Plioceno.

II.2.1(3) Cuaternario Sedimentario

II.2.1(3a) Q(cg). La unidad está constituida por cuerpos de conglomerado con fragmentos de diversos tamaños; forma abanicos aluviales al pie de la sierra La Catarina (en su porción norte) y en el oriente del área.

Los fragmentos son del tamaño de arena hasta cantos rodados, provienen de rocas ígneas efusivas ácidas y básicas, los cuales está incluidos en matriz areno arcillosa y ligeramente cementados por carbonatos.

Es de origen continental, se le encuentra cubriendo a rocas ígneas extrusivas terciarias y a conglomerado terciario; por lo que se le asignó edad del Cuaternario.

II.2.1.(3b) Q(al). Constituye el depósito cuaternario con mayor distribución en el área y está compuesto por una mezcla heterogénea de grava, arena y arcilla, además de algunos lentes y capas laminares de arcilla y arena arcillosa.

Los clastos son redondeados y subredondeados, presentan -

generalmente buena selección, están incluidos en una matriz arcillosa o arcillo-arenosa y en algunos sitios presenta cementante calcáreo; su color varía de amarillento a pardo rojizo.

Sobreyace en forma irregular a las rocas que le dieron origen, ocupando regiones topográficamente bajas o depresiones intermontanas.

II.3.1.(3c) Q(1a). La unidad está constituida por depósitos acumulados en cuencas endorréicas; está expuesta en la Alta Bavicora y al norte de ésta.

Los agregados son acumulaciones de arcilla y limo que alternan con arena de grano fino a medio y contienen diversas cantidades de grava; en algunos sitios presenta estratificación gradada y delgados horizontes de carbonatos, presentando un color que varía de crema a pardo rojizo.

Constituye depósitos en planicies de inundación de pequeños lagos con tirante de agua somero y de régimen intermitente.

II.2.2. ROCAS IGNEAS

II.2.2(1) Terciario Igneo

II.2.2(1a) T(M₂). La unidad aflora hacia el NW del poblado de Buenaventura; está constituida por Monzonita que pre-

senta como minerales accesorios algunos piroxenos y como secundarios: tremolita, antigorita, clorita y epidota. La textura es holocristalina porfídica y es de color verde en muestras de roca inalterada o pardo claro afectada por el intemperismo.

Las relaciones estratigráficas permiten inferir que la unidad fue emplazada con anterioridad a las rocas efusivas del SVS que le sobreyacen, y que pudieran ser correlacionables con rocas del denominado Complejo Volcánico Inferior de la Sierra Madre Occidental, que abarca un rango de edad de 100-45 ma. (Cretácico Superior-Eoceno) y que contiene abundantes rocas batolíticas ácidas e intermedias y volcánicas de composición intermedia principalmente (McDowell and Clabaugh, op. cit.); además de que puede ser relacionado con la migración batolítica en dirección W-e desde las costas de Sonora hacia Chihuahua (Anderson T.H. and Silver Leon T., 1974).

II.2.2. (lb/ T(R-ta). La unidad está formada por rocas ígneas extrusivas de composición ácida principalmente, y en menor proporción por rocas de composición básica y mínimas de intermedia, constituyendo una alternancia de derrames lávicos y de productos piroclásticos que está expuesta en la mayoría de todas las sierras que ocupan el área.

Los productos piroclásticos son ignimbritas, tobas ví-

treas y tobas líticas de riolita, cuyas texturas comunes son: merocristalina y porfídica, en matriz hialopelítica. Presentan desvitrificación y en ocasiones una parcial hematización; sus estructuras son variadas, predominan los tipos brechoide, fluidal, pseudoestratificación, amígdalas rellenas de calcedonia y vetillas de cuarzo. El color en roca inalterada es rosa claro y oscuro, y cambia a pardo por efecto del intemperismo.

Las riolitas, por su parte, exhiben como minerales accesorios hematita y magnetita, su textura es holocristalina porfídica y poseen muy desarrollado el proceso de hematización. Su estructura es fluidal o de bloques, presentan fracturamiento variable de escaso a intenso y su color es rosa oscuro en la roca inalterada, cambiando pardo oscuro por efecto del intemperismo.

La unidad tiene la mayor distribución de entre todas las cartografiadas, constituye sierras con varias decenas de Km de longitud y de hasta 30 km de ancho, como por ejemplo en la mesa San Juan; los mayores afloramientos están en las sierras; Los Arados, El Pajarito, El Espinazo del Diablo, La Tinaja Lisa, La Estancia, La Varillera, El Nido, La Catarina, Las Tunas, La Cebadilla, Tres Picachos, Rosabari, La Raspadura y Manzanillas; tiene un fracturamiento variable.

Sobreyace en discordancia a rocas anteriores al Oligoce-

no (rocas sedimentarias cretácicas e intrusivas terciarias), y subyace en igual modo a basalto cuaternario. Es correlacionable con rocas del SVS oligocénicas.

II.2.2.(1c) T(ta). La unidad está constituida por una secuencia de emisiones piroclásticas de composición ácida, expuesta principalmente en todo el norte del área, como en la sierras: Cristo, Las Tinajitas, El Chivo y al SW de la Tinajita Lisa.

Está compuesta por ignimbritas y tobas (riolíticas, cristalinas, vítreas y brechoides), con algunas intercalaciones de riolita y brechas de composición ácida. El mineral accesorio típico en estas rocas es la hematita, presentan por lo común textura holocristalina porfídica, holocristalina y merocrystalina, con matriz hialopelítica; su fracturamiento varía de escaso a intenso.

Las relaciones estratigráficas que guarda esta unidad son idénticas a las que tiene la asociación (R-ta); sobreyace en discordancia a rocas pre-oligocénicas y subyace de igual modo a basalto cuaternario. Es correlacionable con las rocas del evento SVS.

II.2.2(1d) T(B). La unidad está constituida exclusivamente por basalto y formando mesetas generalmente de pequeñas di

mensiones repartidas en toda el área; los mayores afloramientos se localizan en los alrededores del río Santa Clara en su porción sur.

Los minerales accesorios del basalto son olivino, (alterado a iddingsita), hematita y magnetita, con textura holocristalina intergranular, es de color gris oscuro y cambia a pardo oscuro por efecto del intemperismo; por lo general su fracturamiento es moderado.

Tiene estructura vesicular, en algunas localidades se le encuentra intercalada con riolitas principalmente hacia la cima del paquete del SVS, también con conglomerados terciarios; sobreyace además, a la unidad T(ar).

Por las relaciones estratigráficas que exhibe ésta unidad, es correlacionable también con el evento del SVS en su parte alta.

II.2.2(1a) Q(B). La unidad está expuesta principalmente hacia el oeste del poblado de Zaragoza y está constituida exclusivamente por basalto.

La roca tiene como minerales accesorios olivino (frecuentemente alterado a iddingsita), hematita y magnetita, es de textura holocristalina porfídica y de matriz intergranular; su

color es gris oscuro y cambia a pardo rojizo por efecto del intemperismo.

Los derrames son de estructura vescicular y el fracturamiento es moderado, forman lomeríos y mesetas que sobreyacen a las rocas extrusivas correlacionables con el evento SVS y a los conglomerados del Terciario, previamente descritos. Por sus relaciones estratigráficas que exhibe esta unidad respecto a las demás rocas, se le asigna una edad del Cuaternario, y constituyen el último evento ígneo ocurrido en el área.

II.3 TECTONICA-GEOLOGIA HISTORICA

La historia tectónica del área desde la época en que fue emplazada la roca más antigua que aflora en la superficie, comienza en el Cretácico inferior; lo escaso y aislado de esos afloramientos cretácicos no permite elaborar una reconstrucción válida de los eventos ocurridos en esa época; para ello, es necesario asumir un enfoque mas regional para que esto sea factible.

Una cantidad apreciable de investigadores en diversos años que ha estudiado la geología del norte de México, coincide en su explicación sobre los sucesos ocurridos a partir del Cretácico Inferior en la región.

Así planteado, el Cretácico Inferior es una época en la que gran parte del estado de Chihuahua constituyó una porción de la paleocuenca denominada Geosinclinal Mexicano, que en su extremo norte recibe el nombre de Cuenca Chihuahuense (Alvarez Jr. Manuel, 1958) o también el de Chihuahua Trough (DeFord -- K.R., 1969). Esta cuenca formaba parte de un marco tectónico constituido por: a) un dominio Pacífico occidental con una zona paleo-oceánica que se hundía debajo del continente y un arco insular en el borde continental; b) un dominio marino -- oriental en el que estaba individualizada la Cuenca de Chihuahua; c) un elemento positivo entre los dos dominios marinos,

denominado Plataforma de Aldama o Dominio Occidental Emergido; y d) al NE de la Cuenca de Chihuahua otro elemento positivo denominado Plataforma del Diablo (figura 4).

Para esa época, la Cuenca Chihuahuense transgredía sus límites en el oeste sobre la Plataforma de Aldama, originando una secuencia sedimentaria constituida por evaporitas en la base y seguidas por material clástico, para coronar la secuencia con rocas carbonatadas (Tardy M., 1977; DeFord op. cit.; Gries C.J. and Haengi T.W., 1970).

El área de estudio está localizada en una zona de transición entre la Plataforma de Almada y la Cuenca Chihuahuense; las rocas cretácicas que ahí se encuentran, muestran una secuencia transgresiva acorde a lo planteado, en donde la base es conglomerado seguido por areniscas y lutitas para coronar con caliza (formaciones: La Mojina, Las Vigas, Cupido, Peña, Aurora y Loma de Plata).

Al mismo tiempo en que ocurría la transgresión la cuenca se volvía paulatinamente más profunda y su eje de convección migraba hacia el NE, causando con ello que el espesor de los sedimentos aumentará de SW a NE. En el Cretácico Superior, un evento ígneo de rocas extrusivas e intrusivas de composición principalmente intermedia, era emplazada en la plataforma de Aldama; a esas rocas se les conoce como Complejo Volcánico Inferior (CVI) y fueron emplazadas hace 100-45 ma. La composi--

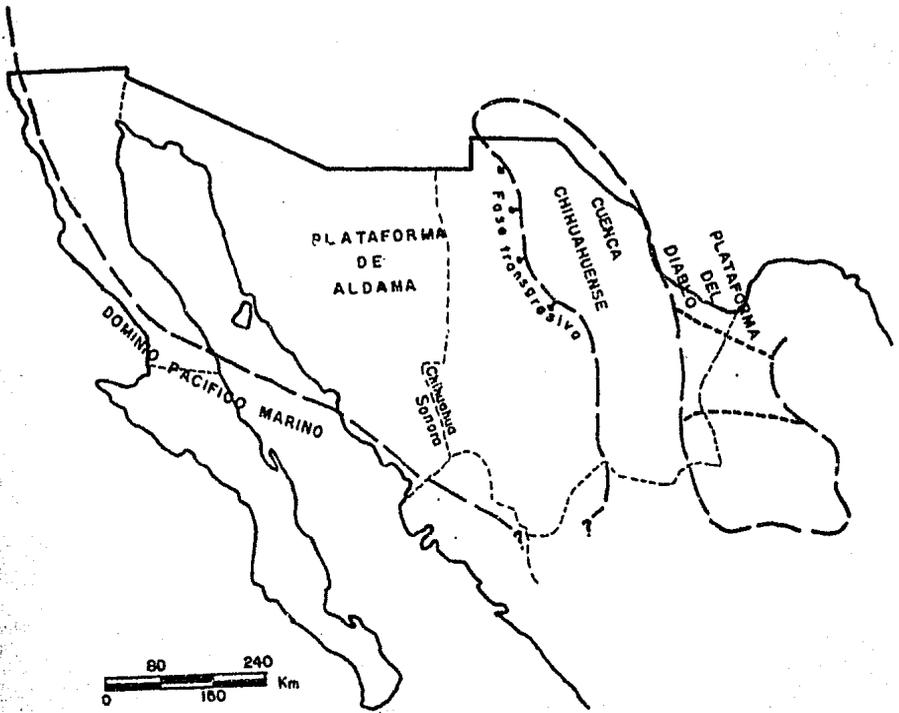


Figura 4: Marco tectónico del Cretácico (según: Rangin C., Hoanggi W.T. et al. 1976, 1977)

ción intermedia de esas rocas sugiere un ambiente de arco insular o de margen continental, que diversos investigadores -- han relacionado con el fenómeno de subducción de la paleo-placa Farallón debajo de la Americana y un subsecuente choque y acreción del arco insular con el continente (Demant A. y Robin C., 1975; Atwater Tanya, 1970; Tardi, op. cit.; Gastil G. et. al., 1978).

Del mismo modo en que el eje de convección de la cuenca -- migraba, la actividad plutónica del CIV también lo hizo progresivamente hacia el este, desde el margen pacífico de la Plataforma de Aldama hasta alcanzar el borde occidental de la cuenca Chihuahuense (evidenciado por dataciones radiométricas efectuadas en el oeste de Baja California y en Sonora, Chihuahua y Sinaloa, en su porción que corresponde a la Sierra Madre Occidental; por Anderson and Silver, op. cit.); mientras tanto, la composición de los intrusivos variaba paulatinamente de granito a monzonita. El único registro de este evento dentro del -- área es el intrusivo monzonítico de Cerro Grande (supra, II.2. 2 (1a)).

Durante el lapso Cretácico Tardío-Eoceno, se llevó a cabo un período de levantamiento, deformación e intensa erosión en el norte de México, que es conocido como orogenia Laramide. -- Dicha actividad tectónica tiene inicio en la plataforma de Aldama y migra con dirección SW-NE alcanzando a la cuenca Chihuahuense e inclinándola; lo cual propicia un plano de deslizamiento

(décollement) a través de la secuencia evaporítica y ocasiona que resbale la roca cretácica suprayacente hacia el este (DeFord, op. cit.; Gries and Haenggi, op. cit.). Con ello se - - crea un plegamiento complejo, fallas de empuje imbricadas y - diapirismo hacia el NE; mientras que en el SW, donde queda el área, la deformación tectónica es menos compleja en ese sentido.

El levantamiento continuó hasta que la cuenca emergió totalmente y la orogenia iba perdiendo fuerza, al mismo tiempo que la actividad magmática disminuía bruscamente hace 45 ma., la cual es concordante según Coney P.J. (McDowell and Clabaugh, op. cit.) con el fin de tectonismo terciario en el NW de México y coincide aproximadamente con la reconstrucción del movimiento de placas para hace 40 ma.

Con la disminución de la actividad magmática, el evento - en el que se formaron las rocas del CVI termina y da paso a un hiatus que duró aproximadamente 11 ma. durante el lapso - - - 45-34 ma. (Eoceno Medio). Durante esa época, la interacción en tre las placas Farallón y Americana pudo haber disminuido, haber tenido una pausa y/o un cambio relacionado con la sumersión o buzamiento de la placa oceánica. Un estudio minucioso - sobre la subducción, relacionado con la historia magmática de la región, podría poner en evidencia alguna alternativa.

Posteriormente, la topografía adquirida durante el hiatus

mencionado fue rápidamente cubierta bajo extensos derrames de lava y piroclásticos de composición calco-alcalina con rango bimodal, al resurgir la actividad magmática en la Sierra Madre Occidental hace 34 ma. que se prolongó hasta hace 27 ma. (Oligoceno). A las rocas que son producto de este nuevo evento ígneo se les denomina Super Grupo Volcánico Superior (SVS, supra: Cap. II.2); su culminación puede ser relacionada al cese de la subducción de la placa oceánica debajo de la Americana - (Atwater, op. cit.).

Cuando el proceso de subducción fue consumado la actividad compresiva hizo otro tanto, ocurriendo en consecuencia una etapa de liberación de esfuerzos (distensión: fase tafrogénica) íntimamente relacionada con la actual morfología de sierras y cuencas que le es característica, debido al desarrollo de fracturas y de fallas normales.

La etapa descrita, propició la acumulación de gruesos paquetes de sedimentos continentales en las fosas tectónicas que rápidamente cubrieron a las rocas del SVS o mas anteriores, en dichas áreas.

Finalmente, una pequeña emisión de roca basáltica fué emplazada en el Cuaternario, mientras que se desarrollan hasta la fecha depósitos aluviales y lacustres.

II.4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras más comunes en el área son las coladas, - muchas veces intercaladas con piroclásticos, los aparatos volcánicos y algunas calderas; dichas estructuras están constituidas por lavas, tobas e ignimbritas, además de rocas sedimentarias marinas del Cretácico plegadas y afectadas por fallas, un domo intrusivo y de acumulaciones diversas de clásticos continentales terciarios que rellenan depresiones. En toda ella hay un sistema complejo de fallas y fracturas.

Las coladas y piroclásticos asociados son las más abundantes y superan en mucho a los aparatos volcánicos, debido a la composición ácida predominante en la secuencia de las rocas -- del SVS; ya que las lavas ácidas son muy viscosas y contienen abundancia de volátiles, siendo sus estructuras mas comunes -- los domos y los pitones, además de venir acompañados por una - intensa actividad explosiva. Dentro de esas coladas, son distinguibles los mantos lávicos de dimensiones horizontales casi coextensas y de poco espesor, constituidos por roca basáltica que forma mesetas.

Los aparatos volcánicos son aislados; únicamente llegan a constituir un "campo de volcanes" en el norte de la sierra Las Tunas.

Las calderas son escasas, por lo general sus diámetros son menores de 5 km y se encuentran íntimamente asociadas a ignimbritas.

Las rocas sedimentarias marinas del Cretácico no muestran plegamiento intenso; en donde mejor se observan es en la sierra Ls Mojina, donde están inclinadas con echado menor de 40° y se encuentran afectadas por una gran falla normal que buza hacia el NE y orientada NW-SE, constituyendo un monoclinal buzante hacia el SW.

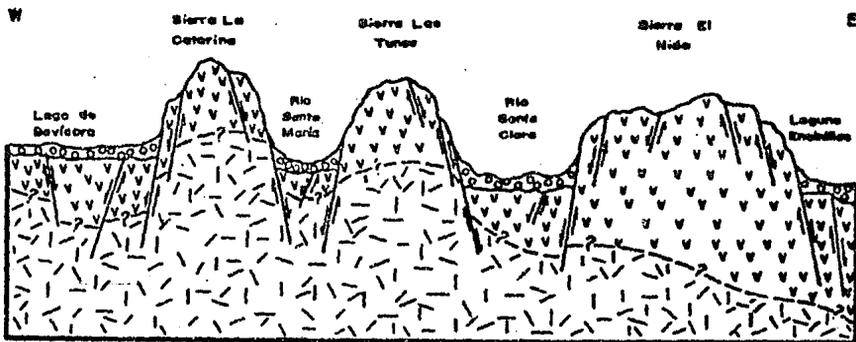
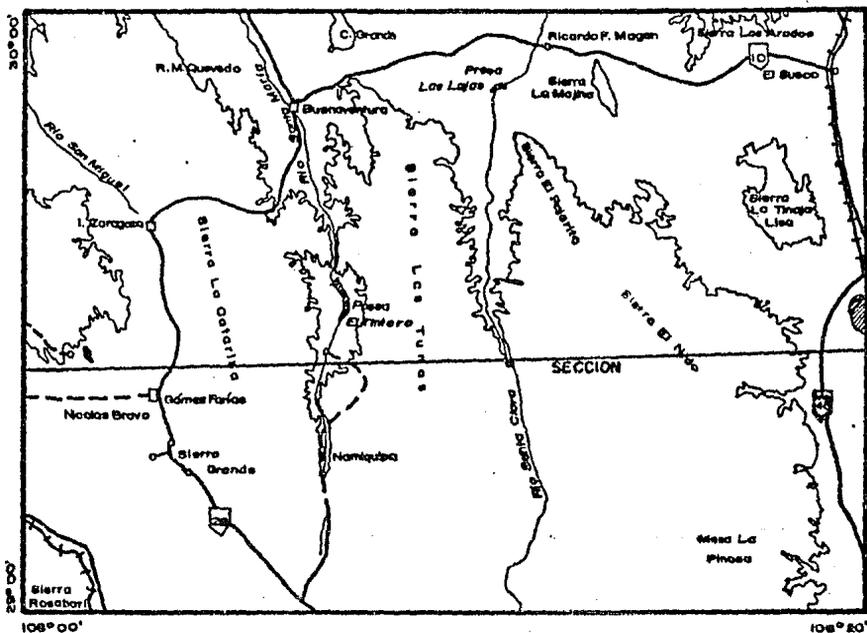
El cuerpo intrusivo de Cerro Grande es un domo, existen además numerosos diques que afectan a diversas rocas en el área.

Por otra parte, las rocas han sido afectadas por dos eventos tectónicos: uno de carácter compresivo el cual provocó que emigraran y se plegaran las rocas sedimentarias cretácicas, y otro de carácter distensivo propiciando un sistema complejo de fracturas y fallas normales que afecta de alguna manera a todas las rocas. Varias de esas fallas normales, constituyen sistemas que han creado fosas y pilares tectónicos (horst y graben) con orientaciones regionales N-S y NW-SE, (figura 5).

Por su parte, el sistema de fracturamiento regional tiene dos rumbos principales NW-SE y NE-SW, y menos profuso el N-S. Varía de incipiente a intenso y se encuentra menor expuesto --

en el sur del área.

La estructura con forma elíptica denominada GEC (supra: caps. 2.1 y 2.2), constituye una gran meseta que es prolongación de la de la Sierra Madre Occidental, con una altura promedio de 2000-2500 msnm. y de 400-500 m respecto a los valles externos del norte y noreste de ella. Entre sus flancos oeste y este, o sea los valles de Bavicora y de Encinillas respectivamente, hay una diferencia de nivel de 700 m aproximadamente.



-  Conglomerado
-  Supergrupo Volcánico Superior
-  Complejo Volcánico Inferior

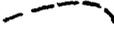
-  Contacto Intrusivo.
-  Falla Normal

Fig.5 Sección estructural esquemática entre el lago de Baviscora y el de Encinillas.

C A P I T U L O I I I

H I D R O L O G I A S U P E R F I C I A L

III.1 HIDROLOGIA

III.1.1 CUENCAS Y SUBCUENCAS. Se ha elaborado una división de cuencas y subcuencas, con el fin de delimitar, las áreas individuales de escurrimiento superficial para poder trabajar con el área localmente por zonas. Esta división concuerda con la elaborada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH-2, 1976) y utiliza las mismas claves, pero el detalle cartográfico logrado en este trabajo es mucho más alto.

De esta manera, el área queda comprendida dentro de dos "regiones hidrológicas", cuya subdivisión suma seis cuencas y catorce subcuencas, las cuales están relacionadas entre sí como se muestra en la tabla número 1. Sus límites geográficos -- pueden observarse en el plano geohidrológico.

III.1.2 HIDROGRAFIA. La red hidrográfica puede dividirse en integrada y desintegrada, está compuesta principalmente por corrientes de tipo intermitente y algunas otras de tipo perenne, pues el escurrimiento superficial es bajo y la mayor -- parte del área contiene una lámina menor de 10 mm.

La red hidrográfica desintegrada está compuesta por gran parte de las corrientes de tipo intermitente, las cuales por lo general nacen en las sierras llegándose a sumar algunas en-

TABLA I

REGION HIDROLOGICA	CUENCA	SUBCUENCA	
R.H. 34 CUENCAS CERRADAS DEL NORTE (CASAS GRANDES) (17 422)	cve. A Arroyo El Carrizo y otros (2606)	cve. d Laguna Tarabillas (456)	
		cve. e Laguna del Cuervo (350)	
		cve. f Laguna Encinillas (1800)	
	cve. B Río del Carmen (6 742)	cve. c Laguna del Carmen (2474)	
		cve. d Preso Las Lajas (34)	
		cve. e Río Santa Clara (1234)	
	cve. C Río Santa María (4 775)	cve. b Río Santa María-Galeano (1818)	
		cve. c Preso El Tintero (344)	
		cve. d Río Santa María-Namiquipa (2198)	
		cve. e Laguna la Vieja (415)	
	cve. D Río Casas Grandes (3 295)	cve. c Río Palanganas (1832)	
		cve. d Laguna de Bavícora (1463)	
	cve. E Laguna Bustillos y de los Mexicanos -(4)	cve. a Laguna Bustillos (4)	
	R.H. 9 SONORA SUR (683)	cve. B Río Yaqui (683)	cve. a Río Papigochic o Haros (683)

Nota: cve.=clave de S.A.R.H.; el número entre parentesis indica el área en Km².

tre sí para desaparecer más abajo en los valles, como por ejemplo: al oeste los arroyos El Cuatrocientos, La Casita y El Jaral; al norte los arroyos El Refugio, Los Enamorados, Los Ojitos y El Yerbanís; al este los arroyos La Amalias, Los Terremos, La Campana y El papurrín; por su parte en el sur es donde mejor se encuentra integrado.

La red hidrográfica integrada está compuesta por algunas corrientes intermitentes que drenan hacia las lagunas de Bavícora y Encinillas y hacia otras que son perennes, cuyos escurremientos son hacia el norte y corresponden a los ríos: San Miguel, Santa María y Santa Clara.

El río San Miguel nace en la sierra La Cebadilla y su curso sigue una dirección NW; sus tributarios principalmente son los arroyos La Estancia y El Borrego. El río Santa María nace al NW de Ciudad Cuauhtémoc y el curso de su cauce es hacia el norte; sus tributarios principales son los arroyos: El Oso, Raspadura, Santa Gertrudis, Cebadilla, Escobón, Los Matones, Peñitas, El Vallecillo y otros. El río Santa Clara, por su parte, nace de la conjunción de los arroyos Los Tepehuanes, El Concheño y La Florida y el curso de su cauce es hacia el norte, cambiando su nombre aguas abajo de la presa Las Lajas Río del Carmen; sus tributarios son los arroyos: La Cristalina, Los Lagartos, El Pino, Palomino, El Mesteño, Las Tunas Mileñas, El Infierno, El Cochino y otros.

III.1.3. ESTACIONES HIDROMETRICAS. Existen en el área - cuatro estaciones hidrométricas; tres sobre el río Santa María y una sobre el río Santa Clara. En las del río Santa María dos de ellas están suspendidas, por lo que actualmente solo opera una para cada río; su ubicación se muestra en el plano geohidrológico. Por su parte, la tabla 2 muestra los datos generales de cada una de ellas.

III.1.4. EMBALSES SUPERFICIALES. Los embalses de agua superficial en el área pueden ser clasificados en dos tipos: naturales y artificiales.

Embalses Naturales. De este tipo, son las depresiones naturales que contienen agua perene o intermitente sin que haya intervenido el hombre para que éstos existan. Los más importantes son la Laguna de Encinillas con régimen perenne y la de Bavicora con régimen intermitente, ambas constituyendo cuencas cerradas.

Embalses Artificiales. De este tipo, son las acumulaciones de agua en las que ha intervenido el hombre para que existan; los más notables son las presas El Tintero y Las Lajas, - construídas para fines agrícolas.

La presa El Tintero, se encuentra sobre el río Santa María, tiene capacidad para almacenar 130 millones de m³ de agua y permite el riego junto con pozos profundos de 7 718 hectáreas

TABLA # 2

Datos Generales de las Estaciones
Hidrométricas.

NUM. ESTACIÓN	CORRIENTE	AREA DE LA CUENCA (Km ²)	VOLUMEN MEDIO ANUAL millones de m ³	GASTO MEDIO ANUAL m ³ /seg	GASTOS EXTREMOS		PERIODO	OBSERVACIONES
					MAX.	MIN.		
1	La Traspulla Rfo del Carmen	4154	78.494	2.486	383.0	0.300	1952-1969	esc, mol, lim
2	La Plazuela' Rfo Santa Marfa	3981	80.257	2.545	160.0	0.033	1928-1934	esc, mol, lim
3	El Tintero II Rfo Santa Marfa	3966	47,065	1.492	13.3	0.0	1949-1969	esc, mol
4	El Tintero' Rfo Santa Marfa	3966	60.129	1.907	102.0	0.0	1929-1948	esc, mol, lim

Nota: (') = estación suspendida, esc=escala, mol=molinete, lim=limnógrafo, dependencia=SAFH

en el distrito de riego de Buenaventura, consumiendo un volú--
men de 54 y 12 millones de m³, respectivamente.

La presa Las Lajas se encuentra sobre el río Santa Clara, tiene capacidad para almacenar 90 millones de m³ de agua y per--
mite el riego junto con pozos profundos de 13 454 hectáreas en el distrito de riego de El Carmen, utilizando un volumen anual de 35 y 45 millones de m³, respectivamente.

Otro tipo de embalses artificiales, que son mucho más pe--
queños, son los llamados bordos, los cuales son generalmente -
de régimen intermitente y son utilizados por lo común como - -
abrevaderos para ganado; aunque en ocasiones su uso también se
vuelve doméstico. Son numerosos y se encuentran diseminados --
por toda el área, en los lugares donde por lo general, hay de--
presiones naturales que son acondicionadas. Por otra parte, la
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, tiene en pro--
yecto la construcción de dos presas que quedarían ubicadas en
el área de la siguiente manera: en el oriente la presa Los - -
Sauces con capacidad programada de 7 millones de m³ para bene--
ficiar 600 hectáreas de riego, ubicada en el arroyo Santa Cla--
ra entre la sierra Los Fresnos y el cerro Guardaganado; al po--
niente la presa Junta de los Arroyos con capacidad programada
de 8 millones de m³ para beneficiar 1248 hectáreas de riego, -
localizada sobre el arroyo La Estancia, cerca del poblado de -
Zaragoza.

III.2 CLIMATOLOGIA

La precipitación y la temperatura media anuales varían de acuerdo con la elevación del terreno: en las regiones más bajas se tiene un régimen de altura de lluvia de 250 mm y temperatura promedio de 18°C; mientras que en las más altas el régimen tiene una altura de lluvia de 600mm y temperatura promedio de 9°C. La evaporación potencial tiene un promedio de 2300 mm.

El régimen de lluvias está ligado a las tormentas tropicales que se originan en los océanos Pacífico y Atlántico, que ocurren durante los meses de Mayo a Noviembre. Cuando alguna de esas tormentas llega a extender su influencia más allá de la zona costera en el continente, las regiones semidesérticas como lo es el área de estudio, son beneficiadas con lluvia. Durante el mes de Octubre, la lluvia también es inducida por vientos alisos cargados de humedad. Durante la temporada invernal caen algunas lluvias, nevadas y heladas; al concluir, la etapa de deshielo aporta también agua.

III.2.1 ESTACIONES CLIMATOLOGICAS. Existen un total de 25 estaciones climatológicas, de las cuales 6 están consideradas fuera de servicio y las 19 restantes están en operación, como se muestra en la tabla 3; su ubicación puede observarse en el plano geohidrológico.

Tabla: 3

RESUMEN DE DATOS GENERALES DE LAS ESTACIONES

NUM.	ESTACION	TEM. MEDIA ANUAL (°C)	P R E C I P I T A C I O N (mm)			AÑOS CON DATOS	DEPEN DENCIA
			MEDIA ANUAL	MAXIMA ANUAL-AÑO	MINIMA ANUAL-AÑO		
1	Ricardo Flores Magón	17.57	204.95	445.5-1959	107.9-1959	11	SARH*
2	El Sueco	14.98	343.06	812.5-1959	155.9-1959	21	U.G.
3	La Caballada	15.67	271.79	536.5-1972	90.5-1964	13	SARH*
4	Las Lajas (Ricardo F. Magón)	17.40	311.90	473.3-1974	163.1-1973	9	SARH
5	Presa Las Lajas	18.17	317.05	468.1-1974	208.2-1973	6	SARH
6	San Buenaventura**	17.16	380.11	589.0-1931	250.4-1984	19	SARH*
7	Buenaventura	16.40	327.56	498.0-1972	232.5-1971	9	SARH*
8	Gallegos	15.01	329.01	512.0-1972	154.5-1956	21	SARH*
9	La Chicharra**	17.32	299.93	383.7-1963	212.7-1969	9	SARH*
10	Las Varas	17.24	297.88	466.0-1958	96.8-1956	19	SARH*
11	La Trasquilla	16.61	329.79	643.0-1972	192.4-1971	19	SARH
12	La Esperanza**	17.23	328.84	516.0-1968	246.9-1964	7	SARH*
13	Ignacio Zaragoza	11.30	405.98	609.6-1972	306.0-1974	6	SARH*
14	Juan Largo**	16.70	290.92	371.0-1970	202.5-2964	9	SARH*
15	El Tintero	15.56	338.21	540.9-1972	175.1-1956	27	SARH
16	Cañón del Alamo	13.00	461.75	952.5-1972	282.5-1964	12	SARH*
17	Cruces	14.91	362.34	479.5-1972	260.5-1973	9	SARH*
18	Gómez Farcías	10.80	507.10	640.4-1974	410.9-1971	5	SARH*
19	Santa Clara**	12.11	111.64	604.5-1958	250.0-1969	13	SARH*
20	San José Bavicoora	11.86	552.18	927.0-1966	302.4-1964	23	SARH*
21	Naniquipa	14.12	443.41	698.0-1941	296.5-1989	33	SARH*
22	La Campana**	16.33	335.00	548.3-1958	201.5-1964	17	SARH*
23	El Terrero	14.09	453.55	591.0-1958	256.5-1969	12	SARH*
24	Yepómara	11.81	529.53	823.0-1967	317.0-1964	10	SARH*
25	Col. Soto Maynes	13.92	483.17	736.7-1972	292.8-1973	4	SARH*

* Operadas por el servicio Meteorológico Nacional

** Fuera de Servicio.

III.3 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

Los beneficios del agua superficial son recibidos por los habitantes del área en forma desequilibrada, ya que las corrientes perennes son pocas y su uso está restringido a los asentamientos humanos cercanos a las riberas de esos ríos, o aguas abajo de las presas que actualmente operan, beneficiando a menos de 15,000 hectáreas que representa a menos del 1% del área de estudio.

Por su parte, los manantiales son en consecuencia de vital importancia: pero éstos no son abundantes y su localización es caótica. Además, puede decirse que la mayoría de ellos no cuentan con obras de captación y que sus gastos son pobres.

Por tales motivos, más del 80% del área no disfruta de agua superficial a lo largo de todo el año; los asentamientos humanos en toda esta gran extensión captan agua superficial recorriendo a diversos medios como el transportarla en recipientes de diversos tamaños, desde donde existe hasta los lugares de consumo. La otra opción es alumbrar agua subterránea por medio de norias y pozos, pero ambos tipos no tienen una distribución capaz de atender a las necesidades de toda la población.

Lo anterior pone en evidencia que: a) el agua superficial

es insuficiente para las necesidades actuales y futuras de la región y que está mal distribuída; b) son necesarios más embalses sobre las corrientes perennes y sobre las intermitentes -- más importantes. Ahora bien, no con ello suficiente, se vuelve necesario e impostergable la cuantificación de los recursos de agua subterránea y también su alumbramiento en forma organizada, como primera fase a todos los lugares que adolezcan del líquido, en forma parcial o total. Eso en primera instancia, para después promover el desarrollo en los sitios donde aún no hay asentamientos humanos o desarrollos agropecuarios.

CAPITULO IV
GEOHIDROLOGIA

IV.1 ANTECEDENTES

En años recientes se han venido incrementando los estudios geohidrológicos en el estado de Chihuahua, por lo cual se espera que en un futuro cercano la población del estado cuente con agua subterránea suficiente para satisfacer sus necesidades, principalmente en lo que corresponde a su vasta región semidesértica.

La información que dichos estudios geohidrológicos muestran, representa un potencial de gran valor para evaluar condiciones similares para la zona de estudio en lo respectivo a litología, estratigrafía, geología histórica, tectónica, geomorfología y funcionamiento geohidrológico.

La evaluación efectuada, fué llevada a cabo con estudios localizados en lugares distantes, cercanos e internos al área de trabajo, como en: Samalayuca, Hidalgo del Parral, Coyame-Ojinaga, Janos, Janos-Ascensión, norte del Estado, Buenaventura y Alta Bavicora; además de correlaciones en los estados de Coahuila y Nuevo León en algunas de las rocas cretácicas.

A continuación, se presentan las características geohidrológicas de aquellas unidades geohidrológicas que son cronoequivalentes a las que afloran dentro del área.

IV.1.1 FORMACIONES LAS VIGAS. Aflora abundantemente al este del área en lo que corresponde propiamente a la Cuenca -- Chihuahuense (supra: Cap. II.3), ahí es descrita como roca impermeable que funciona como barrera geohidrológica debido a su composición arcillosa (SARH-6, 1980).

IV.1.2 FORMACION CUPIDO. Esta formación, se ha constituido por lo general como un buen acuífero debido a su gran solubilidad que le confiere permeabilidad alta, como lo han demostrado manantiales y pozos (Morán Z.D. et. al., 1976; Barragán H.J., et. al., 1982; y otros).

IV.1.3 FORMACION LA PEÑA. Esta formación ha sido reportada como barrera geohidrológica; pero localmente el fracturamiento intenso le puede llegar a conferir características de roca transmisora con baja permeabilidad (acuitardo).

IV.1.4 FORMACION AURORA. Esta formación presenta generalmente disolución que le permite, al igual que a la Cupido, tener un importante potencial como acuífero.

IV.1.5 FORMACION LOMA DE PLATA. En los trabajos al --

oriente del área, existen reportados manantiales que nacen de esta formación, habiendo sido catalogada como permeable, en -- función del grado de su fracturamiento y de su carsticidad -- (SARH-6, op. cit.).

IV.1.6 ROCAS INTRUSIVAS DEL Terciario inferior. Se ha determinado que estas rocas cristalinas tienen un fracturamiento incipiente y somero, razón por la cual su permeabilidad es baja y funcionan como barreras impermeables al flujo del agua (SARH-5, 1980; SARH-6, op. cit.; SAHOP, 1981; Silva M.S., - - 1980).

IV.1.7 SUPERGRUPO VOLCANICO SUPERIOR (SVS). Las rocas de esta unidad tienen comportamientos geohidrológicos particulares a nivel local, que dependen fundamentalmente de su grado, relación y profundidad en el fracturamiento. Los trabajos investigados exponen que por lo regular las rocas de esta unidad no funcionan como acuífero, que pueden llegar a funcionar como roca transmisora en zonas de recarga, o bien una barrera impermeable; siempre en función del grado de su fracturamiento.

Cerca de Janos, en algunos sitios se encuentran en el subsuelo riolitas que forman acuíferos en conjunto con basaltos y sedimentos continentales terciarios, son de tipo semiconfinado

do y llegan a presentar en ocasiones artesianismo (SARH: pozos PCGO-12 y PCGO-1).

IV.1.8 CONGLOMERADOS TERCIARIOS. Estos depósitos muestran un comportamiento geohidrológico variable, pues, aunque se pueden catalogar en general como permeables, ésta característica se ve afectada fundamentalmente por: el contenido de arcilla, su clasificación granulométrica, el grado de compactación y la cantidad de cementante (si está presente), entre otras. Un ejemplo de su permeabilidad baja sucede en Hidalgo del Parral, donde funciona como acuífugo y localmente como acuitardo, pero no como acuífero (SAHOP, op. cit.).

En este material han sido encontrados diversos espesores: 2,000 m cerca de Villa Ahumada (pozo Lucero 1, PEMEX), 910 m al NE de la Laguna de Guzmán (pozo Sapallo 1, PEMEX), 150 m en la Alta Bavicora, 200 m en el valle de Buenaventura, etc.

Cuando constituye acuíferos son de tipo libre, pero en algunas ocasiones puede comportarse como confinado en forma local; como por ejemplo en el valle de Samalayuca (CFE, 1981) donde existe una barrera arcillosa prácticamente impermeable que crea dos acuíferos: uno libre y otro confinado.

Las pruebas de bombeo a que ha estado sujeto en diversas

áreas con el fin de determinar sus características hidráulicas, ha proporcionado los siguientes valores de transmisividad: - -
 $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ a $7.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ (Samalayuca); - - - -
 $0.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ a $17.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ (Buenaventura); - - -
 $0.07 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ a $4.78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ (Hidalgo del Parral).
Esta indica que los constituyentes tienen un comportamiento de materiales del tamaño de arena fina con arcilla y bajos valores de transmisividad; indicando con esto que su permeabilidad también es baja.

IV.1.9 BASALTO. Las coladas basálticas del Terciario -- Medio y del Cuaternario, muestran permeabilidad obtenida gracias a los contactos irregulares entre coladas y a su grado de fracturamiento; constituyéndose en zonas de recarga a acuíferos inferiores y/o acuíferos cuando su posición topográfica lo permite.

Tal es el caso en Hidalgo del Parral, Janos, Coyame-Manuel Benavides, Buenaventura, Alta Bavícora y otros muchos lugares. Cuando están debajo del nivel de saturación, actúan en conjunto con los aluviones cuaternarios o los depósitos continentales terciarios como una sola unidad geohidrológica.

IV.1.10 ALUVIONES CUATERNARIOS. Estos depósitos son unidades cuya permeabilidad está en función del tamaño de sus - -

agregados, la proporción de su relación, el grado de compactación y presencia de algún cementante, principalmente.

La transmisividad obtenida en la Alta Bavicora es del orden de $0.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ a $50 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$, en Hidalgo del Parral es de $0.242 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ a $4.509 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$. Estos datos muestran lo irregular de su permeabilidad, que aunque variable, puede constituir acuíferos.

IV.1.11 DEPOSITOS LACUSTRES. Esta acumulación tiene una alta proporción de arcilla en sus componentes, lo que le confiere una permeabilidad baja, llegando a funcionar únicamente como acuitardos o como techo de algún acuífero confinado. En el valle de Samalayuca, hay un cuerpo arcilloso que separa a un acuífero libre de otro semiconfinado, con un espesor de 40-100 m; por su parte, en la Alta Bavicora los estudios no han proporcionado pruebas de que exista una relación directa entre las aguas de la laguna que descansan en sedimentos lacustres, con las del subsuelo (Soria E.L., 1979).

IV.2 CONDICIONES GEOHIDROLOGICAS DEL AREA

El esquema regional del área muestra una alternancia de - sierras con mesetas, montañas o lomeríos asociados, que están separadas por valles; es decir, existen dos rangos fisiográficos fundamentales: valles (o cuencas) y sierras alargados.

Esas características fisiográficas obedecen a elementos - geomorfológicos, que son resultado de una litología, modo de - ocurrencia, historia tectónica y clima, fundamentalmente (su- - pra: caps. II.1, II.2, II.3, II.4, y III.2); los cuales condi- - cionan el funcionamiento geohidrológico en el área y permiten hacer un análisis de ella a partir de éstos; de tal manera que para su estudio, las geformas han sido divididas en la si- - guiente manera:

- Cuencas rellenas por acumulación de clásticos en depresiones tectónicas.
- Elevaciones de roca ígnea con perfil abrupto.
- Elevaciones de roca ígnea con relieve de meseta.
- Elevaciones de roca ígnea con relieve dómico y perfil - suave.
- Elevaciones de roca sedimentaria cretácica con perfil - suave.
- Elevaciones de roca ígnea y sedimentaria cretácica con

perfil abrupto.

A continuación se detallan cada una de ellas.

IV.2.1 CUENCAS RELLENAS POR ACUMULACION DE CLASTICOS EN DEPRESIONES (fosas tectónicas). Los sedimentos clásticos de esta geoforma son de edad Terciario y Cuaternario; se encuentran rellenando fosas tectónicas con espesores, obtenidos por medio de cortes litológicos en pozos, del orden de 200 m en la región de Buenaventura, 220-300 m en la región de Oscar Soto - Maynes, hasta 350 m en la Alta Bavicora y de 240 m en Nuevo Delicias (este último, inmediatamente al SE del área). Lo anterior concuerda con datos obtenidos en otras áreas y nos conduce a esperar paquetes con espesores de 200 a 300 m, para toda el área.

Los materiales, al estar saturados constituyen acuíferos de tipo libre o localmente pueden presentar condiciones de confinamiento; ya sea por horizontes arcillosos, rocas ácidas impermeables o ambos. Algunos acuíferos en estos materiales se encuentran en explotación dentro y fuera del área (y son los más explotados), son de permeabilidad variable y generalmente baja, corroborando así su capacidad de contener mantos explotables (SARH-3, 1977; Trujillo Candelaria J.A., 1980; supra: caps. IV.18 y IV.1.10).

A profundidad, pueden estar asociados a basaltos o a riolitas con piroclásticos asociados, llegando a constituir una misma unidad geohidrológica, cuando el fracturamiento de las rocas cristalinas sea suficiente para ello.

Otras rocas, que se encuentran en valle, son las de la formación Cretácica Las Vigas que aflora al SE de Cerro Grande, las cuales son impermeables debido a su alta arcillosidad y fracturamiento incipiente, funcionando como barreras hidráulicas.

IV.2.2 ELEVACIONES DE ROCA IGNEA CON PERFIL ABRUPTO. Estas geoformas están constituidas por rocas del SVS, las cuales tienen una permeabilidad que depende fundamentalmente de tres factores: 1) fracturamiento provocado por la contracción durante la etapa de enfriamiento de la roca, que puede ser mas o menos profundo e intenso; manifestado claramente en diversas localidades que presentan estructura columnar 2) otro tipo de fracturamiento provocado por los movimientos tectónicos que han afectado al área; los cuales son por lo general de mayor longitud y profundidad que los anteriores; y 3) de los espacios primarios que quedan entre los agregados granulares de las tobas y brechas, cuando no están soldadas.

Por otro lado, esa permeabilidad se ve reducida por di-

versas causas: a profundidad las fracturas por enfriamiento se van estrechando y desaparecen a medida que se lajan más de la superficie; muchas fracturas o sistemas de ellas no están interconectadas entre sí, y por la acumulación y compactación de arcillas en las fracturas o en los espacios primarios de los agregados granulares al transcurrir del tiempo geológico (Davis S.N., 1974; Villarello D.J., 1910).

Lo expuesto pone en evidencia que las rocas de esta unidad geomorfológica, no son permeables en toda su extensión, y que cuando lo son ésta varía aún en lugares cercanos unos de otros; pudiendo estar o no, relacionados hidráulicamente.

Cuando la permeabilidad es propicia las rocas de esta unidad funcionan como transmisoras, cuando no lo es, son barreras impermeables.

Dentro de esta geoforma, existen algunos afloramientos de sedimentos continentales terciarios y cuaternarios como los que rellenan las cuencas, ocupando algunas cañadas y pequeños valles intermontanos con espesor reducido; de tal manera que funcionan conjuntamente con las rocas del SVS como áreas de recarga y carecen de interés como posibles acuíferos debido a la regionalización de este estudio, sin embargo no dejan de tener importancia para necesidades locales.

IV.2.3 ELEVACIONES DE ROCA IGNEA CON RELIEVE DE MESETA.

Estas geoformas están constituidas por las rocas ácidas del -- SVS que componen a las de perfil abrupto pero están coronadas por coladas de basalto, ya sea del Terciario Medio o del Cuaternario.

El basalto debe su permeabilidad a los espacios huecos en tre las coladas superpuestas, a las fracturas originadas por - enfriamiento y a las de origen tectónico mencionadas antes; pu diendo ser afectada y disminuir a lo largo del tiempo geológico, cuando las oquedades van siendo rellenas por material ar cilloso (producto de la meteorización de la roca). Consecuente mente, es mas factible que los de edad Cuaternario sean potencialmente más permeables, que los de Terciario; no obstante, - esto no es una norma.

Su funcionamiento geohidrológico es como roca transmisora al constituir una área de recarga; cuando se halla interes tratificada con los depósitos de relleno o en su basamento, - constituyen en conjunto embalses subterráneos.

IV.2.4 ELEVACIONES DE ROCA IGNEA CON RELIEVE DOMICO Y - PERFIL SUAVE.

Esta geoforma la constituye el intrusivo monzonítico de Cerro Grande, el cual tiene características de baja permeabilidad debido a su estructura masiva con fracturamien-

to incipiente y somero; así también los diques que se encuentran diseminados por toda el área.

Su funcionamiento geohidrológico es como parteaguas en la superficie y como barrera hidráulica en el subsuelo.

IV.2.5 ELEVACIONES DE ROCA SEDIMENTARIA CRETACICA CON PERFIL SUAVE. Con esta geoforma sólo existe una sierra, que concretamente es la montaña denominada La Mojina. Está compuesta por varias formaciones cretácicas, que son tanto permeables unas como impermeables otras, formando todas una estructura monoclinal que buza hacia el SW y que está afectada por fallas normales, diques y mineralización.

Las rocas con permeabilidad, son las que corresponden a las formaciones Cupido y Aurora; que es debida a los espacios originados por disolución en los planos de estratificación y en las fracturas, principalmente. Esta característica se ve reducida por la presencia de diques y zonas mineralizadas que presentan recristalización.

En consecuencia, al no existir otros afloramientos, se asume que están afectadas por los eventos que emplazaron a las rocas del CVI y del SVS, ocasionando que su permeabilidad sea variable y esté condicionada a esas características.

Por su parte, las rocas impermeables se encuentran subyaciendo (formaciones La Mojina y Las Vigas) e interestratificada (Formación La Peña) a las permeables. Su baja o nula permeabilidad es debida a la arcilla o al cementante silíceo, al - - fracturamiento incipiente y a su particular resistencia al cizallamiento.

En resumen, la sierra La Mojina está formada por un conjunto de formaciones cretácicas que forman una estructura monoclinal, buzante hacia el SW y afectada por fallamiento de tipo normal; su comportamiento geohidrológico es como unidad de recarga, desconociéndose su distribución y su capacidad de - - constituir acuíferos en el subsuelo del área.

IV.2.6 ELEVACIONES DE ROCA IGNEA Y SEDIMENTARIA CRETACICA CON PERFIL ABRUPTO. Esta geoforma es de composición litológica mixta, consiste en rocas carbonatadas de la formación Loma de Plata que subyacen discordantemente a rocas del SVS con relieve abrupto. De hecho, el relieve está controlado por las rocas del SVS, ya que el afloramiento sedimentario es reducido y se encuentra al pie de la sierra; la escasa información que éste proporciona muestra indicios de solubilidad en la roca, - la cual se reafirma al oriente del área donde se puede observar claramente su solubilidad y presenta manantiales (e.g. - - Coyame).

Lo anterior permite suponer que su comportamiento dentro del área sea similar, constituyéndose en zona de recarga. Donde ocurra en el subsuelo es un embalse subterráneo, pero se desconoce su distribución y su afectación por diques.

RESUMEN ACERCA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLOGICAS DEL AREA.

Todas las elevaciones en el área constituyen zonas de recarga con potenciales altos, variables o nulos, los potenciales altos de recarga se localizan en los basaltos cuyas oquedades no estén rellenas de arcilla y en localidades particulares de intenso fracturamiento sin arcilla de las rocas ácidas del SVS. Los potenciales variables de recarga se localizan en general en las rocas ácidas, en zonas locales de basalto cuyas oquedades estén parcialmente rellenas por arcilla y en las rocas carbonatadas de las formaciones Cupido, Aurora y Loma de Plata (afectadas por diques). Los potenciales bajos o nulos de recarga se localizan en donde hay predominancia de piroclásticos ácidos soldados que tengan fracturamiento incipiente, en los emplazamientos intrusivos, y localmente, en donde las rocas ácidas tengan un fracturamiento incipiente o somero y donde los basaltos en sus oquedades estén rellenas por arcilla.

Por otra parte, la superficie de los valles constituye generalmente zonas de recarga a niveles subyacentes, donde el ma

terial forma embalses subterráneos con posibilidades de funcionar como acuífero de tipo libre y localmente confinado.

Las rocas de la formación Las Vigas que se encuentran en valle, constituyen una barrera hidráulica que forma parteaguas en la superficie y un basamento impermeable a mantos de agua en el subsuelo, pero se desconoce su distribución.

Los materiales de los valles pueden llegar a estar relacionados en el subsuelo con basaltos o con rocas ácidas; cuando esto sucede, el comportamiento geohidrológico del conjunto depende de las características particulares de esa relación y del fracturamiento, para formar acuíferos libres o confinados.

IV.3 UNIDADES GEOHIDROLOGICAS

De acuerdo con lo que se ha venido analizando sobre el funcionamiento geohidrológico en el área, conviene hacer una diferenciación concreta entre aquellas rocas que funcionan como unidades de recarga, las que funcionan como rocas sello o barreras hidráulicas y las que potencialmente se constituyen en acuíferos; permitiendo con ello a su vez, la elaboración de un plano geohidrológico que las muestre.

Con este antecedente, se establece la siguiente clasificación:

Unidades tipo A: A este grupo pertenecen todas aquellas rocas que por su posición topográfica, estratigráfica, estructural y cualidades de permeabilidad, constituyen embalses subterráneos; diferenciables a su vez en: de gran potencial, de potencial variable y de potencial desconocido.

Al (Embalses subterráneos de gran potencial). Las rocas que la constituyen corresponden a todos los depósitos continentales del Terciario y del Cuaternario y a todos los basaltos que se encuentren bajo la superficie de los valles. Su comportamiento geohidrológico cuando constituyen acuíferos, ya sea en forma in

dependiente o en conjunto, es de tipo libre. De acuerdo a lo observado en diversas localidades, los sedimentos pueden presentar transmisividad variable y en consecuencia permeabilidad variable (dependiendo del sitio). Localmente, pueden constituir acuíferos con características de confinamiento por la presencia de cuerpos arcillosos o de riolitas con piroclásticos asociados, que tengan una permeabilidad notoriamente baja o nula y sobreyaciendo al acuífero.

Se descartan de esta unidad, los sedimentos clásticos de la misma edad, que se encuentran como reductos en lo alto de las sierras y los localizados en los cañones de las mismas, por su poco espesor y el enfoque regional de este estudio; sin embargo, algunos de ellos pueden llegar a tener importancia en trabajos locales a más detalle.

A2 (embalses subterráneos de potencial variable). En esta clasificación están incluidas las formaciones Cupido, Aurora y Loma de Plata, en los lugares donde existan en el subsuelo por lo que en la cartografía no aparecen, pues su distribución es desconocida. Se infiere que debido a la historia tectónica, cuando menos existan a partir de una línea imaginaria que una de las sierras La Mojina y La Tinaja Li-

sa, hacia el NW (supra: cap. II.3).

Los acuíferos que pudieran contener las rocas de esta unidad son de tipo libre y confinado y pueden estar afectadas por diques, que además de disminuir la permeabilidad por falta de continuidad, también lo hacen por recristalización.

A3 (embalses subterráneos de potencial desconocido). En este grupo se incluyen propiamente a las riolitas y a estas mismas asociadas con mínimas cantidades de piroclásticos, ambas con suficiente fracturamiento y poca arcilla, y que se encuentran debajo o interdigitadas con los sedimentos continentales. Al igual que la unidad A2, su ocurrencia en el subsuelo es inferida por la historia tectónica del área (supra: caps. II.3 y II.4) por lo que su cartografía no aparece; sin embargo, la mayor parte del subsuelo debe contener rocas ácidas del SVS subyaciendo a los sedimentos continentales, como se comprueba en algunos lugares del área (valles de Buenaventura, Alta Baviera, Oscar Soto Maynes y otros).

El tipo de acuífero que puede constituir es libre o confinado, dependiendo de que exista o no un techo total o prácticamente impermeable.

Unidades tipo B: A este grupo pertenecen todas aquellas rocas que por su posición topográfica, estratigráfica, estructural y cualidades de permeabilidad, constituyen zonas potenciales de recarga; diferenciables a su vez en: alta y variable.

B₁ (alta recarga potencial). En esta clasificación están incluidos todos los basaltos y también los sedimentos continentales, exceptuando a los sedimentos lacustres.

B₂ (recarga variable). En esta clasificación están incluidas las rocas ácidas del SVS, cuya permeabilidad puede variar desde nula hasta alta, y a las rocas carbonatadas del Cretácico (Cupido, Aurora y Loma de Plata) cuya permeabilidad está en función de lo que ha sido citado en párrafos anteriores.

Unidades tipo C: A este grupo pertenecen todas las rocas que funcionan como barreras hidráulicas por su baja o nula permeabilidad, que es debida a su alto contenido de arcilla o a su estructura cristalina no-fracturada. En esta clasificación se encuentran las rocas de las formaciones Las Vigas, La Mojina y La Peña, el intrusivo monsonítico y los sedimentos lacustres.

IV.3.1 CARTOGRAFIA GEOHIDROLOGICA. La cartografía de -- las unidades geohidrológicas descritas, está dada por medio de sus claves que las identifican: A1, A2, A3, B1, B2 y C.

En el caso de que halla características geohidrológicas - diferenciables entre el subsuelo y la superficie, aparecen en la cartografía una asociación de dos claves dentro de un mismo contorno. La descripción resumida de las unidades se muestra - en el plano Geohidrológico.

IV.4 OBSERVACIONES

Algunas de las características geohidrológicas importantes en el área que aún no han sido mencionadas o que merecen una particular atención, pueden ser resumidas como aspectos generales y particulares en los siguientes párrafos.

IV.4.1 ASPECTOS GENERALES. El flujo subterráneo del agua es primordialmente hacia el norte; esto puede ser en buena parte consecuencia de que la mayor porción del área es ocupada por la meseta GEC (definida en los capítulos II.1 y II.4), cuyos valles exorréicos buzan y tienen salida hacia el norte y se encuentran rodeados en los otros puntos cardinales por sierras.

El caso particular del flujo son las cuencas cerradas en la Alta Bavicora y el valle de la laguna Encinillas, cuyo flujo subterráneo es radial y convergente hacia el poblado El Alamillo en la primera y hacia la Laguna Encinillas en la segunda (por lo menos en la parte septentrional de ese valle).

El flujo hacia el norte en las cuencas exorréicas significa una recarga extra aparte de la local en los acuíferos del norte, y también que las porciones meridionales de los valles

alimentan a las septentrionales. Dadas las consecuencias prácticas de ésta observación, en el capítulo de conclusiones y recomendaciones se analiza el tema.

La calidad del agua en general es dulce; sólo menos del 6% tiene calidad tolerable (D.G.G., 1985).

Los niveles estáticos en los diferentes acuíferos de la zona, varían desde aflorantes hasta poco más de 200 m (este último al oriente de la porción meridional del valle de la cuenca del río Santa Clara).

IV.4.2 ASPECTOS PARTICULARES. a) Existen concentraciones de pozos en los siguientes sitios: este de Ricardo Flores Magón, valle de Buenaventura, alrededores del poblado de Gómez Farías y al sur del poblado Santa Clara.

La ubicación de los pozos que están al oriente de Ricardo Flores Magón, atendiendo al flujo subterráneo propuesto, está en un lugar adecuado en cuanto a recarga horizontal se refiere; pues se encuentra al comienzo del estrechamiento del valle. Sin embargo, en 5 muestras escogidas al azar, el gasto específico promedio fué de 3.78 lt/seg por metro de abatimiento, en rangos de variación de 40 a 75 lps. y de 8 a 32 m de abatimiento, lo cual es indicativo de permeabilidad baja y co-

nos de abatimiento que pueden llegar a afectar a otros pozos.

Los pozos en el valle de Buenaventura también están situados en un lugar adecuado; pues se propone que este acuífero pueda estar alimentado por el inmediato al sur en la meseta, a través de la sierra La Varillera (infra: cap. V, 9ª y 15ª conclusiones) además de la recarga vertical del río Santa María y la local de las sierras circundantes. En un estudio particular elaborado por la S.A.R.H. en 1974 (op. cit.), se recomienda un incremento del 50% de nuevos aprovechamientos de los 128 existentes para esa fecha en base a su balance geohidrológico; pero esa propuesta está basada en un período de muestreo de corta duración (4 meses) y en época de lluvias con características de ciclón, por lo que su confiabilidad es relativa.

En las proximidades de Gómez Farías, los pozos están concentrados en un área reducida; la transmisividad ahí varía de 5 a $10 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ (SARH-4, 1980; Soria E., op. cit.), lo que implica permeabilidad baja. Por otro lado, entre el poblado El Alamillo adonde converge el flujo subterráneo del valle que tiene el valor más alto de transmisividad ($50 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$) y el poblado de Gómez Farías no se ha extendido la explotación de los acuíferos.

Los pozos que se encuentran al sur del poblado Santa Clara, están ubicados en una zona que obtiene recarga horizon

tal del oriente y del sur del mismo valle por lo que su localización se considera adecuada; sin embargo, la permeabilidad del material es casi siempre baja, por lo que las excesivas concentraciones pueden abatir y afectar el nivel freático en los acuíferos de los valles que han sido mencionados.

b) Es muy probable que cierta cantidad del agua en las presas El Tintero y Las Lajas sea aportada a los acuíferos de los valles circundantes, aparte de la local o de la que pueda provenir del sur de los mismos valles; sin embargo, esa agua subterránea ha sido poco aprovechada, pues existen unos cuantos pozos y norias.

C A P I T U L O V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al estudio efectuado, se proponen las siguientes conclusiones y recomendaciones; para mayor continuidad, las recomendaciones al caso son propuestas enseguida de la conclusión:

1^a Conclusión. El área se caracteriza por la presencia de sierras y valles, paralelos y subparalelos. Esto es consecuencia de sistemas de fallas normales que han originado fosas y pilares tectónicos.

2^a Conclusión. Los pilares tectónicos están constituidos principalmente por riolitas y piroclásticos asociados, además de cantidades subordinadas de basalto hacia la cima de la secuencia ácida; ambos correlacionables con rocas del evento denominado Supergrupo Volcánico Superior (SVS, 34-27 m.a.).

Otras expresiones elevadas corresponden a un intrusivo monzonítico y a rocas cretácicas marinas de conglomerado, arenisca, lutita y caliza.

3^a Conclusión. Las fosas tectónicas están cubiertas -

por sedimentos continentales terciarios y cuaternarios, generalmente no litificados y con mayor abundancia de los primeros. - La granulometría de los agregados es variable y por lo común están dispuestos de manera caótica; se encuentran representados principalmente por conglomerado, con diferentes grados de compactación y de cementación.

4^a Conclusión. El espesor del paquete de sedimentos continentales en cada uno de los valles del área es desconocido; pues la mayor parte de los cortes litológicos en pozos no llega a la roca subyacente. Sin embargo, puede hablarse de espesores mínimos en promedio de 200 m.

Recomendación. Se recomienda que para conocer el espesor de los sedimentos continentales, sean llevadas a cabo como primera fase, secciones geofísicas de resistividad eléctrica. La mínima cantidad sugerida, se muestra en el plano geohidrológico.

5^a Conclusión. La red hidrográfica del área se caracteriza por un drenaje desintegrado compuesto por corrientes intermitentes, las cuales nacen en las sierras y desaparecen en los valles.

6^a Conclusión. La red hidrográfica integrada está constituida por las corrientes perennes de los ríos Santa Clara, Santa María y San Miguel; cuentan con tributarios principalmente intermitentes, escurriendo sus aguas hacia el norte.

7^a Conclusión. La presencia de comunidades vegetales de pino-encino en los valles del oeste y en las sierras de la porción meridional del área, refleja un clima más templado y húmedo que en el resto del área; lo cual es acorde con los datos climatológicos. Este concepto implica una recarga potencial mayor en dichos lugares respecto a el resto del área, y está apoyado por el nacimiento de numerosos manantiales que crean las corrientes perennes de los ríos mencionados en la conclusión anterior.

Recomendación. Se recomienda un estudio detallado del clima basándose en las estaciones climatológicas existentes, con el fin de programar el establecimiento de - - otras nuevas para tener un mejor conocimiento del clima en las diversas regiones del área.

8ª Conclusión. Existen dos cuencas endorréicas importantes: una en el valle de la Alta Bavicora y la otra en el valle de la laguna Encinillas.

9ª Conclusión. Existen en el área dos presas, El Tintero y Las Lajas además de otras dos en - proyecto. Las construídas se localizan hacia el norte del área sobre los ríos Santa María y Santa Clara, respectivamente; cada uno de ellos cuenta con una estación hidrométrica operando actualmente y son - las únicas que existen.

Recomendaciones. a) Se recomienda el establecimiento de dos estaciones hidrométricas sobre el río Santa Clara: una .aguas abajo de la cortina de la presa Las Lajas para

conocer, en conjunto con la existente, sus regímenes de entrada y salida; la otra al norte del poblado Santa Clara, con el fin de observar el aporte de - escurrimientos en las porciones cen- - tral y meridional de la subcuenca (ver ubicación sugerida en el plano geohi-- drológico). Esto servirá primordialmente para un estudio que se sugiere sobre la factibilidad en la construcción de otra presa, aguas arriba de la existente; también para determinar si exigte o no, aporte de agua de la presa al acuífero del valle.

b) Se recomienda la construcción de tres estaciones hidrométricas sobre el río Santa María: una aguas abajo de la presa El Tintero al terminar el cañón, para determinar un posible aumento o - disminución del gasto, lo cual mostrará si hay o no hay flujo subterráneo - de uno a otro valle a través de las rocas ácidas del SVS en dicho lugar; - otra ubicada aguas arriba de la cortina de la presa para conocer, en conjunto

to con la que opera actualmente, los volúmenes de entrada y salida de la misma; lo cual permitiría entre otras cosas determinar si existe aporte de ésta al subsuelo; por último, otra localizada entre los poblados Namiquipa y El Molino con el fin de determinar, el aporte de escurrimiento de las porciones central y meridional al valle de la cuenca, permitiendo realizar un estudio subsecuente que se recomienda sobre la factibilidad de construir una presa, aguas arriba de la existente.

c) Se recomienda la construcción de una estación hidrométrica sobre el río San Miguel, cerca del rancho Abraham González, cuya finalidad es determinar el caudal que escurre hacia afuera del área de estudio y tener una idea de cuánta de esa agua se puede disponer para el valle donde se asienta el poblado de Zaragoza; además de servir de control para la presa proyectada por SARH que quedaría ubicada aguas arriba de la estación propuesta y el de pro--

porcionar información sobre el volúmen medio anual aportado al río Casas Grandes.

10^a Conclusión. De los bordos observados, la mayoría de ellos no abastecen a varios usuarios - cada uno; por lo que su utilidad se ve -- condicionada e insuficiente, además de -- ser por lo común ajenos a los manantiales.

Recomendación. Se recomienda la habilitación de -- obras de captación en los manantiales tanto de las sierras como de los va-- lles. Con ello se lograría que en esos lugares haya agua disponible durante - todo o la mayor parte del año y que -- sean independientes de las escorrentías superficiales que ocurren durante la - temporada de lluvias.

11^a Conclusión. Los aprovechamientos de agua subterránea (reportados: DGG), únicamente son representativos del total que existe, ya -- que el muestreo fué aleatorio.

Recomendaciones. a) Se recomienda llevar a cabo la --

actualización del censo de todos los aprovechamientos en el área, que sea por subcuenca y que comprenda los siguientes puntos: tipo de aprovechamiento, tipo de extracción, corte litológico y pruebas de bombeo (si existen), nivel estático, nivel dinámico, gasto, volumen de extracción anual, evolución del nivel estático, análisis químico periódico de muestras de agua, temperatura y, problemas en la construcción.

b) Asimismo, es recomendable que se elijan algunos pozos (además de lo que se ha realizado en los valles de Buena Ventura y Alta Bavicora), con el fin de nivelar sus brocales para que estén en condiciones de determinar el nivel de las aguas freáticas y su variación.

12ª Conclusión.

Para la escala del estudio, se considera que las rocas de todas las sierras son transmisoras, exceptuando a las ígneas intrusivas y a las cretácicas constituidas de conglomerado, arenisca o lutita (estas

Últimas, las formaciones: La Mojina, Las Vigas y La Peña). Localmente, deben tomarse en cuenta como rocas no transmisoras a riolitas no fracturadas, tobas alteradas e ignimbritas, y poner la misma atención a secuencias ácidas predominantemente piroclásticas.

Recomendación. Se recomienda efectuar estudios fotogeológicos a mayor detalle que el de este estudio, en las rocas que forman sierras con el fin de profundizar en la exploración geohidrológica.

13^a Conclusión. La superficie de los valles constituye por lo general zonas de recarga a niveles inferiores; salvo los casos en que los sedimentos continentales tengan altos porcentajes de arcilla en la superficie o por la presencia de lutitas y areniscas de la formación Las Vigas, que aflora en valle cerca del rancho Ojo del Servín.

Recomendación. Son recomendables estudios a mayor detalle, que permitan diferenciar los sitios en los valles con gran arcillo

sidad superficial, para distinguir las zonas en los valles con mayor o menor recarga vertical.

14^a Conclusión. Los sedimentos continentales del Terciario y del Cuaternario constituyen embalses subterráneos; su capacidad de acuífero puede disminuir por el aumento del contenido de arcilla y la cantidad de cementante presente.

Recomendación. Se recomienda que al efectuar las secciones geofísicas de resistividad eléctrica apuntadas en el inciso 4^a, también estén enfocadas a conocer aproximadamente el espesor de los sedimentos granulares saturados. Esto permitirá tener una idea sobre la distribución y geometría de los acuíferos, además de la granulometría teórica (ajustada a datos conocidos en cortes litológicos de pozos cercanos a cada sección eléctrica).

15^a Conclusión. El flujo subterráneo regional del agua en los valles con cuencas abiertas al nor

te, obtenido por piezometría, es en la --
misma dirección. Este concuerda con el es
currimiento superficial, ya que la pen- -
diente regional de los valles es hacia el
norte.

Recomendaciones. a) Se recomienda corroborar dicha -
afirmación y en su caso ampliarla, uti
lizando una mayor cantidad de datos de
brocales nivelados y por medio de cur
vas de isovalores iónicos, obtenidos -
ambos a partir del censo sugerido en -
el inciso 11°.

b) En el caso de que el flujo subte
rráneo en esos valles sea, en efecto, -
hacia el norte, se recomienda la perfo
ración de pozos exploratorios de peque
ños diámetros a una profundidad ini- -
cial de 200 m, apoyándose en las explo
raciones de las secciones geoeléctri--
cas recomendadas en las conclusiones -
4^a y 14^a. Los sitios recomendados son
los valles septentrionales, pues repré
sentan zonas con recarga horizontal --
que proviene del sur de esos mismos va

lles. Las pruebas de bombeo que tengan resultados favorables en los pozos exploratorios, podrían llegar a permitir su ampliación para que sean obras normales de captación; dejando varios de ellos equipados para que sean pozos de observación. Asimismo, los resultados que se obtengan permitirá según sea el caso, proponer nuevas exploraciones.

16^a Conclusión. El flujo subterráneo en los valles de las cuencas endorréicas es radial y convergente: hacia el poblado El Alamillo en la Alta Bavícora y hacia Lagunilla Encinillas en el valle de la misma (por lo menos en su porción septentrional).

Recomendaciones. a) Se recomienda en el Alta Bavícora, la perforación de pozos exploratorios de pequeño diámetro que estén localizados entre los poblados de Gómez Farfías y El Alamillo; esto servirá para ampliar el conocimiento sobre la distribución de la permeabilidad entre los dos poblados; pues entre uno y otro, sus transmisividades varían de -

$5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$ hasta $50 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg}$.

b) Si la permeabilidad de los materiales en los pozos exploratorios es adecuada, se recomienda ampliarlos y habilitarlos para su explotación. También será pertinente programar nuevas exploraciones de acuerdo al conocimiento adquirido sobre la permeabilidad.

c) En el NW de la laguna Encinillas se recomienda que sean perforados algunos pozos exploratorios de pequeño diámetro, con el fin de conocer las características del acuífero en esa zona, ampliar su conocimiento en general y programar estudios subsecuentes.

17^a Conclusión. La porción meridional del valle por donde cruza el río Santa María, es una región cuya potencialidad es desconocida, aunque se asume que obtiene recarga horizontal del mismo valle aguas arriba fuera del área estudiada, aparte de la local.

Recomendación. Se recomienda la perforación de po-

zos exploratorios de pequeño diámetro entre los poblados Namiquipa y Oscar - Soto Maynes, ubicados según sean los resultados de las secciones geofísicas de resistividad eléctrica sugeridas en las conclusiones 4^a y 14^a.

18^a Conclusión. La presencia de agua con calidad tolerable en tres muestras de un mismo valle entre el rancho El Ojo del Servín y la presa Las Lajas (DGG, 1985), permite suponer la presencia de fases salinas en los sedimentos continentales, que corresponderían probablemente a antiguos horizontes lacustres.

Recomendación. Se recomienda que antes de alumbrar agua subterránea en esa zona, tenga prioridad la sección eléctrica propuesta en las conclusiones 4^a y 14^a, para localizar posibles horizontes con agua de mala calidad y su distribución probable. Esto permitirá que a continuación se programe la perforación de pozos exploratorios.

19^a Conclusión. Los valles donde se asientan los p^oblados Zaragoza, Yepómera y la estación El Sueco, son lugares donde la información geohidrológica de campo y bibliográfica es escasa; por lo que las secciones eléctricas de resistividad, como primera fase, son invaluables.

Recomendación. Se recomienda que en dichos lugares sean efectuadas las secciones geoelectricas propuestas en las conclusiones 4^a y 14^a como etapa prioritaria, a fin de programar posteriormente estudios adecuados a los resultados.

20^a Conclusión. Se plantea como hipótesis, la posibilidad de que exista un flujo subterráneo de agua a través de las sierras oriental y nororiental de la meseta GEC (gran estructura circular) que ocupa gran parte del área, hacia los valles externos; basándose para ello, principalmente, en la diferencia de cota de sus valles orientales con los valles externos aledaños, además del fracturamiento en ocasiones intenso de las rocas que forman esas sierras (en-

tre otras cosas).

Recomendaciones. a) Se recomienda llevar a cabo un estudio para comprobar la veracidad de esa hipótesis; ya sea por concentración de iones disueltos, o con trazadores de isótopos radiactivos con vida media corta, o ambos. Los trazadores deben ser colocados en pozos del extremo oriente de la porción meridional del valle de la cuenca del río Santa Clara y ser esperados en los aprovechamientos cercanos a las sierras, en los valles externos ya mencionados.

En el caso de su comprobación, se podría aumentar la explotación de los acuíferos en esos valles externos, ya que obtienen una recarga mayor de la esperada normalmente.

b) Para el caso de que la hipótesis no sea verídica, se recomienda que también sean tomadas muestras en la parte meridional del río Santa Clara para recibir a los trazadores; con el fin de

aprovechar al máximo el estudio radiac
tivo.

21^a Conclusión. Las rocas basálticas del SVS y las cua
ternarias, han demostrado su excelente ca
pacidad como acuíferos en el subsuelo de
los valles de Buenaventura y Alta Bavico-
ra.

Recomendación. Se recomienda dirigir estudios acer
ca de la presencia de rocas basálticas
en el subsuelo de otros valles; sea --
por medio de cortes litológicos en nue
vos alumbramientos o por estudios geo-
físicos de sismología de refracción.

22^a Conclusión. Las riolitas y los piroclásticos áci-
dos del SVS no han demostrado todavía su
capacidad de constituir acuíferos, aunque
su fracturamiento en la superficie pro--
porciona ideas sobre su comportamiento en
el subsuelo y también sus características
productoras en áreas cercanas.

Recomendación. Se recomienda que sean efectuadas -
perforaciones que atraviesen en mate-

rial granular y lleguen hasta dichas rocas con el fin de verificar su existencia y de observar sus características hidráulicas; ya que estos materiales podrían llegar a constituir acuíferos importantes.

23^a Conclusión. Las rocas carbonatadas de las formaciones cretácicas Cupido, Aurora y Loma de Plata presentan características favorables para constituir acuíferos, pero su distribución en el subsuelo es desconocida.

Recomendaciones. a) Se recomienda llevar a cabo estudios geofísicos de sismología de refracción, en el valle de la cuenca RH 34/B/c, entre las dos sierras donde afloran: La Mojina y NW de La Tinaja Lisa.

b) Se recomienda además, que las nuevas perforaciones en ese valle sean profundizadas más allá de lo programado, con diámetros pequeños y que sirvan para corroborar la información sísmológica o bien fundamentarla; para

posteriormente verificar sus caracte--
rísticas hidráulicas.

24^a Conclusión. La excesiva concentración de pozos, --
puede provocar abatimientos de la superfi
cie freática en los mantos de agua de --
los acuíferos, ya que en general, la per-
meabilidad de los sedimentos continenta--
les es baja.

Recomendación. Se recomienda que basándose en los
incisos anteriores, sea llevada a cabo
una evaluación de los acuíferos toman-
do en cuenta las afectaciones regiona-
les y que se evite, en la medida de lo
posible, la concentración de pozos.

25^a Conclusión. Un aumento notable en la explotación -
de los acuíferos en los sedimentos conti-
nentaes de la porción meridional de los
valles con cuencas exorréicas que carez-
can de un adecuado enfoque regional, pue-
de afectar en diverso grado a la recarga
horizontal de sus porciones septentriona-
les, basándose en la 15^a conclusión.

Recomendación. Se recomienda que antes de desarrollar una explotación masiva de los - - acuíferos meridionales en esos valles, sea corroborada la 15^a conclusión acerca del flujo regional hacia el norte. De ser comprobado, se recomienda llevar a cabo estudios cuantitativos para determinar la disponibilidad de agua - en cada lugar, y evitar así, afectaciones nocivas.

B I B L I O G R A F I A

- Alvarez Jr. Manuel 1958 Tectónica Profunda de México. Asoc. Mex. de Geol. Pet., 2^a Convención, pp.2-7
- Anderson Thomas H. 1974 Late Cretaceous Plutonism in Sonora, México and its relationship to Circum-Pacific Magmatism. Abstracts with programs, vol. 6, No. 5 Rocky Mountain Section, 27th Annual Meeting Geological Society of America, pp. 484.
- Arana S.V. y 1974 Volcanismo (dinámica y petrología López R.J. de sus productos). Ediciones Istmo, Madrid, España, pp.37-96, 133-192.
- Atwater Tanya 1970 Implications of Plate Tectonics - for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America. Geol. Soc. Am. Bull., 81, pp.3513-3536.
- Bates, R.L. and 1984 Dictionary of Geological Terms. -- Jackson, Julia A. American Geological Institute, Anchor Books edition, New York, U.S.A.

- Belousov V.V. 1974 Geología Estructural. Editorial MIR, Moscú, URSS, pp. 97-107, -- 128-163, 281-293.
- Burrows R.H. 1910 Geology of Northern México. Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 7, pp.85-103.
- CFE 1981 Resumen Sobre las Condiciones Geohidrológicas en el área de Samalayuca, para el Abastecimiento de -- agua de la P.T. Samalayuca, Chih. Brigada de Estudios Geohidrológi-- cos, Tenayuca, Edo. de México.
- Davis, S.N. 1974 Changes of Porosity and Permeability with Geological Time. Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. ONU, UNESCO, Servicio Geológico de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográfi-- cos, Lanzarote, Islas Canarias, -- España, sección I, Resúmenes, pp. 32.

- De Cserna, Zoltan 1970 Mesozoic Sedimentation, Magmatic Activity and Deformation in Northern Mexico. Symposium in honor of Ronald K. Deford, The West Texas Geological Society, Midland, Texas, USA, pp. 99-113.
- De Ford K. Ronald 1969 Some Keys to the Geology of Northern Chihuahua. Guide Book 20th Field Conference the Border Region, Chihuahua and United States, New Mex. Geol. Soc., pp.116-127.
- Demant A. 1975 Caracteres Químicos principales del Vulcanismo Terciario y Cuaternario de Baja California Sur. Relaciones con el Margen Continental Pacifico de México. Instituto de Geología, UNAM, 75 (1), pp. 19-69.
- Demant A. y Robin C. 1975 Las fases del volcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Rev. Inst. Geol., UNAM, No. 75 (1), pp. 71-81.

- Dewey, John F. 1978 Tectónica de Placas; Deriva Continental y Tectónica de Placas - - - (Scientific American). H. Blume -- Ediciones, Madrid, España, pp. - - 180-193.
- Dietz, Robert S. 1978 Geosinclinales, Montañas y forma-- ción de Continentes; Deriva Continental y Tectónica de Placas - - (Scientific American). H. Blume -- Ediciones, Madrid, España, pp. - - 168-178.
- Dirección General 1984 Informe de la Carta Geológica Buen- de Geografía. naventura, escala 1:250 000. D.G.G., Instituto Nacional de Esta- dística, Geografía e Informática -- (INEGI), S.P.P.
- DGG 1985 Carta de aguas subterráneas cve. H13-7 esc. 1:250 000. Dirección - General de Geografía, INEGI, S.P.P.
- Gries C.J. and 1970 Structural Evolution of the - - - Haenggi T.W. Eastern Chihuahua Tectonic Belt., pp. 119-138.

- Humphrey W.E. 1949 Geology of the Sierra de los Muertos área. Geol. Soc. Am. Bull., -- vol. 60, pp.89-103.
- Humphrey W.E. 1956 Jurassic and Lower Cretaceous Stratigraphy and Tectonics of -- -- Northeast México. Informe Geológico, PEMEX (NE-M799), Inédito.
- Imlay R.W. 1936 Geology of the western part of the Sierra de Parras, Coahuila, México, Geol. Soc. Am. Bull., vol. 47, -- pp. 1119-1120.
- Imlay R.W. 1937 Geology of the middle part of the Sierra de Parras, Coahuila, México. Geol. Soc. Am. Bull., vol. 48, -- pp. 600-610.
- Lobeck A.K. 1939 Geomorphology (an introduction to the study of landscapes). McGraw-Hill Book Company, USA. pp.479-494, 549-575.

- McDowell F.W. and Clabaugh S.E. 1981 The Igneous History of the Sierra Madre Occidental and its Relation to the Tectonic Evolution of Western Mexico. Instituto de Geología, UNAM, Revista, vol. 5, No. 2, pp. 195-206.
- Navarro G.A. y Tovar R.J. 1974 Stratigraphy and Tectonics of the State of Chihuahua. Mex. Bol. Soc. Geol., pp. 57-60.
- PEMEX 1976 Columna Estratigráfica de la porción central de la Sierra La Mojina, Chih. Supctcia. Gral. de Distritos de Exploración Zona NE, Dpto. de Geol. Sup., inédito.
- Petrovna Kostenko N. 1975 Geomorfología Estructural Aplicada. Instituto de Geografía, UNAM, México-Moscú; pp 69-75.
- Raisz Erwin 1964 Landforms of Mexico. Geography - - Branch of the Office of Naval Research; 2nd corrected edition, - - Cambridge, Mass; USA.

- Ramírez C.J. y Acevedo C.F. 1957 Notas sobre la Geología del Estado de Chihuahua, pp. 50-53, 110-120, 127-135.
- Ryder Smith Martha 1974 Arcuate structural trends and basin and range structures. New basement tectonics contribution - No. 68. (a NASA industrial applications center, of the Institute for applied research services); - University of New Mexico, N. Mex., USA.
- SAHOP 1981. Estudio Geohidrológico Preliminar en Hidalgo del Parral, Chih. Elaborado por Constructura y Perforadora Latina, S.A. de C.V., contrato (402-118-505) (EC-81), México; pp. 1-29, 35-51, 56-63, 95-104, 124-153.
- SARH-1 1974 Estudio Geohidrológico en diversas zonas del Edo. de Chihuahua: Zona Buenaventura. Elaborado por Ingeniería y Sistemas, S.A., contrato EIGZA-74-6 para SARH, México. Vol. 1., pp. 1-10, 54-60, 83-103.

- SARH-2 1976 Regiones Hidrológicas de la República Mexicana.
- SARH-3 1977 Estudio Geohidrológico de la porción Norte del Estado de Chihuahua. Elaborado por Casther, S.A., contrato GZA-77-2-E, México; pp.2-29.
- SARH-4 1980 Estudio Geohidrológico en la Alta Bavícora, Chih. Dirección General de Grande Irrigación, Subdirección de Geohidrología y de Zonas Aridas Residencia Chihuahua, Resumen.
- SARH-5 1980 Estudio Geohidrológico del sector occidental de Janos, Chih. Dirección General de Grande Irrigación, Subdirección de Geohidr. y de Zonas Aridas, Residencia Chihuahua; Resumen.
- SARH-6 1980 Estudio Geohidrológico en el área denominada Coyame-Manuel Benavides, Edo. de Chihuahua. Elaborado por Consultores, S.A., contrato GZA-79-64-ED, México; Vol. 1, pp.12-38.

- Torres Moya E. 1982 Introducción a los Sensores Remotos. Fac. de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, pp. - - 104-118.
- Trujillo Candelaria J.A. 1980 Prospección Geohidrológica. Curso de Exploración, Cuantificación y Arpovechamiento de los Recursos Hidráulicos Subterráneos. UNAM, Facultad de Ingeniería, Div. de Educación Continua, México; pp.1-11.
- Tuzo, Wilson J. 1978 Deriva Continental; Deriva Continental y Tectónica de Placas (Scientific American). H. Blume Ediciones, Madrid, España, pp.45-60.
- Villarello D.J. 1910 Circulación Subterránea del agua por Diaclasas ó Cavidades Supercapilares. Boletín de la Soc. Geol. Mex., Tomo VII, 1^a parte, pp. - - 31-40.