



UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

TRABAJO PROFESIONAL

**Carta Geológica Carbó,
escala 1:50,000**

MANUEL VALENZUELA RENTERÍA

Febrero del 2001

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Enero 10, 2001.

GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA

Jefe del Departamento de Geología

Universidad de Sonora

Presente

Por este conducto me permito someter a su consideración el siguiente tema de Trabajo Profesional

"CARTA GEOLOGICA CARBO ESCALA 1:50,000"

Esto es con el fin de que el alumno:

MANUEL VALENZUELA RENTERIA

Pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título. En espera de su respuesta, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA
Director de Trabajo Profesional

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



Enero 15, 2000.

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA

Director de Trabajo Profesional
Departamento de Geología
Universidad de Sonora
P r e s e n t e

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

"CARTA GEOLOGICA CARBO ESCALA 1:50,000"

Esto es con el fin de que el alumno: **MANUEL VALENZUELA RENTERIA** pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

DR. LUIGI RADELLI - PRESIDENTE
GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA - SECRETARIO
DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA - VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE


GEOL. J. ISMAEL MINJAREZ SOSA
Jefe de Departamento



SECRETARÍA DE MINERÍA
CARR. MI GRANERÍA
1943

C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo



NOMBRE DE LA TESIS:

"CARTA GEOLOGICA CARBO ESCALA 1:50,000"

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

MANUEL VALENZUELA RENTERIA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

DR. LUIGI RADELLI ROCCO

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA

ATENTAMENTE

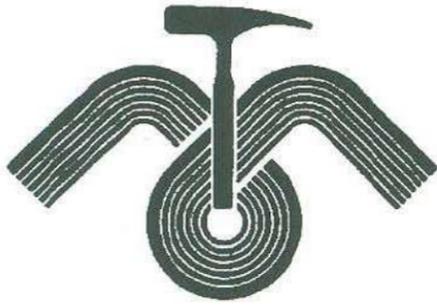
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

GEOL. J. ISMAEL MINJAREZ SOSA

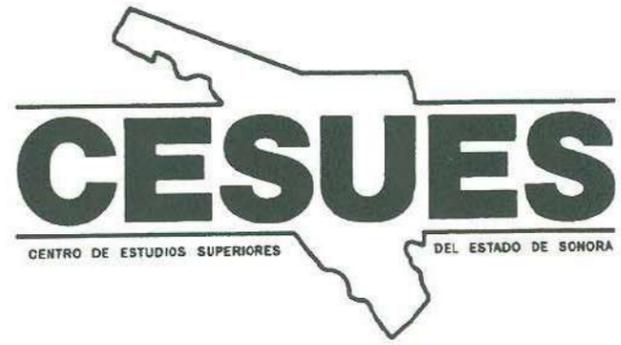
Jefe de Departamento



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA



**DIRECCIÓN GENERAL DE
FOMENTO MINERO**



**CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES
DEL ESTADO DE SONORA**

**Reporte que acompaña a la
CARTA GEOLÓGICA CARBÓ,
escala 1:50,000**



Manuel Valenzuela Rentería
Febrero de 1995

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
AREA DE ESTUDIO.....	2
GEOMORFOLOGIA Y FISIOGRAFIA.....	5
Clima y vegetación.....	5
Características fisiográfico-geomorfológicas.....	6
Provincia fisiográfica.....	10
METODO DE TRABAJO	11
ANTECEDENTES.....	12
ESTRATIGRAFIA.....	14
Cámbrico (?) sedimentario (Cs).....	14
Paleozoico (?) formación Año Nuevo (PAn)	15
Paleozoico (?) dolomía (Pd).....	19
Cretácico Inferior.....	21
Cretácico Inferior sedimentario (Kis).....	22
Cretácico Inferior Caliza Mural (KiM)	25
Cretácico Inferior Formación Cintura (KiC)	25
Terciario granito (Tgn)	26
Oligoceno andesita (Toa)	28
Oligoceno toba (Tot)	31
Oligoceno pórfido (Top).....	33
Oligoceno Superior-Mioceno Inferior basalto (Tomb)	35
Mioceno Formación Baucarit (TmB y TmBt).....	36
Mioceno pórfido (Tmp)	39
Mioceno latita (Tml).....	39
Plioceno-Cuaternario basalto (TpQb).....	40
Plioceno-Cuaternario sedimentario (TpQs).....	41
Cuaternario sedimentario (Qs).....	42
Cuaternario aluvión (Qa).....	42
GEOLOGIA ESTRUCTURAL	43
Pliegues y fallas de empuje	43
Fallas de alto ángulo	47
EVENTOS TECTÓNICOS	48
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS CITADAS	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.- Mapa del estado de Sonora, mostrando la ubicación del área cubierta por la figura 2	3
Fig. 2.- Plano de localización del área que abarca la carta geológica Carbó	4
Fig. 3.- Reducción de la carta topográfica Carbó, H12D21, mostrando las unidades fisiográficas del área.	8
Fig. 4.- Perfil esquemático de campo, al S del rancho San Martín de Porres (parte centro-sur de la carta), mostrando el Cretácico Inferior sedimentario y unidades terciarias sobreyacentes	24
Fig. 5.- Perfil esquemático de campo de la Caliza Mural al E del cerro Cueva El Tigre (parte central de la carta)	24
Fig. 6.- Perfil esquemático de campo a la distancia, en las inmediaciones del rancho Casa Colorada (parte oriental de la carta), mostrando las relaciones de algunas de las unidades terciarias.....	34
Fig. 7.- Perfil esquemático de campo de la formación Año Nuevo en el cerro ubicado inmediatamente al NE del cerro La Dorada	44
Fig. 8.- Perfil esquemático de campo de las unidades sedimentarias en la vecindad de la mina La Coqueta.....	45
Fig. 9.- Dos modelos generales para explicar el desarrollo estructural del fallamiento terciario normal ("Basin and Range"), mostrando fases temprana y tardía de desarrollo.	52
Carta Geológica Carbó, escala 1:50,000	En sobre

**REPORTE QUE ACOMPAÑA A LA CARTA GEOLÓGICA CARBO,
escala 1:50,000**

**M. Valenzuela Rentería
Febrero de 1995**

RESUMEN

La carta geológica Carbó comprende una superficie de 855 km². Se ubica aproximadamente a 55 km en línea recta al ENE de Hermosillo, Sonora. Sus rasgos fisiográfico-geomorfológicos se conforman en cuatro unidades fisiográficas paralelas, orientadas N-S, que de W a E corresponden a un valle, una serranía angosta, un valle con abundantes lomas alargadas y mesas, y otra serranía. De éstos, el primer rasgo mencionado pertenece a la Provincia del Desierto y el resto a la Provincia de Sierras y Valles Paralelos, según las definen Radelli *et al.* (1985).

La columna estratigráfica expuesta se compone de: (1) calizas y ortocuarcitas cámbricas; (2) unidades de dolomías y ortocuarcitas (formación Año Nuevo) pertenecientes probablemente al Paleozoico Superior, aunque en áreas aledañas han sido consideradas precámbricas por otros autores; (3) una secuencia del Cretácico Inferior que incluye, además de unidades indiferenciadas, a la Caliza Mural y la Formación Cintura; (4) unidades andesíticas y riolíticas, y pórfidos del Oligoceno; (5) cuerpos volcánicos e intrusivos someros, así como la Formación Baucarit, del Mioceno; (6) secuencias basálticas y de gravas y arenas pobremente clasificadas cuya edad varía del Plioceno al Cuaternario; y (7) depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.

Estructuralmente, se reconocen en el área: (1) un plegamiento de ejes NW-SE y vergencia al NE en la formación Año Nuevo producto tal vez de la orogenia Nevadiana acontecida al cierre del Jurásico; (2) fallamiento de empuje que hace que cabalgue la unidad de dolomías paleozoicas (?) sobre el resto de las unidades sedimentarias pre-terciarias, que se considera tuvieron su



emplazamiento durante el Cretácico Tardío; (3) fallamiento de alto ángulo, con orientaciones generales NW-SE, E-W y N-S, producto de al menos dos eventos distensivos ocurridos durante el Terciario.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el marco del convenio de colaboración general que mantienen la Secretaría de Desarrollo Económico y Productividad del Gobierno del Estado, a través de la Dirección General de Fomento Minero, y el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora. Representa el primer proyecto de cartografía geológica, escala 1:50,000, que en forma conjunta desarrollan ambas instituciones, con objeto de apoyar las actividades de exploración geológico-minera y, en general, contribuir al conocimiento geológico del territorio de la entidad.

ÁREA DE ESTUDIO

El área que comprende la hoja Carbó (H12D21) se localiza en la porción central del estado de Sonora (fig. 1), entre las coordenadas geográficas $29^{\circ} 30' 00''$ y $29^{\circ} 45' 00''$ de latitud Norte y $110^{\circ} 40' 00''$ y $111^{\circ} 00' 00''$ de longitud Oeste, aproximadamente a 55 km en línea recta al ENE de la ciudad de Hermosillo (fig. 2). Cubre una superficie aproximada de 895 km^2 , abarcando porciones de los municipios de Carbó, San Miguel de Horcasitas y Rayón.

El único poblado dentro del área de estudio lo constituye Carbó, cabecera del municipio del mismo nombre, ubicado a los $29^{\circ} 41''$ de latitud Norte y los $110^{\circ} 57' 25''$ de longitud Oeste en el sector noroeste del área, a escasos 4 km de su límite occidental. De acuerdo al último censo poblacional (INEGI, 1990), 5,000 personas habitaban Carbó en 1990.

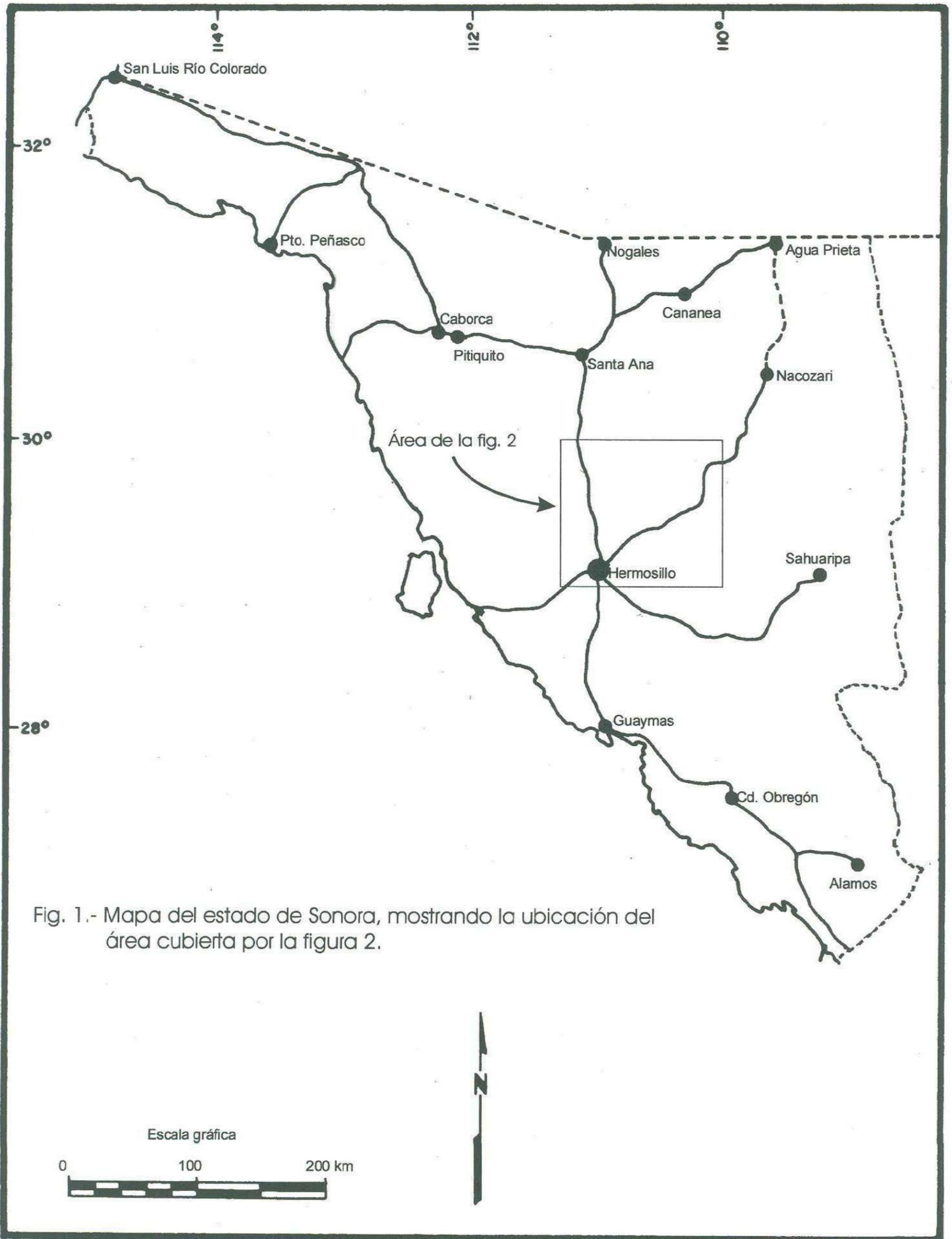
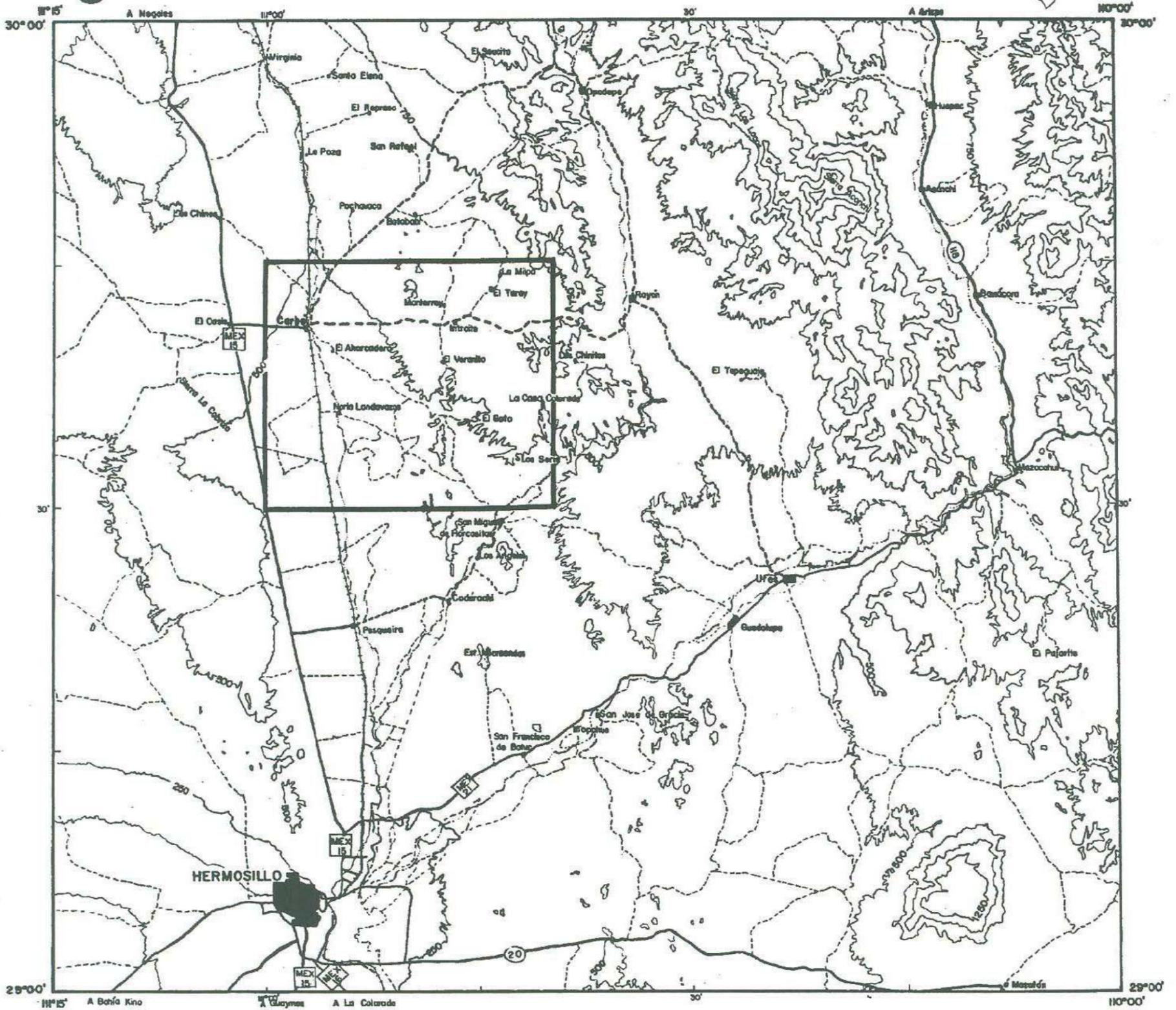


Fig. 1.- Mapa del estado de Sonora, mostrando la ubicación del área cubierta por la figura 2.



LEYENDA

Carretera		Camino en Gral.		Río		 Equidistancia Entre Curvas 250 m
Federal		Vías Férreas		Curva de Nivel (acot. en mts.)		
Estatal		Población		Límite de Área de Estudio		
Camino Vecinal		Ranchería				

Figura 2.- Plano de localización del área que abarca la carta geológica Carbó (recuadro interno).



El área es fácilmente accesible y cuenta relativamente con buena comunicación interna. Para llegar a ella a partir de la ciudad de Hermosillo (fig. 2), se toma la carretera federal no. 15 hacia el Norte, recorriendo 66 km hasta El Oasis, sitio donde se vira al Oeste por el camino pavimentado que conduce a Carbó, distante 8.5 km. De Carbó parten caminos vecinales a los poblados de Rayón, San Miguel de Horcasitas y Opodepe, los que representan las principales vías de comunicación interna del área, siendo transitables y estando en buenas condiciones la mayor parte del año. Obviamente, las citadas poblaciones representan puntos de acceso alternativos, pues están comunicados con Hermosillo por medio de otras rutas (fig. 2).

El camino que conduce de Carbó a Rayón bisecta, en una dirección E-W, la parte norte del área de la hoja Carbó, mientras que el que lleva a San Miguel de Horcasitas permite tener acceso a su porción sur. A partir de esta última población se puede acceder a la parte sudoriental del área, tomando el camino de terracería que antiguamente conducía al ejido Cerro de Oro. De estas rutas vecinales se apartan caminos hacia diferentes rancherías.

También, por medio de tren se puede tener acceso al poblado de Carbó, el cual se fundó, y desarrolló originalmente, como una estación del Ferrocarril de Sonora (actualmente Ferrocarril del Pacífico), cuyas vías, atravesando la región occidental del área en una dirección norte-sur, lo comunican con Hermosillo y con la ciudad fronteriza de Nogales, situada aproximadamente a 200 km al Norte. En las inmediaciones de Carbó se ubican dos aeropistas de terracería para aviones pequeños.

GEOMORFOLOGÍA Y FISIOGRAFÍA

Clima y vegetación

La región de la hoja Carbó cuenta con un clima semiárido extremo, semicálido a muy cálido, caracterizado por una temperatura media anual entre los 18 y 22 °C. Las lluvias principales,





que comúnmente son de carácter torrencial, se presentan en verano, por lo general durante los meses de julio a agosto, aunque también ocurren lluvias esporádicas en los meses fríos (equipatas). La precipitación media anual es de 294 mm (DETENAL, 1980 y 1981a).

De acuerdo a la clasificación de COTECOCA (1989), la vegetación que existe en el área es del tipo matorral arbosufrutescente, caracterizado por una asociación de arbustos y subarbustos de talla mediana, con árboles bajos y algunas cactáceas, con un estrato bajo constituido por hierbas y gramíneas. Los tipos más frecuentemente observados corresponden a ejemplares de palo verde (*Cercidium microphyllum*), uña de gato (*Mimosa laxiflora*), mezquite (*Prosopis juliflora*), rama blanca (*Encelia farinosa*), sangregado (*Jatropha cordata*), palo fierro (*Olneya tesota*), ocotillo (*Fouquieria* spp.) y torote (*Bursera* spp.). Las cactáceas más abundantes son la pitahaya (*Leaireocereus turberi*) y la choya (*Opuntia* spp.), mientras que el zacate natural corresponde al conocido como navajita (*Bouteloua* spp.). El zacate buffel (*Cenchrus* spp.) ha sido introducido en grandes extensiones de terreno donde se han establecido praderas artificiales con fines ganaderos, sobre todo en la porción occidental del área. Por otro lado, en su parte oriental se observaron ejemplares de pochote (*Ceiba* spp.), palo blanco, palma y yuca (*Yucca* spp.), aunque relativamente en bajas cantidades.

La densidad de la vegetación es variable, siendo mayor en cañadas y en las partes central y centro-suroriental del área, en donde la uña de gato es tan abundante en algunas mesetas, lomeríos y laderas de cerros que se dificulta grandemente el caminar. Los mezquites más desarrollados ocurren en los bajíos escarbados por las corrientes mayores.

Características fisiográfico-geomorfológicas

Las corrientes principales del área son los ríos Zanjón y el San Miguel. El Zanjón, en cuya ribera se localiza la población de Carbó, corre de Norte a Sur atravesando toda el área de estudio. Sólo escurre cuando hay precipitaciones considerables sobre grandes extensiones de terreno aguas



arriba. Por su parte, el Río San Miguel fluye por lo general casi todo el año, del NW al SE, por la esquina SE de la carta Carbó. El resto de las corrientes son efímeras transportando escurrimiento superficial solamente durante o inmediatamente después de las precipitaciones. El drenaje del área de estudio es bien integrado.

Con base en el análisis de la carta topográfica y a las observaciones de campo, el área de estudio se subdividió en cuatro regiones con rasgos fisiográfico-geomorfológicos que reflejan los procesos geológicos que han operado en esta parte de la entidad. Estas regiones, que denotaremos como unidades fisiográficas, son paralelas en una dirección N-S a NNW-SSE. (fig. 3).

La unidad 1 (fig. 3) es la más occidental de ellas y abarca aproximadamente el 50 % del área de la carta. Corresponde a parte del valle que aloja al Río Zanjón, que se extiende desde las inmediaciones de Querobabi al Norte hasta al Sureste de Hermosillo. El río Zanjón, que atraviesa a la unidad fisiográfica 1 por su parte oeste, indica que la pendiente regional en esta parte del estado de Sonora es hacia el Sur, lo que confirman los ríos San Miguel y Sonora los cuales, más al Este, son paralelos al Zanjón e igualmente fluyen de Norte a Sur.

La unidad 1 está caracterizada por un patrón de drenaje paralelo de los tributarios del río Zanjón. Las líneas de drenaje ubicadas al Oeste del río están orientadas NW-SE, fluyendo hacia el SE, mientras que aquellas al Este se orientan preferencialmente NE-SW, drenando hacia el SW. Este patrón se explica debido a que el valle se eleva, con pendiente muy suave pero relativamente constante, hacia las serranías que lo limitan, salvo en la porción sudoriental de la región en la cual se encuentran mesetas bajas, relativamente amplias, constituidas por gravas y arenas no consolidadas del Terciario más superior al Cuaternario. Sin embargo, en esta parte también las líneas de corriente muestran una disposición paralela (fig. 3).

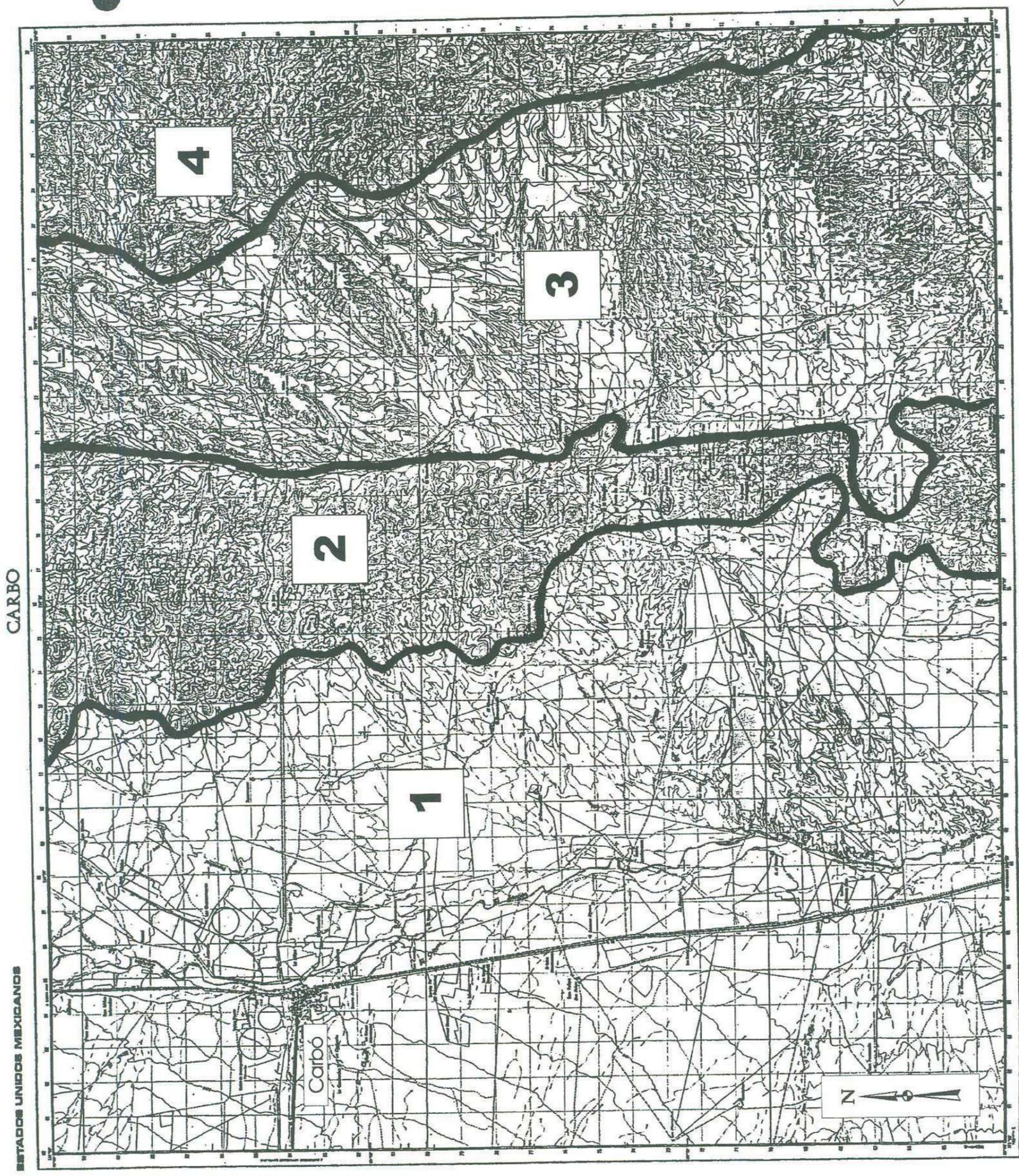


Figura 3.- Reducción de la carta topográfica Carbo, H12D21, mostrando las unidades fisiográficas del área. Note lo rectilíneo del límite entre las unidades 2 y 3.

Reporte que acompaña a la carta geológica Carbo, escala 1:50,000



Inmediatamente al Este de la región anterior, se encuentra una serranía que corre casi ininterrumpidamente de Norte a Sur por la parte central del área de estudio, la cual constituye la unidad fisiográfica 2 (fig. 3). Se caracteriza por: (1) ser relativamente angosta (6 km en su parte más ancha), (2) su elongamiento casi N-S, y (3) su heterogeneidad en formas del terreno, pues se aprecian desde lomeríos hasta cerros de altas pendientes y con escarpes, abundando las formas casi cónicas.

La topografía más abrupta se aprecia en su extremo Norte, que también es la más ancha de la unidad, en la que se alcanzan alturas de hasta 950 m.s.n.m en el cerro localizado inmediatamente al SE de la capilla de Fátima (rancho Monterrey). En su parte central y sur predominan los lomeríos y cerros pequeños, siendo en este sector donde la serranía se ve cortada por pequeños valles transversales, destacando el hecho de que el arroyo Punta de Agua, el cual habiendo corrido consecuentemente de Norte a Sur al oriente de la parte norte de la unidad 2, la atraviesa en su parte central para seguir posteriormente una trayectoria NNE-SSW, tras internarse en la unidad 1 hasta que se une al río Zanjón (fig. 3).

Las características fisiográficas de la unidad 2 son el resultado de procesos ígneo-tectónicos. Está compuesta principalmente de rocas volcánicas, tanto superficiales como intrusivas someras, y en menor proporción de rocas sedimentarias paleozoicas y cretácicas, afectadas por varios eventos tectónicos. Su tren N-S se debe a que está bordeada, en su flanco oriental, por una falla de alto ángulo, la cual corre casi a todo su largo.

La unidad fisiográfica 3 corresponde a una depresión relativa entre las serranías que corresponden a las regiones 2 y 4 (fig. 3). Esta compuesta de lomeríos, presentándose asociados a ellos mesetas en su parte norte y central. Los lomeríos y mesetas se han generado por erosión de depósitos de conglomerados no consolidados. Las corrientes principales en la parte central y norte de la unidad muestran una disposición paralela con una orientación NE-SW, drenando hacia este último



punto cardinal. Sus tributarios son paralelos entre sí, pero sus orientaciones son variables correspondiendo a la de las laderas de las lomas y mesetas en las cuales se ubican sus cabeceras.

La unidad 4 es una zona de relieve muy variable, predominando los cerros de topografía abrupta y muy escarpados, aunque se encuentran también lomeríos y algunas mesetas. En esta región se encuentra el punto de mayor altura del área de estudio el cual alcanza los 980 m.s.n.m., ubicándose en el extremo NE de la hoja Carbó. Las rocas que subyacen a esta región son principalmente volcánicas y en menor proporción rocas sedimentarias continentales de la clase de los conglomerados. Los cerros más abruptos y escarpados están compuestos por el primer tipo mencionado. Como se verá más adelante, la unidad 4 corresponde a la parte elevada de un gran bloque basculado generado por la tectónica distensiva del Terciario.

Provincia fisiográfica

El área de estudio ha sido incluida en diferentes provincias o subprovincias fisiográficas. Según King (1939), la región de Carbó está comprendida en la Provincia del Desierto, mientras que de acuerdo al esquema de Raisz (1964) pertenece a la Provincia de Sierras Sepultadas. Por otra parte, en la carta fisiográfica Tijuana (DETENAL, 1981b), el área de estudio se encuentra en la Subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorense de la Provincia Fisiográfica de la Llanura Sonorense.

Más recientemente, Radelli *et al.* (1985) modificaron el límite entre la Provincia del Desierto y la de Sierras y Valles Paralelos de King (*op. cit.*) para colocarlo en la línea que sigue el lado oriental de los valles de Empalme-La Colorada-Hermosillo-Carbó-Querobabi, ya que debido a dichos autores (*op. cit.*) al Este de ese límite las sierras muestran el carácter elongado indicado por King como típico de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos. Por lo tanto, de acuerdo al trabajo de Radelli *et al.* (*op. cit.*) el área de la hoja Carbó quedaría incluida en dos provincias fisiográficas, puesto que la línea que ellos marcan corresponde con el límite entre las unidades fisiográficas 1 y 2



de este trabajo. De esta forma, la unidad 1 correspondería a la Provincia del Desierto mientras que las unidades 2, 3 y 4 pertenecerían a la Provincia de Sierras y Valles Paralelos.

La modificación de Radelli *et al.* (op. cit.) hace mucho sentido para esta parte del estado de Sonora, puesto que al Oeste del límite establecido por ellos, las sierras son más angostas e irregulares y los valles son más amplios en relación con las sierras que al Este del mismo.

Es comúnmente aceptado que la región en que se encuentra el área de estudio corresponde a la extensión en México de la provincia "Basin and Range" del suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica (e.g. Radelli, 1986; Henry y Aranda-Gómez, 1992), la cual tuvo su origen por extensión en el Terciario medio de esta parte del continente.

METODO DE TRABAJO

Para la elaboración de la carta geológica Carbó se desarrollaron las siguientes tareas:

- 1.- Interpretación morfogeológica y fisiográfica de la carta topográfica DETENAL H12D21, escala 1:50,000, a partir de la cual, además se trazó un plano de drenaje para establecer los patrones que conforman las corrientes de escurrimiento superficial.
- 2.- Análisis de la imagen de satélite LANDSAT, de escala aprox. 1:250,000, que contiene al área de estudio.
- 3.- Interpretación de las fotografías aéreas INEGI, sobre mascarillas de papel herculene, utilizando un estereoscopio de espejos Luft modelo MS-27. Primeramente, se hizo una interpretación preliminar, la que a medida que progresaba el trabajo de campo se modificaba, pues posteriormente a cada salida al campo, las fotografías del área visitada y las de partes vecinas se volvían a analizar. Manualmente se vaciaron los contactos y rasgos estructurales a planos



topográficos base los que, además de las fotografías aéreas, se utilizaban para el trabajo de campo.

- 4.- Durante el trabajo de campo se realizaron caminamientos, preferencialmente transversales a las estructuras, durante los que, entre otros aspectos, se realizaba lo siguiente: (1) perfilado; (2) verificación de contactos y rasgos estructurales; (3) caracterización de unidades y sus relaciones; (4) muestreo para fines petrográficos, marcándose la localización de muestras sobre el plano topográfico; (5) datos de actitudes; y, (6) fotografiado de rasgos relevantes.
- 5.- Estudio petrográfico de láminas delgadas de muestras representativas de las diversas unidades, utilizándose un microscopio Carl Zeiss modelo Universal, con cámara fotográfica.
- 6.- Tabulación de datos y comparación de las características y rasgos geológicos del área con las de otros lugares mediante experiencia directa o por el análisis de bibliografía.

ANTECEDENTES

El presente trabajo representa el primer intento por esclarecer la geología del área de la hoja Carbó, pues salvo su inclusión en la carta geológica Hermosillo, H12-8 (DETENAL, 1982), y un proyecto realizado en 1991 por la Dirección de Fomento Minero del Estado de Sonora para localizar sitios para establecer una cementera, los estudios geológicos previos son prácticamente inexistentes. Hay que aclarar que esto es sin tomar en cuenta los posibles proyectos que hayan realizado compañías mineras o de exploración, los cuales son de carácter interno y no están disponibles al público.

La carta geológica Hermosillo, H12-8, fue editada en 1982, por la entonces existente Dirección General de Geografía del Territorio Nacional (DETENAL; hoy INEGI) de la Secretaría de Programación y Presupuesto, a una escala de 1:250,000 lo que hace que sea demasiado general.



El reporte de la Dirección General de Fomento Minero (1991) ya mencionado, se derivó del estudio a semidetalle de cuatro localidades con objeto de establecer su potencial para la elaboración de cemento. Las localidades Carbó, Punta de Agua y El Padre de ese estudio se encuentran comprendidas dentro del área de la hoja Carbó. En ellas afloran principalmente dolomías y ortocuarcitas con complejas relaciones estratigráfico-estructurales. Sin embargo, las observaciones y descripciones geológicas de tales localidades presentadas en el citado estudio, son demasiado generales o se contraponen con los datos recabados en el transcurso del presente trabajo.

Sin especificar la geología del área que ocupa la carta Carbó, en un trabajo de síntesis geológica regional, Radelli (1986) postula que la formación de las morfoestructuras dominantes en una dirección más o menos norte-sur del área, se debe a la generación durante el Oligoceno Tardío al Mioceno Temprano de la "caldera resurgente gigante San Miguel", la cual tendría una forma elíptica con ejes de 140 km de largo en una dirección N-S y de 65 km en una dirección E-W.

De las áreas aledañas, Castro y Morfin (1988 a y b) realizaron la cartografía de la hoja Rayón (H12D22), que colinda con el área de estudio por el oriente, si bien el énfasis principal de su trabajo fue la zona de Cerro de Oro. Dicha zona, que se ubica a escasos 4 kilómetros al oriente del límite Este de la Hoja Carbó, es la más conocida por su interés geológico-minero debido a los yacimientos auríferos que alberga. Aparte de los trabajos de exploración efectuados por diversas compañías, el área de Cerro de Oro ha sido también estudiada por Sitten-Ayala (1987), González-Léon y Jacques-Ayala (1988) y Monreal (1994). Si bien con diferencias notables entre ellos, los autores anteriores han abordado tanto la estratigrafía como la geología estructural de dicha área, estableciendo para ésta una columna estratigráfica que comprende rocas sedimentarias consideradas precámbricas, cretácicas y terciarias, rocas volcánicas del Cretácico Superior-Terciario inferior así como del Terciario medio a superior y rocas graníticas cretácicas, siendo afectadas por una diversidad de estructuras.



Por otra, Figueroa-Valenzuela y Grijalva-Haro (1988) levantaron la geología de la Hoja Opodepe (H12D12), la cual se ubica al noreste de la hoja Carbó.

ESTRATIGRAFIA

Cámbrico (?) sedimentario (Cs)

Solamente un pequeño afloramiento de rocas de probable edad cámbrica se encuentra en el área de estudio, en la falda NE del cerro El Carrizo. La sección expuesta, que posiblemente no rebasa los 20 metros de espesor, consiste en la base de packstone de oncolitos, de color gris medio con manchones rojizos, en capas medianas muy resistentes, cuyas superficies de separación están marcadas por estilolitas. Los oncolitos miden en promedio aproximadamente 3 cm de diámetro, y en algunos es posible distinguir fragmentos de fósiles como núcleos de los mismos.

Sobre las rocas anteriores, se tiene un intervalo de packstones y grainstones en lajas a capas delgadas de color amarillo deslavado. Los aloquímicos que contienen corresponden a fragmentos de fósiles, pudiéndose apreciar restos de trilobites y de un organismo cónico de dimensiones menores a un centímetro, que probablemente correspondan a *Hyolithes sp.* Estos fragmentos fósiles se reconocieron embebidos en la roca, ya que no fue posible coleccionar especímenes identificables debido a la fuerte recristalización de las rocas.

El intervalo anterior es sobreyacido por unas cuantas capas de packstone de oncolitos muy semejantes a los del paquete inferior, salvo que no presentan estilolitización. A su vez son suprayacidas, después de un intervalo cubierto, por ortocuarcitas que igualmente afloran de manera muy limitada. Las ortocuarcitas son de color blanco, en capas medianas, presentándose muy fracturadas y brechadas tectónicamente. Una falla de alto ángulo separa las ortocuarcitas de rocas volcánicas del Terciario.





Si bien no fue posible encontrar fósiles con un estado de preservación que permitiera su identificación, se considera que la edad más probable para estas rocas es cámbrica debido a: (1) la presencia de oncolitos, trilobites, y probables restos de *Hyolithes* sp.; y (2) a la gran afinidad litológica que presentan con sucesiones cámbricas que afloran en la región de Caborca y en San José de Gracia (Cooper *et al.*, 1956; y mis datos de campo), así como en la región de Arivechi (M.A. Fernández y E. Almazán, com. oral).

Las relaciones estratigráficas de estas rocas con otras unidades se desconocen, ya que como se mencionó, su base, y muy probablemente la mayor parte de la secuencia, se encuentra cubierta, estando solamente, por su parte superior, en contacto por falla con rocas terciarias.

Paleozoico (?) formación Año Nuevo (PAn)

Originalmente, esta unidad litoestratigráfica fue introducida, sin apearse completamente a los lineamientos del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983), por Castro y Morfín (1988a y b) como "unidad" Año Nuevo del grupo La Palma, para referirse a una alternancia de ortocuarcitas y dolomías, de supuesta edad precámbrica, que afloran en la región de Cerro de Oro. Sin embargo, al no tener el término "unidad" ninguna categoría estratigráfica reconocida, en este trabajo se refiere a ella de manera informal como formación.

Por otro lado, no se utiliza el término "grupo La Palma" en este reporte, debido a que debe ser abandonado y retirado de la nomenclatura estratigráfica, ya que existe el problema de homonimia y de prioridad (art. 7, incisos a y b del Código; NACSN, 1983) con la "Formación La Palma" introducida por González-León y Jacques-Ayala (1988) para rocas cretácicas también del área de Cerro de Oro.

De acuerdo a Castro y Morfín (1988a y b), la formación Año Nuevo constituye la unidad estratigráficamente más superior de su grupo La Palma, estando infrayacida por las unidades El Tapiro y El Alamo, las cuales están constituidas por ortocuarcitas y areniscas arcósicas



respectivamente. Dichos autores (op. cit.) establecieron una edad precámbrica para estas unidades pero en este trabajo se considera que es más probable que la formación Año Nuevo sea paleozoica por las razones que se dan más adelante. Las unidades El Tapiro y El Alamo de Castro y Morfín (op. cit) no afloran en el área de la hoja Carbó.

La formación Año Nuevo está compuesta en el área de la carta Carbó por paquetes de ortocuarcitas y/o ortocuarcitas conglomeráticas a conglomerados alternantes con paquetes de dolomías, dolomías arenosas y calizas dolomíticas.

Los paquetes ortocuarcíticos son bastante resistentes al intemperismo y erosión, y en general presentan una coloración blanca, salvo en lugares donde se ha introducido óxido de hierro impartiendo una coloración rojiza clara a oscura a las capas. Estas rocas presentan estratificación plana paralela en capas medianas y en menor grado en capas gruesas. Algunos paquetes están compuestos íntegramente por ortocuarcitas supramaduras de grano fino a medio, internamente masivas, laminadas o con estratificación cruzada de escala centimétrica, mientras que otros, están conformados por capas que internamente presentan bandas de ortocuarcita de grano fino a medio alternando con bandas de ortocuarcita de grano grueso y/o conglomerado de gránulo, en las cuales los fragmentos de roca son de ortocuarcitas. Estas bandas alternantes en promedio tienen un espesor de 5 cm y representan ciclos de finos hacia arriba, lo que indica depositación por corrientes que disminuían en intensidad. Estas características son fácilmente observadas en las inmediaciones de la mina La Coqueta y en el cerro localizado a 1,700 m al SSE de la mina La Dorada.

A menos de un kilómetro al SW de esta última localidad, en el paquete más superior de ortocuarcitas de la formación Año Nuevo, aparecen hacia la cima niveles de conglomerados y brechas intercalados con lodolitas. Estos conglomerados son lateralmente discontinuos y están compuestos de clastos de ortocuarcita, subredondeados a redondeados, de baja a intermedia esfericidad, alcanzando tamaños de hasta 20 cm. Su matriz es arenosa a microconglomerática, siendo sílice el cementante. Las brechas son litológicamente similares a los conglomerados, salvo



que los clastos son angulosos. Las lodolitas son de coloración café, café rojizas a gris oscuro, presentándose muy fracturadas en intervalos de unos cuantos metros de espesor. Estas litologías no se observaron en niveles estratigráficamente más inferiores de la unidad.

Las dolomías de la formación Año Nuevo son de color gris medio, gris verdoso a café y café claro a oscuro. Presentan una estratificación plana a irregular, siendo las capas por lo general medianas. Presentan laminaciones que en numerosas ocasiones están contorsionadas, dando la impresión de estratificación convoluta. Esto asemeja, estructuras estromatolíticas del tipo laminar, pero no se encontraron evidencias conclusivas al respecto debido a la fuerte recristalización, alteración y/o mineralización que presentan estas rocas. Igualmente, no se encontraron estromatolitos columnares como los que reportan Castro y Morfín (1988a y b) en la región de Cerro de Oro. En ocasiones, los paquetes dolomíticos comprenden horizontes de rocas que efervescen ligeramente con el ácido clorhídrico, por lo que se consideraron como calizas dolomíticas, aunque podría tratarse de rocas afectadas por dedolomitización.

La formación Año Nuevo es una unidad muy competente que se presenta plegada y fallada, lo que ha provocado una fuerte fracturación de sus rocas (especialmente las siliciclásticas), obscureciendo sus características e impidiendo determinar su espesor estratigráfico real.

En general, al igual que para el resto de las unidades pre-terciarias, los afloramientos de la formación Año Nuevo son limitados en extensión, ocurriendo en la serranía que corre Norte Sur por la parte central del área de estudio (unidad fisiográfica 2).

Ni la base ni la cima de la formación Año Nuevo afloran en el área de estudio. En las inmediaciones de la mina La Coqueta, está sobreyacida estructuralmente por dolomías de la unidad Pd del Paleozoico superior(?).

Al SW de la mina La Dorada, la formación Año Nuevo está sobreyacida por rocas del Cretácico Inferior, correlativas probablemente con la Formación Cerro de Oro de González-León y



Jacques-Ayala (1988), siendo el contacto entre ambas por falla. En este lugar, la diferencia en rumbo y/o echado entre rocas de la formación Año Nuevo y la Cerro de Oro es menor a 10 grados. Sin embargo, la secuencia se presenta fallada y plegada además de que el contacto aflora solamente sobre una corta distancia.

La formación Año Nuevo fue asignada al Precámbrico por Castro y Morfin (1988a y b). Así mismo, González-León y Jacques-Ayala (1988) dieron una edad precámbrica a su formación Las Víboras, que es equivalente al "grupo La Palma" de los autores primeramente citados, y que por lo tanto comprende a las rocas de la formación Año Nuevo. Sin embargo, en este trabajo, se considera que es muy probable que la formación Año Nuevo forme parte del Paleozoico, y en particular de los sistemas superiores del mismo, debido a las siguientes razones:

- 1.- Los clastos de los horizontes conglomeráticos de esta unidad son de ortocuarcitas, indicando un área fuente donde afloraban secuencias sedimentarias más antiguas que contenían al menos rocas de esta naturaleza.

Si la formación Año Nuevo fuera precámbrica, lo expresado en el párrafo anterior implicaría que en el Estado de Sonora, habría dos secuencias sedimentarias precámbricas discordantes. Sin embargo, nada semejante se ha reportado en la literatura. Más aún, ni siquiera se han reportado en ningún lugar rocas de indiscutible edad precámbrica conteniendo conglomerados de ortocuarcitas. Por tal razón, se duda de tal edad para la formación Año Nuevo.

- 2.- Esto impone un límite inferior de post-Cámbrico Tardío para la edad de la formación Año Nuevo, ya que las rocas más antiguas que pudieron haber servido como fuente, corresponden a las secuencias del Precámbrico superior-Cámbrico Medio reportadas en diferentes localidades del Estado (e.g. Longoria y González, 1979; Stewart *et al.*, 1984). Aún más, existe la posibilidad de que las rocas fuente sean inclusive más jóvenes. Por ejemplo, Ketner (1986) ha descrito ortocuarcitas ordovícicas en Sonora central.



3.- La formación Año Nuevo presenta una gran similitud litológica con rocas expuestas en la región de Sahuaripa, las cuales fueron originalmente adscritas al Cretácico Inferior por Flinn (1977) e Himanga (1977) y posteriormente asignadas al Paleozoico superior por Pubellier (1987). Específicamente, la formación Año Nuevo se asemeja bastante a la unidad "miembro Macho" de Flinn (1977) e Himanga (1977), el cual está compuesto de una alternancia de paquetes de dolomías y calizas dolomíticas intercalados con paquetes de ortocuarcitas. Algunas de estas rocas son de grano grueso y "policristalinas" (¿conglomeráticas?) (Flinn, op. cit.). Pubellier (1987) asignó estas rocas al cierre del Misisípico-inicio del Pérmico, estableciendo que la secuencia en esa región termina con un potente paquete de dolomías sin fósiles, el cual a su vez asemeja a la unidad de dolomías (unidad Pd) que sobreyace a la formación Año Nuevo en la región de Carbó. De esta forma, si la correlación de la parte superior de la secuencia paleozoica de Sahuaripa con estas unidades de Carbó es válida, entonces, la edad de la formación Año Nuevo muy probablemente sea Paleozoico tardío.

Paleozoico (?) dolomía (Pd)

Esta unidad está compuesta predominantemente de dolomías, presentando en menor proporción dolomías arenosas, areniscas dolomíticas, y ortocuarcitas, con algunos intervalos con lentes y nódulos de pedernal, formando un paquete de rocas muy distintivo.

La unidad no ha sido nombrada previamente. En la región de Cerro de Oro al parecer se presentan rocas correlativas con esta unidad, pero González-León y Jacques-Ayala (1988) las incluyeron en su formación Las Víboras, en la que abarcaron a todas las rocas de supuesta edad precámbrica de ese lugar. Por otra parte, Castro y Morfín (1988a y b) aparentemente las incluyeron en la formación Año Nuevo.

Las dolomías de esta unidad son principalmente de color gris, aunque se presentan tonalidades que varían desde el gris muy claro casi blanco hasta el muy oscuro. Así mismo, ocurren



rocas con colores verdosos, cafés o muy rojizas. La estratificación es predominantemente mediana a gruesa, aunque se tienen capas masivas y delgadas. Si bien la mayoría de las dolomías no muestran estructuras internas, algunos horizontes presentan laminaciones muy finas, onduladas e irregulares, algunas de las cuales pueden atribuirse a estructuras estromatolíticas laminares.

Así mismo, se encuentran niveles con pedernal blanco, café y negro, en forma de nódulos (de hasta 50 cm en diámetro), hilillos paralelos a la estratificación y menos comúnmente en capas delgadas.

Hacia la parte media de la unidad, se tiene un intervalo que destaca desde la distancia por lo resistente y por su coloración oscura. Consiste de dolomías color gris muy oscuro a azulado, masivas, separadas en su parte media por un paquete que intemperiza en una tonalidad anaranjada de capas delgadas a medianas, algunas de las cuales son arenosas y otras están compuestas de areniscas dolomíticas.

Las lodolitas de la unidad son de color rojizo, lo que atestigua a su carácter ferruginoso. Se presentan en horizontes delgados (por lo común menores de 10 cm) separando a capas de dolomías o dolomías arenosas. Algunas son de estratificación ondulada, observándose a veces laminaciones muy finas y rizaduras.

La unidad de dolomías se presenta en contacto estructural con la formación Año Nuevo y con rocas de edad cretácica. Estas relaciones se observan en la vecindad de la minas El Cucharón y La Coqueta. Por otro lado, se desconoce su límite superior ya que no es suprayacida por otras unidades, siendo recubierta por sedimentos no consolidados recientes.

Aun cuando se desconocen las relaciones estratigráficas de la unidad de dolomías Pd, debido a su contenido litológico se considera que forma parte de la misma secuencia sedimentaria que la formación Año Nuevo.





Así, la unidad de dolomías Pd muy probablemente pertenezca al Paleozoico superior debido, tanto a las razones expresadas para la formación Año Nuevo, como por la semejanza que guarda con las unidades más superiores del Paleozoico que afloran en la porción centro-oriental del Estado.

Cretácico Inferior

El Cretácico está representado en el área de la carta Carbó por depósitos sedimentarios similares a los que afloran en Cerro de Oro donde tanto Castro y Morfín (1988 a y b) como González-Léon y Jacques-Ayala (1988) y Monreal (1994) han descrito la secuencia cretácica y propuesto esquemas de nomenclatura estratigráfica con notables diferencias.

Los primeros autores citados reconocieron unidades sedimentarias del Cretácico Inferior que agruparon en el "Grupo Cerro de Oro" propuesto por ellos. Este grupo lo subdividieron en las formaciones Los Tubos, Caliza Antúnez y Los Valles, siendo predominantemente terrígenas la primera y la última de ellas, mientras que la segunda se compone de calizas fosilíferas resistentes a la erosión. Castro y Morfín (op. cit.) le atribuyeron una edad aptiano-albiano y quizá hasta cenomaniano ("parte baja") a la secuencia y la correlacionaron con otras secciones de Sonora incluyendo la del Grupo Bisbee en el NE de la entidad. No identificaron unidades sedimentarias asignables al Cretácico Superior.

Por otra parte, González-Léon y Jacques-Ayala (1988) describen con mayor detalle la sección cretácica. Introducen la Formación Cerro de Oro para la base de la secuencia cretácica, reconocen incompleto al Grupo Bisbee (formaciones Morita, Mural y Cintura) y emplean el término "Formación La Palma" para una unidad terrígena sin fósiles que atribuyen al Cretácico Superior por sobreyacer discordantemente a su formación Cerro de Oro y por contener, entre otros, clastos retrabajados provenientes de la Caliza Mural. Monreal (1994) sigue este esquema con la modificación de incluir la Formación Cerro de Oro en el Grupo Bisbee.



Tras un análisis comparativo entre las descripciones y los esquemas nomenclaturales anteriores con las características que presenta el Grupo Bisbee en su área tipo en el SE de Arizona, según lo describen Ransome (1904) y Hayes (1970), y con base en los datos de campo recabados, en los lineamientos del Código Estratigráfico Norteamericano (NACSN, 1983) y las indicaciones de Monreal (com. oral, 1994), en este trabajo se sigue el esquema litoestratigráfico de González-Léon y Jacques-Ayala (op. cit.), según lo modificó Monreal (op. cit.), pues se considera que las unidades se apegan a las características generales de su área tipo y no se requiere de un nuevo juego de nombres. Además, tal esquema ya ha sido utilizado por otros autores (e.g. Grijalva-Noriega, 1991).

Sin embargo, hay que aclarar que en la hoja Carbó no fue posible diferenciar con certeza entre las formaciones Cerro de Oro y Morita ni tampoco se detectó alguna unidad litoestratigráfica que pueda corresponder a la Formación La Palma asignada al Cretácico Superior. Además, no se presenta ninguna sección donde las distintas unidades cretácicas aflorantes se presenten en contacto estratigráfico unas con otras.

Cretácico Inferior sedimentario (Kis)

Para fines cartográficos, en Kis se agruparon las rocas sedimentarias del Cretácico Inferior indiferenciadas que no pertenecen a las formaciones Mural y Cintura. Afloran pobremente, pero dadas sus características litológicas pueden corresponder a las formaciones Cerro de Oro (González-Léon y Jacques-Ayala, 1988) o Morita. Ocurren en la parte central-sur del área de estudio inmediatamente al SW del cerro La Bolada, aunque también se detectó un pequeño afloramiento al SW de la mina La Dorada.

En este último lugar, la secuencia parece corresponder con la parte inferior de la Formación Cerro de Oro. A juzgar por la descripción de González-Léon y Jacques-Ayala (1988), se encuentra invertida y, por su parte estratigráficamente más alta, en contacto por falla con la formación Año Nuevo. El intervalo más inferior expuesto, estratigráficamente hablando, consiste de un



conglomerado, que aflora pobremente, compuesto de clastos bien redondeados, con moderada a alta esfericidad, de ortocuarcita blanca y rosada, ortocuarcita conglomerática, pedernal, dolomía y rocas volcánicas. A esto le sigue un intervalo semicubierto, en el cual afloran areniscas de grano fino con abundantes fragmentos volcánicos y feldespatos, en capas delgadas, laminadas y color verdoso.

Estratigráficamente sobreyaciendo a lo anterior, se presenta una unidad resistente a la erosión, compuesta de areniscas y calizas arenosas, laminadas, color café oscuro, con parches y lentes color gris de mudstone y wackestone fosilífero, conteniendo restos de gasterópodos turrítelados y *Nerinea* sp., braquiópodos y probables ostreas. A lo anterior, le sigue una intercalación de lutitas grises a moradas a verdosas con areniscas de grano fino a verdes, laminadas en capas delgadas. La sección termina con un paquete de lutitas muy oscuras de tonalidad morada, intrusionada por un pórfido, y en contacto por falla de empuje con la formación Año Nuevo. Como ya se mencionó, el contacto inferior de la unidad no aflora, estando recubierto por sedimentos no consolidados cuaternarios.

En la parte centro-sur de la carta, al Sur del rancho San Martín de Porres, se reconocieron afloramientos de unos cuantos metros de espesor de areniscas arcósicas, de grano fino, calcáreas, color verde claro a medio, con lentes de calizas fosilíferas (ostreas) y paquetes de areniscas de grano medio, angulosos, de color rojizo con manchones verdes en superficie fresca intemperizando en color morado oscuro, en capas medianas, seguidas por un intervalo de 2 a 3 metros de capas medianas de calizas resistentes, que varían de wackestone a packstone fosilífero y/o packstone de intraclastos alargados de aproximadamente 5 cm de longitud, recubriéndose por sedimentos recientes no consolidados (fig. 4). Lateralmente, estos afloramientos se pierden en distancias de unos pocos metros. En esta localidad, no se observa el límite inferior de la secuencia cretácica ni tampoco el superior, pues donde no está cubierta por aluvión, se encuentra sobreyacida por rocas volcánicas riolíticas de la unidad terciaria Tot (fig. 4).



Figura 4.- Perfil esquemático de campo al S del Rancho San Martín de Porres (parte centro-sur de la carta), mostrando el Cretácico Inferior sedimentario y unidades terciarias sobreyacientes. Ver el texto para mayor explicación (escala horizontal aproximada).

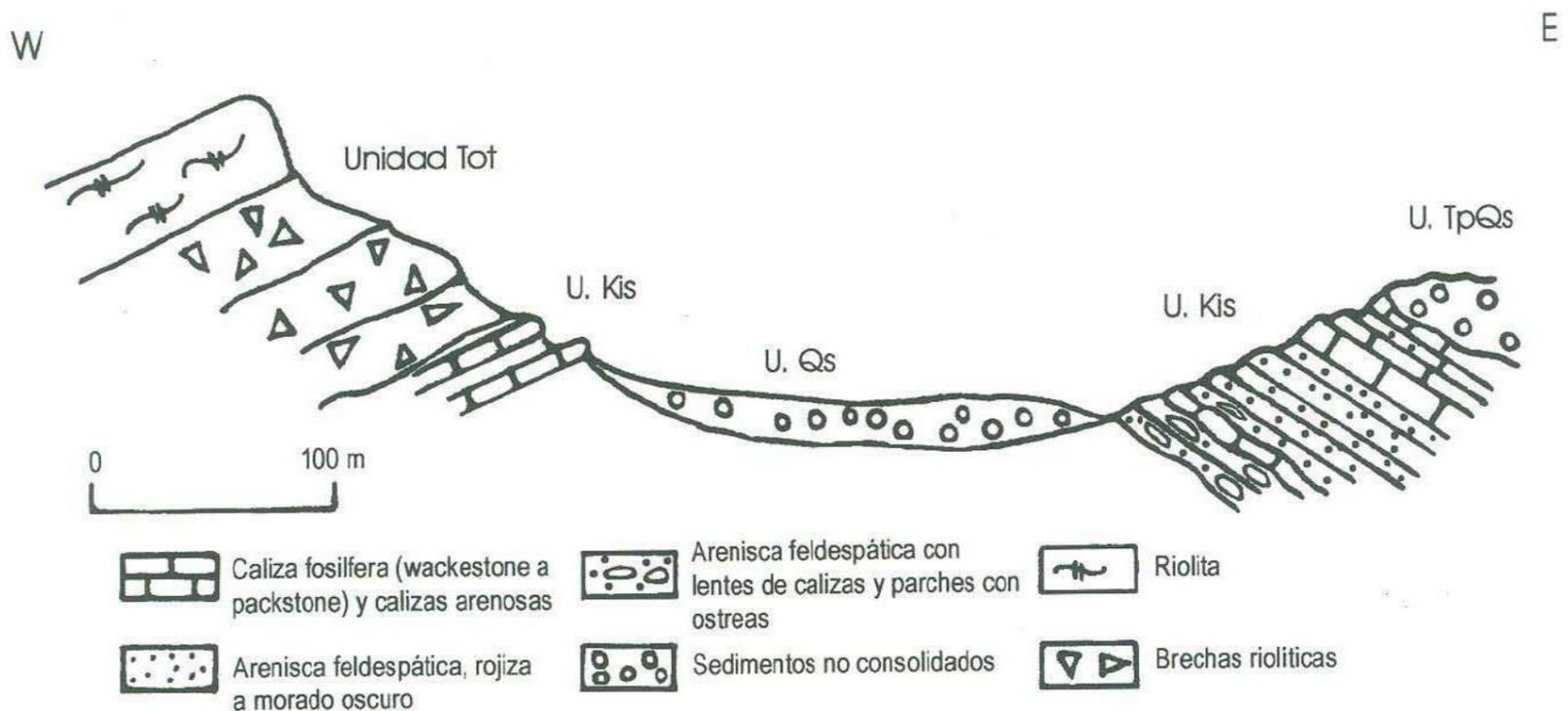
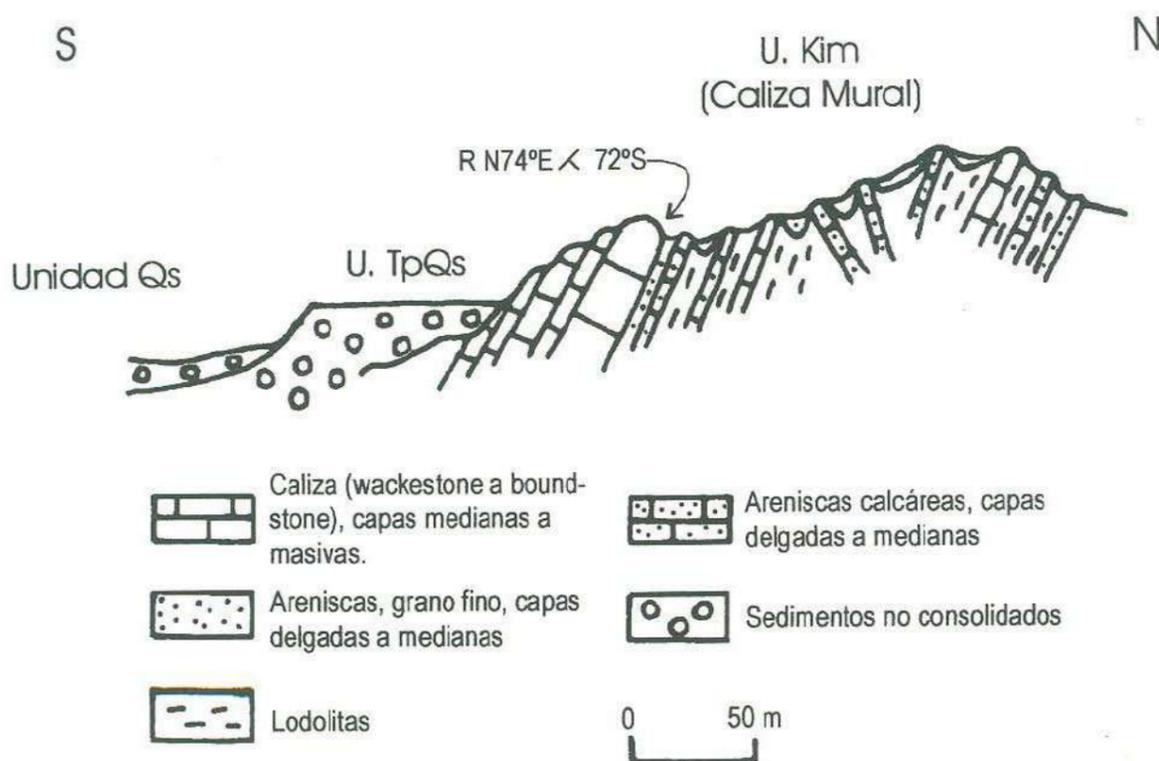


Figura 5.- Perfil esquemático de campo de la Caliza Mural al E del cerro Cueva El Tigre (parte central de la carta). Ver el texto para mayor explicación (escala horizontal aproximada).





Cretácico Inferior Caliza Mural (KiM)

Esta formación también aflora de manera incompleta en el área de estudio. Se presenta en dos localidades, siendo la de mayor área la ubicada en la parte Norte-central de la carta pero donde se encuentra tan afectada por efectos de intrusiones más jóvenes como para oscurecer sus características originales.

La otra localidad se ubica entre el cerro Cueva el Tigre y la Mina La Dorada, donde está en contacto por falla con la formación Año Nuevo. Aquí, su parte inferior (fig. 5) consiste de una intercalación, más o menos rítmica, de calizas arcillosas y arenosas, packstone a grainstones fosilíferos y lodolitas, en capas delgadas y medianas, con coloraciones café pardo a amarillento predominantemente. Algunas calizas son de color gris. Los restos orgánicos encontrados en estas rocas corresponden a ostras y probablemente foraminíferos orbitolínidos muy retrabajados.

Lo anterior, es seguido por un intervalo de calizas gruesas a masivas, de coloración gris amarillenta a rojiza, presentándose estas tonalidades en forma moteada a irregular. Estas rocas varían de packstones a boundstones con abundantes corales y en menor proporción gasterópodos, probables estructuras algales y rudistas del tipo caprinidos. Así mismo, contienen intraclastos. Son muy resistentes a la erosión. Se recubren por sedimentos no consolidados por lo que se desconoce su cima (fig. 5). En un pequeño afloramiento aislado de calizas masivas, no muy alejado de lo anterior y presumiblemente perteneciente a dicho intervalo, se reconocieron abundantes caprinidos asociados con corales coloniales del tipo bulboso.

Cretácico Inferior Formación Cintura (KiC)

Esta unidad se reconoció en la vecindad de la Mina El Cucharón, donde sobreyace aparentemente de forma normal a un pequeño intervalo de rocas asignables a la Caliza Mural. En este lugar, la Formación Cintura está compuesta por una alternancia de paquetes de espesor variable



de areniscas y lutitas. Por su contenido de feldespatos, las areniscas se pueden clasificar como subarcosas, aunque se llegan a encontrar sublitarenitas y areniscas con un alto contenido de cuarzo. Principalmente son de grano fino y medio. Su color en superficie fresca varía de gris verdoso a café amarillento, intemperizando en tonalidades café claro a amarillento verdoso. Una característica notable es que no presentan una estratificación bien desarrollada, siendo relativamente raras las capas, por lo que es difícil tomar rumbos y echados.

Internamente, la mayoría de las areniscas no presentan estructuras sedimentarias. Sin embargo, es posible observar laminaciones planas y estratificación cruzada del tipo cuenca (trough). Algunas areniscas efervescen ligeramente con el ácido clorhídrico.

Las lutitas de la Formación Cintura son de color café oscuro rojizo a morado. Al igual que las areniscas, internamente son masivas y no presentan estratificación aparente. Ocurren en paquetes de espesor variable del orden de unos cuantos a decenas de metros.

La Formación Cintura forma lomeríos suaves. Su límite inferior con la Caliza Mural se colocó inmediatamente después de la capa de caliza más superior de la Mural. Este contacto es abrupto pero concordante, pues no se observó una clara zona de transición entre ambas unidades, tal y como lo reporta González-León y Jacques-Ayala (1988) en el área de Cerro de Oro.

En el área de estudio se desconoce el límite superior de la Formación Cintura, pues estratigráficamente solamente es recubierta por depósitos no consolidados recientes. En la Cintura no se encontraron fósiles, pero González-León y Jacques-Ayala (1988) postularon que su depósito ocurrió durante el Albiano medio al tardío.

Terciario granito (Tgn)

Con Tgn se denotan los cuerpos ígneos graníticos que afloran limitadamente en dos localidades dentro del área que comprende la carta Carbó. La primera se ubica inmediatamente al S del camino Carbó-Rayón, aproximadamente a un kilómetro al SW de la mina La Plata. Aquí, el



granito muestra un contenido de feldespatos y de cuarzo típico para este tipo de rocas. El ferromagnésico más abundante es el anfíbol, llamando la atención que en algunas partes muestra una carencia total de micas. Su textura es equigranular de grano medio, mostrando un color blanco grisáceo. Como es de esperar, presenta un bien desarrollado intemperismo esferoidal.

En este lugar, intrusiona a las rocas sedimentarias de la formación Año Nuevo, produciendo skarns en sus rocas calcáreas, al igual que abundante silicificación y epidotización de todos los cuerpos pétreos que lo rodean. Localmente, algunos skarns presentan tal abundancia de granates que la roca se puede considerar una granatita. También, se observó un yacimiento de magnetita en el contacto dolomías-granito.

La otra localidad donde se presenta la unidad ígnea Tgn, se localiza inmediatamente al NE de la mina abandonada La Providencia al SSE del centro de la carta. Aquí, Tgn presenta una composición más granodiorítica y un grano más fino que en el área mencionada líneas arriba, teniendo su afloramiento una extensión mucho menor. De la misma manera que en la vecindad de la mina La Plata, la unidad Tgn intrusiona a la formación Año Nuevo, metamorfizando a mármoles y cuarcitas a sus rocas.

La edad del granito Tgn es incierta pues se carecen de dataciones radiométricas y la información acerca de sus relaciones estratigráficas es limitada pues, como se mencionó, solamente se puede establecer con certeza que afecta a la formación Año Nuevo aquí asignada al Paleozoico (?) y con ciertas reservas posiblemente también a la unidad Toa de este estudio, que se discutirá posteriormente, de la cual también se carecen datos radiométricos. Por otra parte, el emplazamiento de Tgn en el área de la mina La Providencia parece ser posterior al plegamiento que afecta a la formación Año Nuevo pues trunca los ejes del mismo y no presenta señales evidentes de deformación. Sin embargo, la edad de la deformación no está bien delimitada.

Observaciones de campo permiten concluir que Tgn se asemeja bastante a un cuerpo granítico que aflora al Norte de Cerro de Oro. Radelli (1986) hace referencia con cierta duda a tal cuerpo como laramídico, mientras que Castro-Rodríguez y Morfín-Velarde (1988) le asignan al mismo una edad Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano por correlación con cuerpos plutónicos



laramídicos cuyas edades varían de 53.5 a 58 m.a. y que afloran en las regiones de Opodepe, Aconchi, Mazocahui, La Puerta del Sol y Mazatán. Si Tgn es correlativo con estos cuerpos entonces una edad en tal rango es factible.

Sin embargo, en este trabajo solamente se le indica como "Terciario" toda vez que la mineralización aparentemente relacionada a Tgn parece estar en cierta forma asociada a estructuras de alto ángulo del Terciario relacionadas al fallamiento "Basin and Range", lo que sugiere una edad más joven que el Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano. De esta forma, con la información disponible no podemos descartar completamente la posibilidad de que Tgn sea el equivalente profundo de las tobas riolíticas que incluye la unidad Toa o inclusive la más joven Tot.

Oligoceno Andesita (Toa)

En esta unidad se incluye un conjunto de rocas volcánicas predominantemente de carácter intermedio que conforman la unidad volcánica más antigua expuesta en el área de la carta Carbó. Aflora en la porción norte de la serranía que bisecta el área de estudio de N a S por su parte central (unidad fisiográfica 1).

Las andesitas constituyen la litología más común de la unidad. Con frecuencia presentan pequeños fenocristales de plagioclasas en una matriz afanítica, cuyo color, en superficie fresca, va del verde claro al oscuro, aunque algunas rocas muestran coloraciones grisáceas. Los colores de intemperismo varían del verde amarillento claro al gris oscuro. Ocurren también rocas muy semejantes a las andesitas salvo que, junto a la plagioclasa, contienen fenocristales de olivino, sugiriendo una composición más máfica, del tipo de la andesita basáltica. Su textura es afanítico-porfirítica y su color llega a ser café en superficie fresca. Así mismo, la unidad contiene algunas rocas piroclásticas, incluyendo aglomerados, tobas-brechas y tobas predominando las de composición riolítica. Las tobas son cristalinas con granos de cuarzo y mica, presentando también fragmentos de rocas de carácter riolítico. Las tobas-brechas contienen abundantes fragmentos angulosos a subredondeados de rocas volcánicas félsicas que varían en color del rosa al violeta. Así mismo, contienen fragmentos angulosos a subangulosos de feldespatos alcalinos y de cuarzo anguloso. Una característica textural de estas rocas es que los granos se presentan dispuestos en



especie de "cúmulos" o al menos en contacto unos con otros con parches irregulares de la matriz cuarzo-feldespática entre ellos. No es raro que esta última se presente epidotizada.

La epidotización es la alteración más frecuente observada en las rocas de unidad Toa. Se presenta diseminada irregularmente en la roca huésped o en forma de vetillas de abundancia variable. La silicificación también es habitual en la unidad.

El contacto inferior de la unidad Toa no fue observado en el área de estudio. Subyace discordantemente a la unidad piroclástica Toa y es afectada por los pórfidos denominados en la carta como Top y Tmp. Por otra parte, si la fuerte alteración que presenta Toa en las inmediaciones de la mina abandonada La Plata está asociada al emplazamiento del granito Tgn, entonces su edad sería anterior al mismo, que como ya se mencionó en este trabajo se designa solamente como Terciario. El contacto entre ambas unidades se encuentra cubierto.

Ha sido práctica común que secuencias andesíticas en posiciones estratigráficas aparentemente similares a la de Tan, que ocurren en otras partes de Sonora central, sean asignadas al Cretácico Superior o al rango Cretácico Superior-Terciario inferior, es decir asociadas genéticamente a la revolución laramídica, por estar ya sea: (1) sobreyaciendo discordantemente a rocas del cretácico inferior o más antiguas y/o infrayaciendo también discordantemente a rocas volcánicas terciarias, o (2) siendo presuntamente intrusionadas por cuerpos plutónicos de supuesta edad laramídica. Así, se tienen las unidades volcanosedimentarias que Martínez *et al.* (1993) reportan en las regiones de Banámichi y Sinoquipe, mismas que descansan sobre "sedimentos del Jurásico Superior y del Cretácico Inferior" y que están discordantemente cubiertas por "rocas Terciarias volcánicas". Esto autores (*op. cit.*) consideran una edad del cretácico tardío para tal secuencia "por su similitud con la Formación Fort Crittenden del sur de Arizona".

Se tiene también el caso de la "andesita" que aflora al norte de Cerro de Oro, misma que es reportada por Radelli (1986) como cretácica y que Castro y Morfín (1988a) incluyen en la secuencia de intermedia a félsica a que se refieren como "rocas volcánicas del Cretácico Superior-Terciario Inferior"; mismas que reportan como muy alteradas sobre todo "en el contacto con el intrusivo granítico de edad Terciario Inferior". En las regiones que cubren las hojas Bacanuchi y Arizpe,



González-León *et al.* (1993) reportan un "...paquete de varios cientos de metros de espesor, compuesto por derrames, aglomerados y volcanosedimentos de composición andesítica... su edad se considera cretácica tardía". Además, reportan "varios cuerpos intrusivos... que parecen corresponder a un cuerpo granítico principal, con edad cercana al límite Cretácico-Terciario. Estos intrusivos alteran fuertemente a la unidad andesítica".

Las unidades recién mencionadas se asemejan a la unidad Toa, lo que por correlación nos puede llevar a afirmar que la posición cronoestratigráfica de ésta última se encuentra entre el Cretácico Superior y el Terciario inferior. Sin embargo, antes de llegar a tal conclusión es indispensable mencionar que los casos anteriores ilustran que, ante la carencia de dataciones radiométricas, la delimitación con cierta precisión de la edad de algunas unidades andesíticas en Sonora central se dificulta en virtud de (1) los intervalos de tiempo tan grandes que existen entre las unidades encajonantes (del Cretácico Inferior al Terciario "más joven"); (2) a la incertidumbre en cuanto a la edad misma de las unidades volcánicas o sedimentarias encajonantes y/o de los cuerpos intrusivos que supuestamente afectan a las unidades andesíticas; o (3) por conocerse solamente en forma limitada las relaciones estratigráficas entre los distintos cuerpos de roca (por ejemplo, establecer la relación intrusionante de cuerpos graníticos solamente en la base de la alteración que presentan las secuencias intermedias sin contarse con mayor evidencia que permita descartar otras posibles fuentes para la misma).

Por lo tanto, no es aventurado señalar que con la información disponible no es posible desechar la posibilidad de que algunas de las secuencias volcánicas de carácter predominantemente intermedio que han sido asignadas, o que por sus relaciones estratigráficas como las recién mencionadas pueden ser asignadas, a una edad laramídica en realidad no tengan relación alguna con tal evento y sean en realidad más jóvenes, e inclusive estén asociadas a las fases tectonomagmáticas más tempranas que condujeron a la formación de la Provincia de Sierras y Valles Paralelos ("Basin and Range Province").

Esto no es insensato pues: (1) en el Este de Sonora está bien documentado (ver por ejemplo Radelli, 1986) un vulcanismo calcoalcalino (andesítico-riolítico) de edad oligocénica principalmente, caracterizado por un alto volumen de andesitas y contenidos menores de basaltos, dacitas, riolitas y



tobas; y (2) en el sector de Estados Unidos de la provincia de Sierras y Valles Paralelos, desde el estado de Nevada hasta Nuevo México, se tiene que la base de la secuencia Terciaria, en áreas de alta extensión tectónica, es una secuencia de andesitas, riolitas y tobas, de edad Eoceno Tardío a Oligoceno Temprano en Nevada y Utah, que es contemporánea con las fallas normales más antiguas reconocidas, mismas que marcan el preludio del fallamiento extensional más intenso y de la erupción concomitante de gran cantidad de tobas y flujos de lavas riolíticas a dacíticas principalmente, durante el oligoceno; tales secuencias andesíticas representan erupciones de bajo volumen de centros volcánicos separados y en algunas áreas de Nevada han sido afectadas por cuerpos graníticos cuyas edades se encuentran dentro del rango de edad de las secuencias andesítico-riolíticas, pareciendo ser los equivalentes intrusivos de las riolitas más tempranas (Gans *et al.*, 1989).

De acuerdo a Gans *et al.* (op. cit.) en Nevada la mayor parte del vulcanismo andesítico y riolítico temprano se suscitó intermitentemente durante un intervalo de aproximadamente 5 m.a. y si bien está discordantemente sobreyacido por volcánicas más jóvenes, solamente los separa un tiempo relativamente corto de un millón de años. En consecuencia, están genéticamente relacionadas y forman parte del desarrollo tectonomagmático extensional de la Provincia "Basin and Range". Además, de acuerdo a los mismo autores, estas fases volcánicas y tectónicas se desarrollaron a lo largo de toda la provincia fisiográfica en cuestión durante el Oligoceno generalmente.

Por lo tanto, en ausencia de evidencia de lo contrario, es factible considerar a la unidad Toa como más afín a la columna terciaria sobreyacente y representativa de las condiciones más tempranas que condujeron al fallamiento extensional, asignándola al Oligoceno por correlación con las secuencias antes mencionadas que ocurren en el Este de Sonora y el SW de Estados Unidos (Radelli, 1986; Gans *et al.*, 1989).

Oligoceno Toba (Tot)

Esta unidad se compone principalmente de tobas y brechas de composición riolítica que se intercalan de forma irregular con lavas y rocas sedimentarias continentales.

Las tobas comúnmente son cristalinas aunque también ocurren las del tipo lítico. Las primeras llegan a contener abundantes fragmentos de cuarzo y feldespatos potásicos, los que a veces



dan la apariencia de "granos" subredondeados. Están incluidos en una matriz cuarzo-feldespática de color rosado a blanco. Los componentes de las tobas líticas por lo general son fragmentos de rocas volcánicas félsicas e intermedias de unos cuantos milímetros de diámetro. En ocasiones presentan laminaciones internas que a veces se muestran contorsionadas de forma similar a la de la estratificación convoluta. También, ocasionalmente se observan texturas ignimbríticas.

Las tobas varían en coloración de blanco a rosa intemperizando en diversas tonalidades, inclusive en un color gris pardo a verde claro. Estos últimos asociados a la fuerte alteración, argílica y silicificación, que afecta a estas rocas en ciertos lugares.

Por variación en el tamaño de los fragmentos, las tobas líticas pasan a tobas-brechas y a brechas propiamente, compuestas de la misma manera, por piezas derivadas de rocas félsicas e intermedias.

Como es de esperar en una región volcánica de esta naturaleza, durante la formación de las rocas piroclásticas de la unidad Tot, operaron también procesos sedimentarios que retrabajaron, en distinto grado, a las partículas volcánicas. Así, la unidad incluye también conglomerados brechoides tobáceos y conglomerados en sentido estricto compuestos por clastos alargados de hasta 30 cm de longitud, igualmente de rocas félsicas e intermedias. En una localidad al Este del rancho El Saucito, ubicado en la parte nororiental de la hoja, se encuentra un paquete de riolitas resistentes sobreyacidas por brechas, en actitud subhorizontal, que claramente muestran este carácter mixto: en la parte inferior presentan granos de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca angulosos, que hacia arriba, gradualmente van mostrando un incremento en la redondez de los granos y una apariencia, por así decirlo, más sedimentaria de la roca.

Las rocas volcánicas de la unidad más frecuentes son las riolitas, aunque también contiene rocas de un carácter más traquítico a traquiandesítico. Las riolitas son rosadas, y llegan a presentar fenocristales de cuarzo y/o feldespato potásico.

Un aspecto que distintivamente llama la atención de la unidad Tot es el alto grado de tectonización que presenta. El fracturamiento de sus rocas es común y en algunos lugares tan



intenso que se han producido brechas cataclásticas. Igualmente, abundan en ella los espejos de falla que frecuentemente muestran slickensides, mismos que atestiguan la acción de un tectonismo de alto ángulo.

En la parte central norte del área de estudio, la unidad Toa ocurre cubriendo rocas de la Caliza Mural del Cretácico Inferior. Además, como ya se mencionó, también sobreyace estratigráficamente a la unidad Toa que fue asignada al Oligoceno. A su vez, es sobreyacida por la Formación Baucarit del Mioceno y otras unidades más jóvenes como TpQb y TpQs (fig. 6). Estas unidades, al igual que otras más jóvenes que Toa, no muestran el alto grado de tectonización ni de alteración que presenta Toa, rasgos que comparte con Toa, por lo que se favorece una edad oligocénica para esta última unidad.

Oligoceno pórfido (Top)

La litología distintiva de esta unidad varía de pórfido granítico a riolita porfídica que comúnmente presentan un color rojo oscuro a un rosado claro. El contenido de fenocristales del pórfido granítico es variable, llegando a constituir hasta un 50% de la roca. Los minerales más abundantes como fenocristales son el feldespato alcalino y el cuarzo. El primero de ellos se presenta como granos euhedrales a subhedrales de color rosado que alcanzan tamaños de hasta 5 mm, mientras que el cuarzo comúnmente ocurre en granos anhedrales equidimensionales. Frecuentemente, los feldespatos alcalinos se presentan alterados a arcillas.

La matriz de estas rocas por lo general es de grano muy fino a fino, pero en forma ocasional llega a ser de grano grueso. Las riolitas porfídicas de la unidad son similares en coloración y contenido de fenocristales al pórfido salvo que la matriz es afanítica y muy densa, no disciriéndose a simple vista minerales en ella.

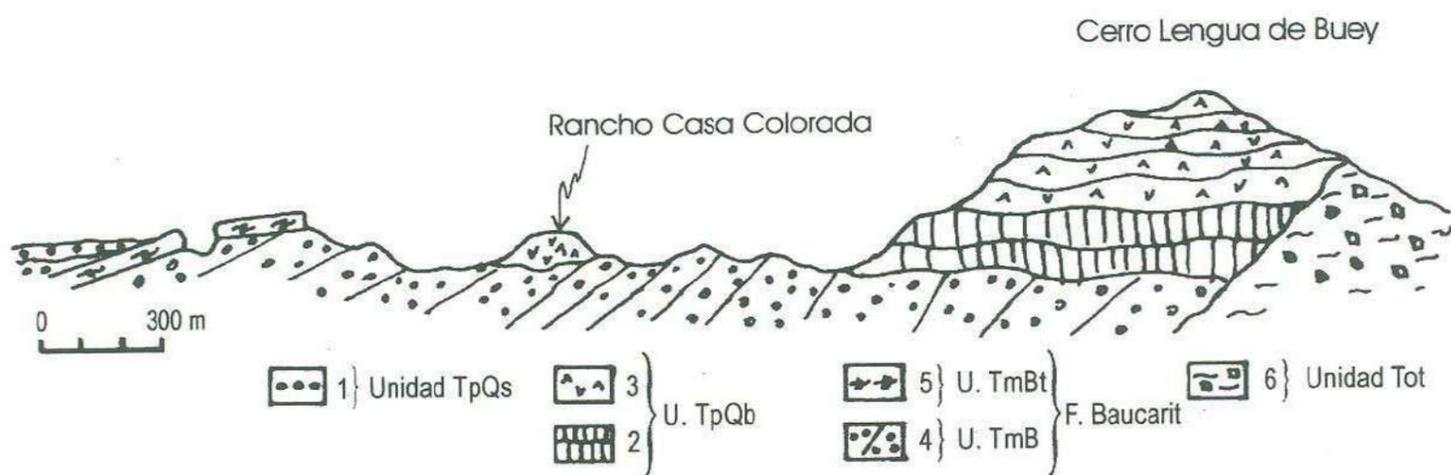
El pórfido presenta variaciones de facies representadas por un contenido de cuarzo menor al 10-15 %, acompañado por feldespato alcalino predominantemente, por lo que la roca entonces se puede clasificar como un pórfido sienítico con cuarzo. En este caso, la matriz muy fina es de color gris cafésosa a verdosa, con tonalidades que van del intermedio al oscuro.



Figura 6.- Perfil esquemático de campo a la distancia en las inmediaciones del rancho Casa Colorada (parte oriental de la carta), mostrando las relaciones de algunas de las unidades terciarias, indicadas por las siglas empleadas en la carta geológica. (Escala horizontal aproximada).

SW

NE



Unidad TpQs.- Plioceno-Cuaternario

- 1 Gravas y arenas pobremente clasificadas; forma mesas y lomas redondeadas.

Unidad TpQb.- Plioceno-Cuaternario

- 2 Alternancia irregular de coladas de basalto, andesita basáltica y traquiandesita; unidad resistente a la erosión, con aparente fracturamiento columnar; genera topografía "en escalones" y formas del terreno redondeadas donde está ausente la unidad sobreyacente; color a la distancia negro rojizo, pasando lateralmente a rojo rosado.
- 3 Intercalación de coladas similares a los de la unidad infrayacente, brechas volcánicas y conglomerados brechoides; escarpes abundantes. Color a la distancia café rojizo amarillento.

Mioceno Formación Baucarit

Unidad TmB

- 4 Principalmente conglomerado y areniscas líticas y conglomeráticas; localmente tobáceas; intemperizan en color café a amarillento.

Unidad TmBt

- 5 Toba ácida, soldada; resistente a la erosión; color rosado; forma "hogbacks" y mesas escarpadas.

Oligoceno Toba Tot

- 6 Tobas y lavas de carácter félsico; amarillentas a rosadas a la distancia.





Cuando los pórfidos presentan un color de intemperismo rosado, desde la distancia asemejan a riolitas. Sin embargo, se diferencian por el hecho de no formar escarpes. Por otra parte, cuando la argilización está muy avanzada, intemperizan en color blanco amarillento, dando la impresión de tobas cuando se les observa desde la lejanía.

Los xenolitos observados en los pórfidos corresponden a ortocuarcitas y rocas volcánicas intermedias y máficas. En una localidad ubicada en las inmediaciones del rancho Fátima estas últimas presentaban moldes de antiguos fenocristales cuya identidad no se pudo precisar. Las características de estos xenolitos volcánicos apuntan a que las rocas de las que se derivan son las incluidas en este trabajo en la unidad Toa, lo que refuerza el hecho de que tal unidad es más antigua.

Por otro lado, la composición litológica y las relaciones de campo de la unidad Top sugieren que es producto del mismo ciclo magmático que dio origen a la unidad de tobas Tot, siendo su equivalente hipabisal aunque, por necesidad, ligeramente más joven. Por otro lado, la unidad Top es cortada por diques similares litológicamente a las rocas de la unidad Tmp, por lo que esta última es más joven.

Oligoceno Superior-Mioceno Inferior basalto (Tomb)

Esta es una unidad muy resistente a la erosión compuesta primordialmente de basalto con intercalaciones de aglomerados y brechas así como de riolitas y tobas en cantidades menores, al igual que horizontes de conglomerados.

El basalto, su roca más distintiva, es vesicular, siendo su característica notable que algunas de las vesículas están rellenas por calcita blanca de forma, obviamente, esférica asemejando "canicas". El color de estas rocas es rojo óxido medio, similar al de las rocas piroclásticas que contiene la unidad. Por otro lado, las riolitas son porfiríticas con cuarzo, feldespatos alcalino y pocas micas. Al igual que las tobas ácidas, presentan variables grados de alteración (argilitización). Los conglomerados se componen de clastos que llegan a alcanzar hasta 40 cm de diámetro. Proceden de riolitas, tobas ácidas y basaltos similares a los que componen a la misma unidad Tomb.



Esta unidad solamente ocurre en el extremo nororiental del área que comprende la hoja Carbó, donde presenta buzamiento hacia el Oeste y es sobreyacida discordantemente por la Formación Baucarit y por rocas de las unidades más jóvenes indicadas en la carta como TpQb y TpQs. De esta forma, la unidad Tomb es pre-Baucarit, al menos en esta área, aunque no se puede descartar el que parcialmente sean ambas unidades lateralmente equivalentes. El contacto estratigráficamente inferior de Tomb no se observó, pero no muestra evidencias de haber sido afectada por el tectonismo tan intenso que actuó sobre la unidad Tot, por lo que se considera que se formó posteriormente a dicha unidad. Por lo anterior, la posición cronoestratigráfica de Tomb puede variar del Oligoceno Superior a Mioceno Inferior.

Mioceno Formación Baucarit (TmB y TmBt)

El término Formación Baucarit, originalmente utilizado de esta forma por King (1939), se usa en la carta Carbó para denotar una unidad compuesta en su mayor parte por conglomerado y areniscas continentales, relativamente bien consolidadas, conteniendo también lutitas, basalto y toba ácida. La Formación Baucarit se distingue de otras unidades conglomeráticas más jóvenes, por la consolidación y litificación que muestran sus componentes sedimentarios más gruesos, lo que les imparte una cierta resistencia a la erosión. De hecho, las unidades suprayacentes no se encuentran litificadas por lo que más bien son depósitos de gravas y arenas. Otro rasgo distintivo de la Baucarit lo constituye el color de intemperismo café claro a oscuro, en manchones, que muestran sus rocas sedimentarias.

Se reconocieron dos subunidades distintas en esta formación. La más inferior, designada con las siglas TmB en la carta, se caracteriza por estar conformada por las rocas sedimentarias ya mencionadas, mientras que la otra subunidad, identificada como TmBt, corresponde a una toba ácida fácilmente identificable en el campo por formar escarpes delgados pero de una distribución lateral relativamente amplia.

En la región al Sur del rancho Casa Colorada, los paquetes de conglomerados constituyen la mayor parte de la subunidad TmB. En los menos resistentes a la erosión, los conglomerados y las areniscas constituyen bandas debidas a la segregación transicional de sus componentes por tamaño,



variando de gruesos a finos, es decir, representan estratificación gradada normal. Las bandas son de 10 a 15 cm de espesor. Las areniscas varían de líticas a conglomeráticas, con tamaño de grano máximo de gránulo. En los conglomerados los epiclastos son subredondeados a subangulosos y varían en tamaño de unos cuantos milímetros hasta 10 cm como máximo. En ocasiones predominan los clastos subangulosos y las rocas constituyen más bien brechas. Los epiclastos son derivados de rocas volcánicas riolíticas, basálticas y traquíticas a traquiandesíticas. Estos intervalos tienden a intemperizar en color rosáceo.

Así mismo, ocurren paquetes en los que predominan los conglomerados, siendo las bandas de areniscas de unos cuantos centímetros de espesor. Como es de esperar, estos paquetes son más resistentes al intemperismo y erosión, y típicamente muestran el color de intemperismo café antes mencionado. En general no desarrollan capas bien diferenciadas pero en algunos lugares muestran una estratificación muy burda. Sus clastos son similares a los descritos para el paquete anteriormente mencionado.

En la parte más inferior de la subunidad TmB, ocurre basalto vesicular y basalto afanítico sin vesículas, de color ocre a negro. También, en una localidad se reconocieron tobas ácidas en la parte inferior de la Baucarit.

En la porción superior reconocida de la subunidad TmB, en contacto con la subunidad TmBt que la suprayace, se encuentra un paquete de lutitas pobremente consolidadas con horizontes conglomeráticos, de granos de menos de 3 cm de diámetro, y de areniscas conglomeráticas semilitificadas. En esta parte de la formación, abundan las vetillas de calcita. Lateralmente por cambio de facies, se pierde este paquete de lutitas, cediendo su lugar a los conglomerados.

De hecho, los cambios laterales de facies son de esperarse en este tipo de depósitos continentales, que además internamente presentan superficies de erosión, algunas de las cuales inclusive muestran una relación angular entre las capas por abajo y arriba de las mismas. Al Oeste del rancho San Benito, por el arroyo del mismo nombre, se tiene esta situación con los lechos conglomeráticos inferiores buzando en un ángulo mayor que los superiores que también están echados al occidente. De hecho, hay que mencionar que al parecer el buzamiento de las capas de



Tmb en general decrece de Este a Oeste, al menos en la zona SW del área de estudio. Estas relaciones sugieren una depositación sintectónica para la formación.

Como ya se mencionó, la subunidad TmBt es un paquete muy resistente a la erosión, de espesor variable pero en general de unos cuantos metros, pero que lateralmente tiene una buena distribución geográfica. Su resistencia lo hace formar mesas y, cuando está inclinado, constituye "hogbacks". Se compone de una toba de composición ácida, que comúnmente presenta espacios porosos semejantes a vesículas, mismas que en ocasiones están rellenas por sílice. En algunos sitios, la toba contiene fragmentos de minerales de cuarzo y feldespato alcalino así como de vidrio. Comúnmente es masiva, pero se pueden llegar a apreciar laminaciones e inclusive estructuras ignimbríticas en ella. Esta subunidad es sobreyacida discordantemente por depósitos de la unidad TpQs (fig. 6). La Formación Baucarit ocurre solamente en la franja Este de la hoja Carbó.

Radelli (1986) expresa que la sedimentación de la Formación Baucarit ocurrió en el intervalo de tiempo entre hace 23 y hace 14 millones de años, es decir, durante el Mioceno Temprano y el Mioceno Medio. Sin embargo, otros autores (e.g. Castro y Morfín, 1988a) atribuyen, a rocas supuestamente pertenecientes a esta unidad litoestratigráfica, rangos que van hasta el Cuaternario inclusive. Sin embargo, por las relaciones de campo observadas, en este trabajo se considera como perteneciente al Mioceno.

Como ya se mencionó, de las unidades terciarias, la Baucarit sobreyace a Tomb y, fuera del área de la carta Carbó a Tot (fig. 6), que se estima como oligocénica, mientras que la primera mencionada es más joven considerándose su formación entre el Oligoceno Tardío y el Mioceno Temprano. Por otra parte, la Formación Baucarit esta recubierta por las unidades identificadas como Tml, TpQb y TpQs (fig. 6). Estas unidades presentan relaciones discordantes con la Baucarit y al menos las últimas dos no muestran evidencias de haber sido afectadas por los movimientos tectónicos que, como se mencionó anteriormente, operaron durante la depositación de la Baucarit, produciendo sus discordancias internas. Esto aunado al hecho de que TpQs no está litificado y representa un relleno de valles posterior, indica que la depositación de la Baucarit, en el área de estudio, no pudo extenderse hasta el Cuaternario.



Mioceno pórfido (Tmp)

En esta unidad se incluyeron una serie de cuerpos porfídicos de composición típicamente cuarzomonzonítica al contener cuarzo y cantidades similares de feldespato alcalino y plagioclasas. Sin embargo, muestran desviaciones a esta composición, clasificándose entonces como granodioríticos o dacíticos cuando su matriz es afanítica en su totalidad.

Llegan a contener hasta un 40% de fenocristales incluyendo, además de los tipos ya mencionados, anfíboles y micas. Su matriz varía en color de café a verde, en tonalidades que varían de claras a oscuro. Ocurren en cuerpos que muestran buena resistencia a la erosión.

Estos cuerpos intrusionan a Toa, Tot y Top, por lo que son más jóvenes que estas rocas oligocénicas. Sin embargo, no se observan unidades posteriores en contacto con Tmp que permitan establecer su edad. Por lo tanto, se asigna al Mioceno por correlación con el pórfido terciario de Cerro de Oro que Radelli (1986) postula como de esta edad y que Castro y Morfín (1988) reportan cortando a las rocas del Oligoceno al Mioceno Medio.

Mioceno latita (Tml)

Esta es una unidad muy resistente a la erosión, compuesta principalmente de rocas volcánicas latíticas, conteniendo además tobas cristalinas de la misma composición y rocas andesíticas en cantidades menores. Las latitas contienen cantidades similares de feldespatos alcalino y plagioclasa, sin cuarzo, siendo anfíboles el ferromagnesiano presente, aunque no muy abundantemente. En superficie fresca este grupo de rocas varía de rosa grisáceo a gris medio a oscuro, intemperizando en diversas tonalidades que van del rosa grisáceo amarillento al gris medio a negro. En las rocas más intermedias las plagioclasas constituyen los fenocristales más abundantes.

Las tobas cristalinas de la unidad se presentan lajeadas, en coloraciones similares a las latitas y con estructuras primarias formadas por flujo tales como rizaduras y estratificación cruzada de pequeña escala.



La unidad Tml sólo ocurre en la serranía que contiene al cerro Las Agujas, en la porción central-este de la carta Carbó donde, por su alta resistencia a la erosión, forma acantilados. Sobreyace a la Formación Baucarit y es a su vez sobreyacida estratigráficamente por la secuencia volcánica basáltica incluida en la unidad TpQb. La edad post-Baucarit para esta unidad se refuerza por el hecho de que en las inmediaciones de Tml, la Formación Baucarit presenta un echado de 38° al Oeste, mientras que Tml no muestra señales de haber sido afectada por el tectonismo responsable de dichos buzamientos. Por otra parte, en la parte occidental de la serranía que forma Tml existen en las rocas de esta unidad espejos de falla que atestiguan la presencia de una falla normal curvilínea que no afecta a TpQb. Por tal razón, al ser post-Baucarit y pre-TpQb se postula una edad miocénica para Tml.

Plioceno-Cuaternario basalto (TpQb)

Esta unidad volcánica se caracteriza por la abundancia de rocas basálticas con intercalaciones irregulares y menos abundantes de andesitas, traquiandesitas, escasas riolitas, rocas piroclásticas y depósitos sedimentarios.

Los basaltos de la unidad se presentan en coladas resistentes a la erosión, mostrando en ciertos sitios una bien desarrollada textura vesicular que, a veces, aloja rellenos de sílice. Comúnmente presentan fenocristales de plagioclasa. Una característica distintiva de algunos de ellos, es el fétido olor que despiden al ser quebrados. Sus colores en superficie fresca son gris oscuro casi negro, gris cafésoso y café rojizo, intemperizando en los mismos colores y en gris violeta y ocre oscuro.

Las andesitas son porfídicas, con anfíboles y plagioclasas como fenocristales, de color gris medio a verdoso y verde claro, intemperizando en color gris café a verdoso. Por su parte, las traquiandesitas son fácilmente distinguibles por su color café rosado a rojizo ladrillo y sus fenocristales de plagioclasa y anfíboles, estos últimos con una muy característica forma de "gancho de tendedero" en sección longitudinal. Las riolitas son escasas y se caracterizan por su color rosado.

En diferentes niveles de la unidad TpQb ocurren horizontes de brechas, conglomerados brechoides y conglomerados. Las brechas muestran buena litificación. Están compuestas de clastos



angulosos, de 1 a 10 cm de diámetro, derivados de rocas volcánicas de las variedades antes mencionadas. Los conglomerados brechoides y los conglomerados contienen clastos que llegan a alcanzar los 20 cm de diámetro, estando incluidos en una matriz arenosa. Su grado de litificación es muy variable. Comúnmente no muestran una estratificación bien desarrollada pero en algunos lugares presentan intemperismo esferoidal.

TpQb es la unidad volcánica terciaria más joven reconocida en el área de estudio. Sus rocas muestran una actitud subhorizontal, sobreyaciendo por medio de discordancia angular a la Formación Baucarit y, como se explicó previamente, es más joven que Tml asignada al Mioceno. Por otra parte, TpQb es posterior a las fallas de alto ángulo que mostraron actividad más recientemente en el área de estudio, pues corta a éstas. Por lo tanto, puede ser equivalente en tiempo al volcanismo basáltico de edad pliocénica a cuaternaria reportado en otras partes de la entidad.

Evidencia adicional de una edad en este rango, la proporciona el hecho de que TpQb y la sobreyacente TpQs pueden ser parcialmente equivalentes en términos cronológicos, pues los depósitos sedimentarios de TpQb son muy similares a TpQs, por lo que bien pueden corresponder a interdigitaciones entre estas unidades. Representando TpQs los rellenos de los valles actuales, es lógico pensar que su edad es bastante joven.

Plioceno-Cuaternario sedimentario (TpQs)

En esta unidad se incluyen todos los depósitos sedimentarios continentales no consolidados y pobremente clasificados que se acumularon en los grandes valles intermontanos actuales del área de la carta Carbó y que en el presente están sujetos a erosión, por lo que tienen relieve positivo, formando mesas y lomeríos de baja altura con pendientes suaves. Estos depósitos dispuestos horizontalmente consisten de arenas, gravas y lodos en diferentes proporciones y muy variables lateralmente. Aparentemente predominan las gravas.

Como es de esperar, las características de estos depósitos son muy variables, dándose los cambios vertical y lateralmente de forma rápida. En una localidad en la mesa Chiquita las gravas se componen de clastos derivados de rocas volcánicas ácidas, intermedias y básicas predominantemente, aunque en menores cantidades presentan clastos cuya roca madre es la ortocuarcita. Muestran una



pobre clasificación pues su tamaño varía de unos cuantos centímetros hasta 15 o 20 cm, aunque predominan los mayores. Son redondeados a subredondeados pero su esfericidad es muy baja, pues tienen forma de tableta, por lo que se disponen de forma paralela horizontalmente aunque no se observó imbricación de los mismos. A unos cuantos metros, los clastos de grava son más pequeños y "flotaban" en una matriz arcillo-arenosa. En otra localidad cercana, las gravas alternaban con areniscas conglomeráticas y/o areniscas arcillosas formando ciclos, algunos de los cuales mostraban que el incremento en el tamaño del grano era hacia arriba (finos abajo, gruesos arriba), con laminaciones en las partes de grano más fino. Los ciclos tenían un espesor de 80 a 90 cm y no mostraban límites abruptos entre ellos. Esto ilustra la diversidad de procesos sedimentarios que dieron origen a la unidad.

Es de notar que los más extensos afloramientos de la unidad TpQs ocurren en el valle que corre N-S entre las dos serranía de la hoja Carbó. Aquí, es donde se desarrollan mejor las mesas y lomeríos antes mencionados.

Por los motivos indicados para TpQb, estos depósitos han sido asignados a la parte más superior del Terciario (Plioceno) y al Cuaternario.

Cuaternario sedimentario (Qs)

Bajo esta clave se denotan todas las áreas cubiertas de la carta Carbó salvo aquellas correspondientes a los cauces de los ríos actuales. Tales áreas cubiertas corresponden a sedimentos, que por tamaño varían de lodos a gravas, depositados por una variedad de procesos sedimentarios, dando por resultado depósitos aluviales, de piamonte y otros no diferenciados.

Cuaternario aluvión (Qa)

Corresponde a las áreas ocupadas por los depósitos acumulados por los ríos, principalmente en sus cauces, que actualmente cruzan al área de la carta: el Río Zanjón que corre de Norte a Sur en la porción occidental de la misma y el río San Miguel que fluye hacia el SW por su parte sur.





GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de estudio han operado diversos eventos tectónicos que generaron una variedad de estructuras geológicas, entre las que se encuentran las siguientes:

Pliegues y fallas de empuje

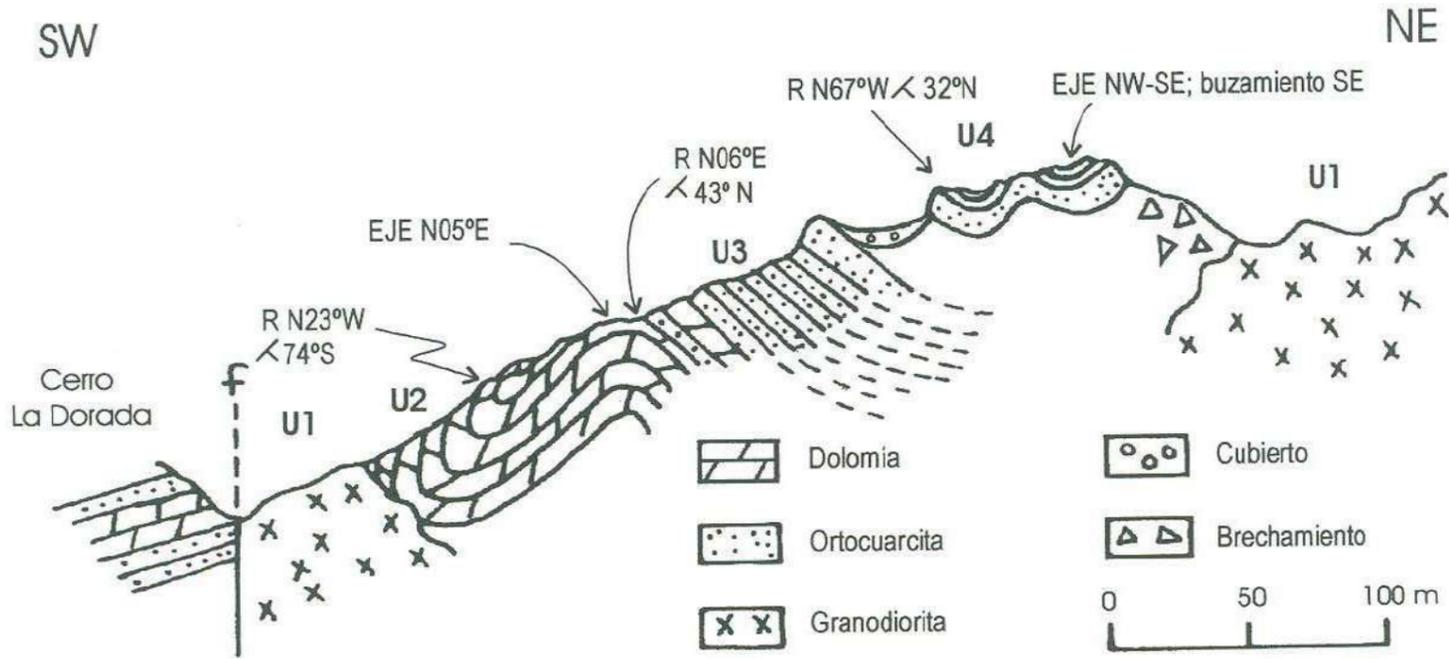
La formación Año Nuevo (PAn) presenta una serie de pliegues anticlinales y sinclinales buzantes, del tipo isoclinal, con ejes orientados NW-SE, vergencia al NE y buzamiento al NW. Solamente ocurren en el área de la mina La Dorada no siendo observados en las demás unidades estratigráficas ahí expuestas, aunque hay que aclarar que lo limitado de los afloramientos cretácicos no permitió determinar con certeza si tales rocas están afectadas por esta deformación.

Los pliegues están truncados por una granodiorita de la unidad Tgn (fig. 7) y por el cabalgamiento de la unidad de dolomías Pd sobre la formación Año Nuevo en la vecindad de las minas abandonadas La Coqueta y El Mauto (fig. 8). Como ya se manifestó, la unidad Pd aparentemente no muestra los efectos de este plegamiento

Por otra parte, como se puede apreciar en la carta geológica, el fallamiento de empuje también ha hecho cabalgar a la unidad Pd sobre las unidades sedimentarias cretácicas Mural y Cintura. Otras evidencias de este fallamiento, lo constituyen los pequeños pliegues de arrastre que muestran las rocas de Pd en las inmediaciones de la mina El Cucharón así como la imbricación que presenta esta misma unidad inmediatamente al S de la mina La Coqueta, producto del subparalelismo de las fallas de empuje ahí presentes (fig. 8). De éstas, en la falla ubicada inmediatamente al SW de la mina recién mencionada, las rocas presentan tan alto grado de fracturación y tectonización, que la estratificación se pierde y el afloramiento da un aspecto caótico. Esto se acompaña por una fuerte silicificación tanto de las dolomías como de las ortocuarcitas intercaladas. Un espejo de falla que ocurre en este lugar presenta una orientación E-W con 20° de echado al Sur, y de acuerdo a sus finas estrías, el movimiento fue en una dirección N-S (fig. 8). La continuación al E de esta falla de empuje está desplazada por medio de una falla de desplazamiento lateral derecha; este segmento termina por truncación por una falla normal (ver carta).



Figura 7.- Perfil esquemático de campo de la formación Año Nuevo en el cerro ubicado inmediatamente al NE del cerro La Dorada. Escala horizontal aproximada.



UNIDAD Tgn

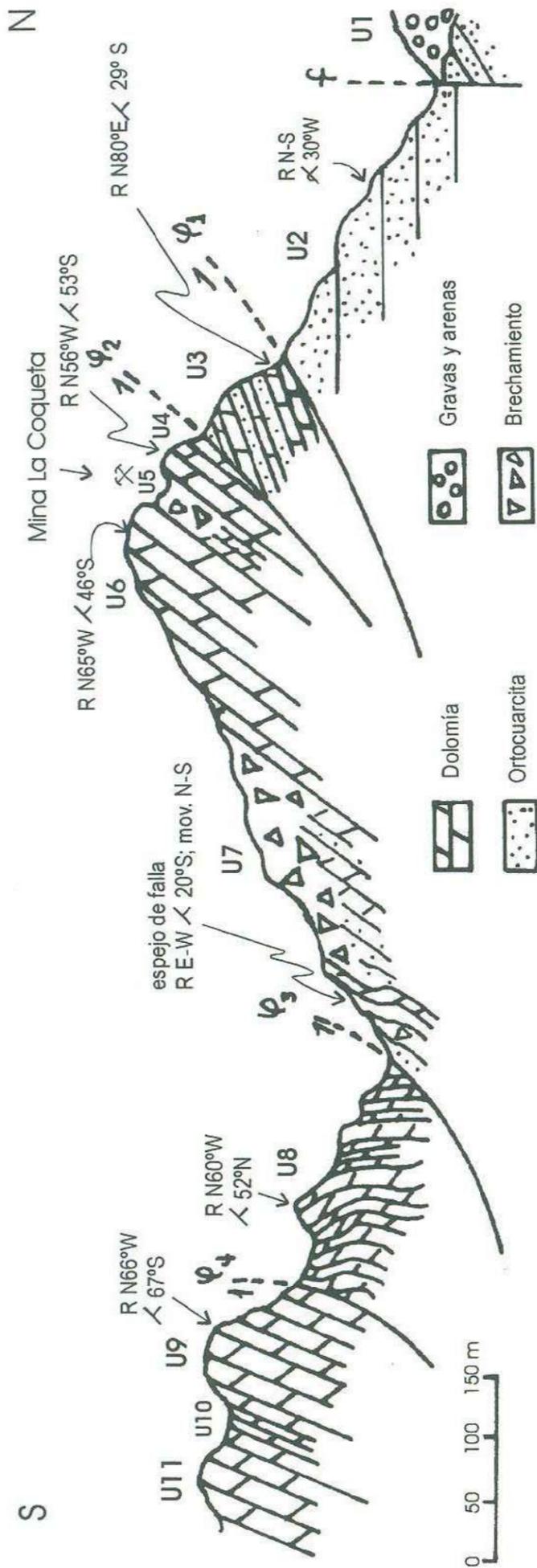
U1.- Granodiorita, grano fino, color gris verdoso, con biotita y anfíboles como accesorios; intemperismo esferoidal.

FORMACIÓN AÑO NUEVO (PAn)

U2.- Dolomías, capas medianas y delgadas, color gris y amarillentas, en la parte inferior, blancas en superficie fresca intemperizando en tonalidad amarillenta. Presentan algunos horizontes con laminaciones y bandas ocres, que en algunas partes están contorsionadas.

U3.- Ortocuarcitas, mal clasificadas, de grano fino a grueso, subredondeados y subesféricos; laminadas; capas medianas, color blanco en superficie fresca; hacia la parte superior intemperizan en color morado y ligeramente rojizo. Capa muy resistente de aproximadamente 60 cm de espesor en la cima del intervalo.

U4.- Ortocuarcitas capas gruesas resistentes en la parte inferior y delgadas (aprox. 15 cm) y algunas medianas en la parte superior. Color morado a rojizo.



Unidad TpQs.- Plioceno-Cuaternario sedimentario

U1 Gravos y arenas pobremente clasificadas (Unidad TpQs)

Unidad PAN.- Paleozoico (?) formación Año Nuevo

U2 Ortocuarzitas; paquete invertido; color de interperismo gris oscuro en la parte alta estratigráficamente y morado a rojizo en la parte baja. capas medianas, estratificación gradada en bandas (de grano medio a fino) de aproximadamente 5 cm y con estratificación cruzada de pequeña escala y bajo ángulo en parte alta estratigráficamente.

Unidad Pd.- Paleozoico (?) dolomía

- U3 Dolomías, gris a café oscuro, capas medianas intercaladas con horizontes de ortocuarzitas en capas medianas.
- U4 Dolomías, capas delgadas y medianas, color gris claro en superficie fresca, interperizan en color ocre oscuro; algunas con abundantes granos de arena. Abundantes vetillas ricas en hierro.
- U5 Muy fracturado y brechado por lo que el intervalo está generalmente cubierto; esporádicamente capas delgadas de dolomías.
- U6 Dolomías, capas gruesas, color gris verdoso, aspecto moteado por parches ocre-anaranjado. En la parte superior, dolomías gris claro azuladas.
- U7 Intercalación de ortocuarzitas y dolomías. Intervalo muy fracturado y

mineralizado, aspecto caótico, prácticamente se observan puros bloques de dolomías y ortocuarzitas; las primeras de color gris y amarillo verdoso, con abundantes vetillas irregulares de sílice; los bloques de ortocuarzitas muy silicificados, en algunos se alcanza a apreciar laminaciones; en la parte inferior estratigráficamente predominan los bloques de dolomías y hacia la cima se encuentran en partes iguales. Transición con U6 caracterizado por dolomías arenosas, laminadas, color café a amarillito.

U8 Dolomías finamente laminadas, capas delgadas y medianas, color gris medio a negro; lateralmente estas características se oscurecen por diagénesis y tectonización (la estratificación se pierde y toman un color amarillento). El rumbo y el echado de las capas es variable a lo largo del rumbo.

U9 Dolomías, color gris oscuro en partes tendiendo a gris azulado oscuro, en lugares con parches ocre-anaranjado. Un intervalo en la parte central de la unidad con aspecto moteado, debido a abundantes intraclastos negros en una matriz gris. Los intraclastos son angulosos y de forma irregular. Capas gruesas, aunque en partes la estratificación no se puede apreciar por fracturamiento. Paquete muy resistente de coloración negra a la distancia.

U10 Dolomías de color anaranjado a la distancia y gris claro en superficie fresca, capas medianas a delgadas, arenosas y algunas casi areniscas dolomíficas.

U11 Similar a U9.

Figura 8.- Perfil esquemático de campo de las unidades sedimentarias en la vecindad de la mina La Coqueta.

Note los contrastantes rumbos y echados y la imbricación de las unidades dolomíficas. Las unidades U4, U5 y U6 pueden corresponder con U9 a U11. Perfil con exageración vertical; la escala horizontal es aproximada.



Más al Sur, en el Cerro La Bolada, se tiene también una falla de empuje afectando a la formación Año Nuevo (PAN). Por último, una falla de empuje de actitud subhorizontal, que no fue posible representar en el mapa en virtud de la escala de éste y lo reducido del afloramiento, se encuentra en las inmediaciones del rancho Agua Salada. En este lugar, en el flanco W del pequeño cerro ubicado junto al rancho, se observa a la formación Año Nuevo recubriendo tectónicamente por medio de un plano de falla subhorizontal a una intercalación de areniscas y lodolitas que no corresponden a ninguna de las unidades litoestratigráficas aquí reportadas. Las primeras son de color rojizo, de grano fino a muy fino y en estratos de 15 a 20 cm. Las lodolitas representan interestratos delgados entre las capas de areniscas.

Las características del conjunto de rasgos mencionados, asociados al fallamiento de empuje, indican que la compresión generó verdaderos mantos de corrimiento, como los reportados por Vega-Granillo *et al.* (1991), aunque involucrando algunas otras unidades litoestratigráficas, en las áreas que cubren las colindantes entre sí hojas Félix Gómez y Los Chinos, ubicadas inmediatamente al NW de la carta Carbó. Sin embargo, a diferencia de lo reportado por estos autores, las evidencias de campo en la hoja Carbó sugieren que en este caso los esfuerzos de compresión estuvieron orientados en general hacia el Norte, lo que hace pensar que se puede tratar de eventos de deformación distintos.

Otro rasgo estructural de origen compresivo que hay que mencionar, lo constituye el gran pliegue anticlinal buzante, de eje con rumbo aproximado WNW-ESE y buzamiento al NW, que se manifiesta por el patrón de afloramiento de la unidad de dolomías Pd a lo largo de la traza de la falla frontal de cabalgamiento (fig. 8), donde está expuesta, en el área ya mencionada en la proximidad de las minas El Mauto, La Coqueta y El Cucharón (ver carta geológica). En otras palabras, el cabalgamiento de la unidad Pd está plegado y los afloramientos en esta área, de las formaciones Año Nuevo, Mural y Cintura se presentan en el núcleo de este anticlinal. De hecho, aunque pequeño el afloramiento, la parte superior de la Caliza Mural presenta también evidencias de este plegamiento.

La escala de este anticlinal obviamente es mucho mayor que la de los pliegues NW-SE de la formación Año Nuevo. Su orientación y vergencia indican que está genéticamente asociado a los esfuerzos compresivos que generaron los cabalgamientos.

Reporte que acompaña a la carta geológica Carbó, escala 1:50,000





Fallas de alto ángulo

Las fallas de alto ángulo, y sus lineamientos asociados, son los rasgos estructurales más abundantes del área de estudio, siendo las de tipo normal las que predominan. Conforme a la orientación de sus planos, se reconocieron los siguientes grupos o asociaciones principales:

a).- Fallas de orientación NW50°SE a NW60°SE.- Típicamente son fallas normales aunque algunas presentan desplazamientos horizontales y en otros casos no fue posible determinar la dirección del movimiento. Afectan a Tot entre los ranchos Peña Tendida y El Saucito en la parte nororiental de la carta, donde dicha unidad, como ya fue mencionado, presenta amplias evidencias de tectonismo de alto ángulo en un ambiente frágil. Ahí, una falla normal de orientación NW55°SE presenta el bloque de piso al SW.

En la parte sur central del área, otra falla normal (NW52°SE) marca el contacto entre PAn y el Cretácico Inferior indiferenciado al SW del cerro La Bolada. Hacia el NW de éste, la falla se encuentra cubierta pero, al juzgar por las formas del terreno y los patrones de afloramiento, es la responsable de no permitir que los afloramientos del Cretácico se prolonguen hacia el Norte en este lugar. Otra falla, subparalela a la anterior y ubicada un poco más hacia el Norte, de orientación un tanto dispar en comparación con el del sistema que estamos tratando, al ser NW45°SE, puso en contacto a las capas cámbricas con la unidad Tot, afectando a ambas a tal grado que las rocas están fuertemente fracturadas, brechadas y pulverizadas.

Por otro lado, en la parte central de la carta, en las inmediaciones de la mina La Dorada, se encuentra un rasgo de orientación NW60°SE que controla la orientación de las morfologías creadas sobre la formación Año Nuevo además de servir de conducto a los fluidos mineralizantes, por lo que a lo largo de él, se ubican una serie de obras mineras. A semeja un eje de plegamiento fallado, pues a ambos lados del mismo las cuarcitas de PAn muestran echados encontrados.

b).- Fallas de orientación aproximada NW75°SE.- El más sobresaliente representante de este sistema de estructuras lo constituye el ubicado en las inmediaciones de la mina La Plata. Afecta a la formación Año Nuevo (PAn), alojando abundante mineralización.



c).- Fallas de orientación aproximada NW30°SE.- La unidad Tot en la región de El Saucito presenta abundantes planos de falla con esta orientación y echados al SW, algunos de los cuales muestran especie de acanalamientos en su superficie. Rasgos de similar orientación fueron detectados afectando a Toa, Tgn y PAn en le vecindad de la mina La Plata.

d).- Fallas aproximadamente N-S.- De esta orientación es el rasgo que se infiere produce la morfología "Basin and Range" actual, al bordear a la unidad fisiográfica 2 (fig. 3) por su parte oriental, atravesando en dirección N-S casi completamente a toda el área de estudio. Por efecto de esta gran falla normal, tal unidad fisiográfica constituye el bloque de piso y relativamente fue levantado con respecto al bloque de techo que al bajar generó el "valle" hacia el Este. Tal valle constituye un semi-graben ("half graben") toda vez que no es bordeado en su perímetro oriental por otra falla conjugada de carácter normal. Esta gran falla, al parecer termina en un afloramiento de TpQb, unidad que es posterior a la misma. Este fallamiento generó estructuras y lineamientos en la misma unidad fisiográfica 2 cuyas direcciones se desvían de 4° a 8° de la dirección N-S, afectando a Top y Toa. Esta misma orientación presenta una alineación de cuerpos asignados a Tmp, lo que sugiere un control estructural para su emplazamiento.

e).- Fallas de orientación E-W. Estas pueden estar genéticamente asociadas al fallamiento N-S antes mencionado. Se postula su presencia entre el cerro de la mina Mariana y el ubicado inmediatamente al SW cortando a dolomías de la unidad Pd y marcando el contacto de estas con KiC en el extremo E de la falla. Inmediatamente al N, se infiere la presencia de otra falla similar delimitando un terreno volcánico hipabisal al N y el terreno sedimentario recién mencionado al S.

EVENTOS TECTÓNICOS

Las estructuras que ocurren en el área de la hoja Carbó son el resultado de una diversidad de eventos de deformación, tanto compresivos como distensivos, que obscurecen sus características y relaciones entre ellos.

El plegamiento que presenta la formación Año Nuevo antecede al fallamiento de empuje que hace cabalgar a la unidad de dolomías (Pd) sobre dicha formación y sobre la Caliza Mural y la



Formación Cintura del Cretácico Inferior. Es, por lo tanto, la deformación más antigua reconocida y todo parece indicar que tuvo lugar antes del período cretácico.

La orientación NW-SE de los anticlinales y sinclinales parecen coincidir con la que reportan Castro y Morfín (1988a) para una deformación que detectaron en su grupo La Palma en la aldea de Cerro de Oro y que consideraron de edad pre-Cretácica correspondiente "probablemente a la fase nevadiana del Jurásico Tardío". Sin embargo, aun reconociendo el hecho de que deformaciones posteriores, incluyendo la rotación de los bloques levantados provocada por el fallamiento "Basin and Range", pudieron modificar y enmascarar las orientaciones estructurales jurásicas y anteriores, es importante señalar que el estilo, orientación de ejes y vergencia al NE de las estructuras en cuestión, contrastan marcadamente con las reportadas para eventos pre-cretácicos en otras áreas, como lo atestiguan, a manera de muestra, los trabajos de Amaya y Calmus (1985), Vega *et al.* (1991), y Radelli *et al.* (1993). En cambio, coinciden con las deformaciones que muestran las rocas cretácicas en distintas regiones del estado. Por ejemplo, Rangin (1977) reportó ejes orientados NW-SE en el Cretácico de la Sierra de San José en el NE del estado y Bartolini y Herrera (1986) documentaron plegamiento NW-SE con vergencia al NE en las unidades aptiano-albianas de la región de Lampazos.

En cuanto al emplazamiento de la cabalgadura del Paleozoico sobre el Cretácico Inferior, no se tienen elementos suficientes para sugerir con precisión su edad, dado el gran lapso de tiempo que separa a dichas unidades de las secuencias terciarias. A rasgos estructurales similares, afectando a unidades correlativas, comúnmente se les ha asignado una edad ya sea laramídica, es decir Cretácico Tardío-Terciario temprano, o mesocretácica. González-León *et al.* (1992) señalan que la deformación cretácica en Sonora tiene mayor afinidad en estilo a la deformación Sevier, atribuyéndole una edad Cenomaniano-pre-Paleoceno o inclusive pre-Campaniano, con base en que unidades post-Grupo Bisbee están afectadas en áreas tales como la aldea Cerro de Oro. Sin embargo, no queda claro cómo este argumento permite sugerir una posible edad pre-campaniano para la deformación. Por otra parte, Minjarez (1991) sostiene que esta orogenia ocurrió entre el cenomaniano y el campaniano, "... inclinándose a pensar que ocurrió en el cenomaniano temprano dada la existencia de facies regresivas de la Formación Cintura de la región de Agua Prieta".



Con esto como soporte y dado el hecho de que no existen en las inmediaciones del área de estudio secuencias sedimentarias para las que irrefutablemente se haya demostrado su depositación durante el cretácico tardío (que no es el caso de la Formación La Palma de González-León y Jacques-Ayala, 1988), lo que sugiere que durante tal época geológica la región constituyó una parte elevada producto de la fase mesocretácica, es factible concluir que estos cabalgamientos fueron emplazados durante dicha fase. Además, como ya se mencionó, este mismo evento causó el plegamiento de los cabalgamientos.

Con respecto al tectonismo terciario, en la región de la carta Carbó se distinguen dos eventos distensivos. El primero de ellos produjo el fallamiento de alto ángulo de orientación general NW-SE, que afecta a las unidades anteriores a la Formación Baucarit. Esta formación presenta variaciones en el echado de sus capas y discordancias angulares internas, lo que atestigua una depositación concomitante con el tectonismo en cuestión. Por lo tanto, este evento tuvo lugar durante el Mioceno, iniciando tal vez desde el oligoceno si las unidades Toa y Tot son sintectónicas como sucede con secuencias volcánicas similares en el SW de Estados Unidos (Gans *et al.*, 1989).

Aquí, cabe aclarar que se confirma lo establecido por Radelli (1989) en el sentido de que la Formación Baucarit se depositó en cuencas distintas a los valles actuales que ocupan las regiones intermontanas, mismos que, como se verá a continuación, fueron generados posteriormente.

El otro evento distensivo terciario generó las fallas normales de orientación general casi N-S ya mencionadas, así como sus fallas conjugadas E-W. A este evento se deben las características fisiográficas actuales del área de estudio al producir el fallamiento en bloques tipo "Basin and Range". A este respecto, cabe mencionar que el estilo que se aprecia no corresponde al que típicamente se asocia a la Provincia Basin and Range, donde los bloques levantados, o horsts, se delimitan en ambos flancos por fallas normales cuyos planos se orientan en direcciones opuestas, e igualmente, los valles corresponden a bloques hundidos relativamente, o grabens, obviamente flanqueados también por las fallas normales. En cambio, tenemos la situación que el bloque que conforma la serranía que corre por el centro del área, correspondiente a la unidad fisiográfica 2 de este trabajo, presenta una gran falla (al menos en extensión longitudinal) normal en su borde Este



mas no en su flanco occidental. Además, en la parte oriental de la carta, no existe una gran falla separando las unidades fisiográficas 3 (valle) y 4 (serranía).

Estas relaciones indican que el fallamiento normal produjo bloques basculados (fig. 9). En cada uno de estos bloques, el extremo que bajó relativamente constituye un valle y el extremo que subió las sierras. En el caso que nos ocupa, sobre un mismo bloque, el valle se encuentra al W y la sierra en el E. Entonces, se tiene que las unidades fisiográficas 1 (valle) y 2 (serranía) se localizan sobre un mismo bloque, y las unidades 3 (valle) y 4 (serranía) corresponden a otro bloque, con la gran falla N-S, indicada en el centro de la carta, representando el límite entre ellos.

Esta interpretación de la estructura "Basin and Range" se refuerza por otra línea de evidencia adicional. Este estilo de bloques basculados implica que al procederse de occidente a oriente, deben de aflorar niveles estructurales más profundos, situación que se presenta claramente, dada su mayor extensión, en el bloque oriental (que comprende en el área a las unidades fisiográficas 3 y 4) el cual, como es de esperarse, no termina en el perímetro de la carta, sino que abarca hasta el valle del río San Miguel en su trayectoria N-S en las inmediaciones del pueblo de Rayón.

Así, en este bloque se pasa de niveles superficiales (depósitos de las unidades TpQs, TpQb, Tml, etc.) en su extremo W a niveles de decenas de kilómetros de profundidad en su extremo E, representadas por el granito atribuido por Castro y Morfín (1988 a y b) al Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano (sic). Entre estos dos "polos", ocurren unidades terciarias más antiguas que las mencionadas en las líneas precedentes, así como las secuencias sedimentarias cretácicas y precretácicas con su fallamiento y plegamiento, representando niveles estructurales intermedios.

Este evento tectónico distensivo tuvo lugar posteriormente a la depositación de la Formación Baucarit. Las gravas y arenas de la unidad TpQs fueron depositadas en las depresiones creadas por el mismo, por lo que al menos los intervalos más antiguos de dichos depósitos deben ser contemporáneos con el tectonismo, pero se desconoce su edad precisa. Por otra parte, las rocas de TpQb parecen también estar asociadas al evento distensivo en cuestión. Esto nos lleva a considerar una edad para el mismo comprendida entre el Neógeno tardío y el Cuaternario, probablemente iniciando desde el Mioceno Tardío.

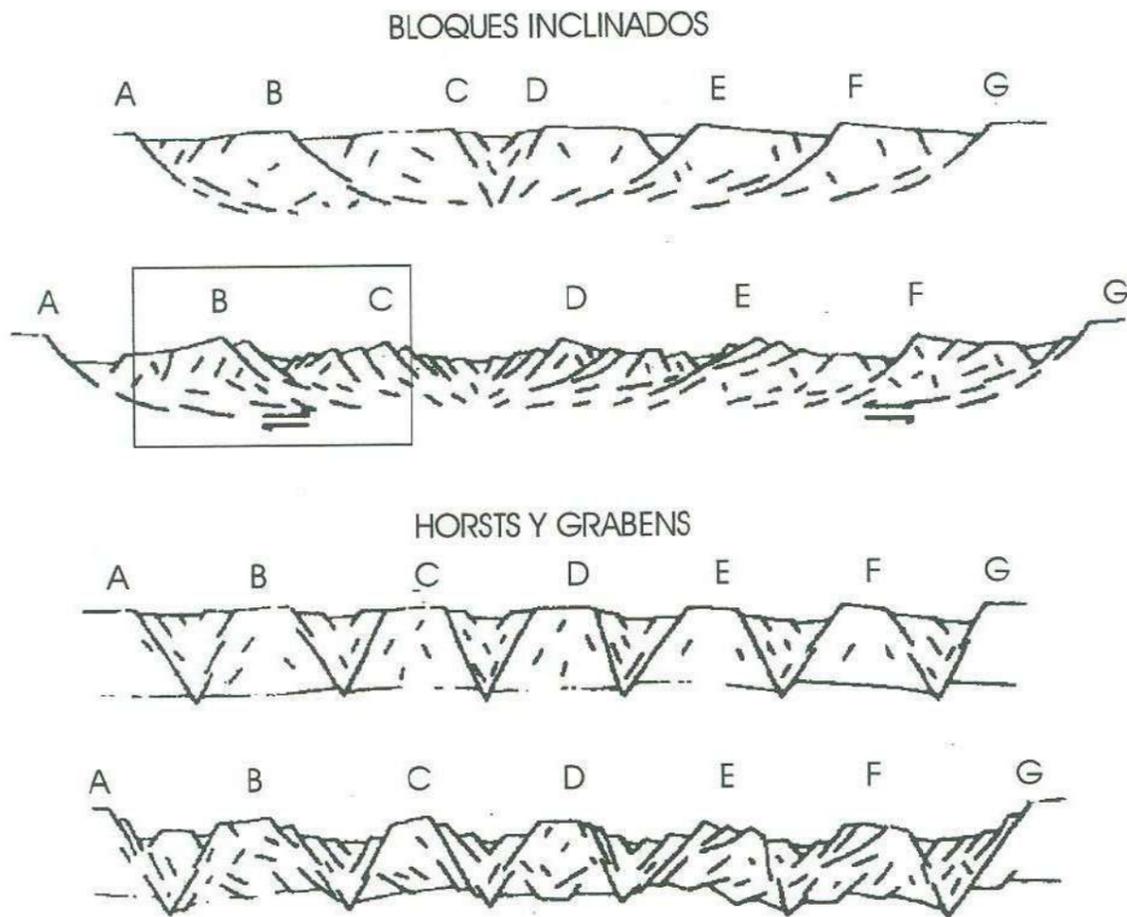


Figura 9.- Dos modelos generales para explicar el desarrollo estructural del fallamiento terciario normal ("Basin and Range"), mostrando fases temprana y tardía de desarrollo. Se considera que el modelo de bloques inclinados se apega más a las características del área de la carta geológica Carbó, en que con fines ilustrativos y sin proporción alguna a los rasgos reales, podemos correlacionar los elementos B y C (recuadro) con las unidades fisiográficas 2 y 4 de este trabajo, mientras que los valles a la izquierda y derecha de B serían equivalentes a las unidades fisiográficas 1 y 3. No se implica que los rasgos D a G guarden alguna relación con sierras más al oriente del área de estudio. Se utiliza esta figura para mostrar esquemáticamente el tipo de estructuras observadas en superficie y no para endosar algún mecanismo de fallamiento o geometría a profundidad (modificada de Effimoff y Pinezich, 1986).





Otros autores han documentado en el estado de Sonora, un evento tectónico posterior a la Baucarit. Por ejemplo, Bartolini *et al.* (1991), en la Sierra Lista Blanca, ubicada por el rumbo de San Marcial, en la parte central de la entidad, describen una latita cálcica de edad 10.4 ± 0.2 m.a., sobreyaciendo a la Formación Baucarit y que es afectada por dos episodios de fallamiento más joven. Esto le daría una edad al fallamiento de Mioceno Tardío a Plioceno.

El levantamiento relativo de la región constituye el último evento geológico registrado en el área de estudio. Se manifiesta al pasar los rellenos de los valles actuales de un régimen de depositación a uno de erosión neta que actualmente está operando, dando por resultado la formación de las mesas y lomeríos que ocupan la unidad fisiográfica 4 de este trabajo, así como el patrón de drenaje paralelo de dicha región así como el de la unidad fisiográfica identificada con el número 1 (fig. 3).

Este levantamiento se menciona aquí ya que, a pesar de estar relacionado muy probablemente al rebajamiento del nivel base de los ríos, causado por la caída global del nivel del mar durante el Holoceno, estuvo acompañado por un ligero basculamiento regional, lo que es sugerido por el patrón de drenaje paralelo recién mencionado, pues de otra forma se hubiera generado en los valles un patrón de drenaje dendrítico. Si bien, localmente pueden existir variaciones, en general el basculamiento fue hacia el S como lo indican la dirección de los ríos principales de esta región de la entidad: Zanjón, San Miguel y Sonora; aunque los dos últimos cambian luego a una dirección más NE-SW. Así, el río San Miguel pasa por la esquina SE del área de la carta Carbó siguiendo un curso con dicha dirección, lo que sugiere una inclinación regional similar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las rocas más antiguas expuestas en el área que cubre la hoja Carbó, lo constituyen las calizas y ortocuarcitas consideradas en este trabajo como cámbricas. Si bien este paquete se encuentra muy afectado por procesos postgenéticos y su afloramiento es muy pequeño, al analizar en el campo sus características, su afinidad cámbrica resulta evidente para cualquier persona que conozca otras secciones de este sistema geológico en la entidad. Por lo tanto, lo importante a realzar aquí no es tanto su asignación cronoestratigráfica sino su mera presencia, pues anteriormente no se



había reportado la ocurrencia de rocas de tal edad en esta región. En la aldea Cerro de Oro, con la cual existe gran afinidad en la columna estratigráfica, no afloran rocas cámbricas. De acuerdo a Fernández-Aguirre *et al.* (1994), los afloramientos cámbricos más cercanos distan 20 km al SW del área de estudio.

Por no aflorar, se desconocen las relaciones estratigráficas de las capas cámbricas con las otras unidades sedimentarias pre-cretácicas, aunque se supone que debe existir una discordancia entre ellas, pues las capas conglomeráticas de la formación Año Nuevo, conteniendo clastos de ortocuarcita, implican la existencia de una área fuente donde afloraban tales tipos de rocas que estaban sujetas a erosión. Por lo tanto, la secuencia cámbrica, junto con las unidades del Precámbrico superior con que está asociada en otros lugares, constituyen excelentes candidatos a ser las rocas madres. Por lo tanto, se considera que la formación Año Nuevo tuvo su origen posteriormente al Cámbrico y, al no poderse descartar otras fuentes para los clastos de esta formación, como la secuencia ortocuarcítica del Ordovícico que reporta Ketner (1986) en el centro del estado, es probable que se haya formado en el Paleozoico tardío.

Si bien el contacto entre la formación Año Nuevo y la unidad de dolomías Pd es estructural, se considera que ambas unidades forman parte de una misma secuencia sedimentaria por la similitud de sus litologías: predominantemente ortocuarcitas con cantidades menores de dolomías en la Año Nuevo y viceversa en la unidad de dolomías Pd. En consecuencia, la edad de Pd se considera en el mismo rango que la de la formación Año Nuevo. Este aspecto merece estudios más detallados para su confirmación pues en Cerro de Oro esta secuencia ha sido considerada precámbrica por su composición litológica y por supuestamente contener estromatolitos, estructuras que no se observaron en la carta Carbó.

Ascendiendo en la columna estratigráfica, las siguientes unidades reconocidas en el área de la carta Carbó pertenecen al Cretácico Inferior y son asignables al Grupo Bisbee según el esquema establecido por González-León y Jacques-Ayala (1988), y modificado por Monreal (1994) para el área de Cerro de Oro. Así, se plasmaron en la carta las distribuciones geográficas de las siguientes unidades: (1) Cretácico Inferior sedimentario indiferenciado, que incluye areniscas, lodolitas, conglomerados y calizas que posiblemente corresponden a las formaciones Cerro de Oro y/o Morita;



(2) Caliza Mural; y, (3) Formación Cintura. Al igual que para las otras unidades sedimentarias formadas previamente al Terciario, los afloramientos del Cretácico Inferior son de muy reducida extensión geográfica, no encontrándose ninguna localidad donde se presentara una sección con todas las unidades litoestratigráficas recién mencionadas que permitiera, por tanto, estudiar las relaciones entre ellas. Por otra parte, no se reconocieron estratos asignables al Cretácico Superior que pudieran corresponder a la Formación La Palma de González-León y Jacques-Ayala (1988).

De hecho, el Cretácico Superior está ausente en el área de estudio. Se puede argüir que las unidades Tgn, Toa y Tot, aquí asignadas al Terciario, pudieran corresponder a tal serie cronoestratigráfica por presentar características litológicas similares a unidades de la parte central del estado que otros autores han asignado al Cretácico Superior-Terciario inferior. Sin embargo, por lo común la evidencia de campo proporcionada solamente sugiere que tal es el intervalo de tiempo comprendido entre los paquetes para los que se tiene mayor certeza de su posición cronoestratigráfica y que encajonan en tiempo a las unidades en cuestión; es decir, solamente indican el rango en que se puede encontrar la edad de las mismas.

Con esto en mente, en este trabajo se consideran que tienen mayor afinidad a los eventos petrotectónicos ocurridos en el Terciario y en consecuencia se consideran de tal edad. Específicamente, la unidad andesítica Toa y la félsica Tot, que son las unidades terciarias de afinidad volcánica más antiguas, se asemejan a las unidades del SW de Estados Unidos que, de acuerdo a Gans *et al.* (1989), fueron concomitantes con los primeros episodios de fallamiento normal de la Provincia Basin and Range. Adicionalmente, dichos autores (*op. cit.*) señalan que tales unidades no son mucho más antiguas que las unidades volcánicas y sedimentarias continentales sobreyacentes. En el caso que nos ocupa, las unidades inmediatamente sobreyacentes corresponden en general a paquetes volcánicos de carácter bimodal (Tomb) y a la Formación Baucarit. Dado que esta última se considera de edad miocénica y presenta evidencias de ser de carácter sintéctónico, siguiendo la conclusión de Gans *et al.* (*op. cit.*) recién mencionada, se cree que tanto Toa como Tot pudieron haber sido formadas en el Oligoceno, lo cual está en armonía con los resultados presentados por Radelli (1986) quien reporta un magmatismo andesítico-riolítico oligocénico en la Provincia de Sierras y Valles Paralelos.



Tanto Toa como Tot presentan un mayor grado de tectonización y de alteración que las unidades más jóvenes, lo que sugiere la acción de procesos tectónico-magmáticos durante y/o poco después de su formación pero antes de que se originaran las unidades que se encuentran por encima de ellas en la columna estratigráfica. Este constituye el primer evento tectónico distensivo que se reconoce en el área de estudio, generando fallas normales de orientación general NW-SE.

Por otro lado, la unidad denominada como Tomb y la Formación Baucarit se encuentran basculadas, mostrando inclusive la última de ellas echados variables y discordancias intraformacionales, lo que atestigua a que durante su formación estuvieron activos los procesos tectónicos distensivos al igual que la actividad magmática asociada, pues hacia su parte inferior se encuentra un paquete basáltico y más arriba presenta la subunidad tobácea indicada en la carta con las siglas TmBt.

Las unidades más jóvenes (Tml, TpQb y TpQs) presentan actitudes horizontales o casi horizontales. Los depósitos sedimentarios de TpQs constituyen el relleno de los valles actuales.

El evento tectónico más antiguo reconocido en el área que cubre la carta Carbó dio origen al plegamiento observado en la formación Año Nuevo en las inmediaciones de la mina La Dorada. Los anticlinales y sinclinales buzcan al NW con ejes orientados NW-SE. Este evento no parece afectar a las unidades del Cretácico Inferior, por lo que tuvo que haber ocurrido antes que su depositación pero no se cuenta con elementos adicionales que permitan establecer con precisión su edad. Sin embargo, dado el contexto regional, se considera probable que sean producto de la orogenia Nevadiana que tuvo lugar al cierre del Jurásico.

El otro evento tectónico mesozoico reconocido es también de carácter compresivo. Fue el causante de la cabalgadura de la unidad paleozoica (?) de dolomías (Pd) sobre la formación Año Nuevo y sobre las unidades del Cretácico Inferior que se observa al S de la parte central de la carta en las inmediaciones de las minas abandonadas La Dorada, La Coqueta y El Mauto. Las evidencias de campo sugieren que el desplazamiento en el área de estudio se dio en una dirección N-S, desconociéndose la magnitud del mismo. Este evento debe ser el mismo que generó el fallamiento de empuje en las unidades del Cretácico Inferior en Cerro de Oro. En ese lugar, Monreal (1994),



basado en datos paleoambientales de tales unidades, sugiere que las mismas han sufrido desplazamientos del orden de las decenas de kilómetros. La orogenia Sevier ocurrida en el Cretácico Tardío es considerada como la generadora de estos cabalgamientos.

Se reconocieron al menos dos eventos tectónicos principales terciarios. Uno de ellos ya fue mencionado líneas arriba. El otro dio origen los rasgos del terreno del terreno mayores que conforman la fisiografía actual al generar la gran falla normal que se infiere que corre en una dirección N-S por el centro de la carta en lo que es el borde oriental de la unidad fisiográfica 2. Esta falla delimita dos bloques basculados, ambos con la porción que baja en el extremo poniente de los mismos y la porción que sube en su extremo oriente. Obviamente, la parte hundida de cada bloque generó valles (unidades fisiográficas 1 y 3) y la parte levantada las sierras (unidades fisiográficas 2 y 4). Este fallamiento en bloques tuvo que dejar de operar antes de la formación de los paquetes volcánicos más jóvenes de la unidad TpQb, probablemente en el Mioceno Tardío o en el Plioceno.

Actualmente, el área de estudio se encuentra sujeta a un régimen neto de erosión por el rebajamiento del nivel base de los ríos que la atraviesan: El Zanjón y el San Miguel.



REFERENCIAS CITADAS

- AMAYA-MARTÍNEZ, R., BOJÓRQUEZ-OCHOA, J.A., CASTRO-RODRÍGUEZ, A.A., FIGUEROA-VALENZUELA, M.C., GRIJALVA-HARO, A.S., MORFÍN-VELARDE, S., ROSAS-HARO, J.A., 1988. Estratigrafía del prospecto Aconchi. Segundo Simposio sobre Geología y Minería de Sonora, Resúmenes, Hermosillo, Sonora, p. 3-5.
- AMAYA M., R., CALMUS, T., 1985. Datos preliminares sobre la geología de la Sierra López y alrededores, Noroeste de Hermosillo, Sonora, México. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 2, nos. 1 y 2, p. 60-64.
- BARTOLINI, C., HERRERA, S., 1986. Estratigrafía y estructura de la región de Lampazos, Sonora, México. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 3, no. 2, p. 13-22.
- BARTOLINI, C., MORALES, M., DAMON, P., SHAFIQUILLAH, M., (1991). Geology and geochronology of the Sierra Lista Blanca, central Sonora, Mexico: a progress report. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 8, no. 1, p. 1-15.
- CASTRO-RODRÍGUEZ, A.A., MORFÍN-VELARDE, S., 1988a. Geología de la carta Rayón, con énfasis en el área de Cerro de Oro, Sonora Central. Universidad de Sonora, Tesis de Licenciatura, 84 pp.
- CASTRO, A.A., MORFÍN-V., S., 1988b. Contribución a la geología del área de Cerro de Oro. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 5, no. 1 y 2, p. 25-39.
- COOPER, G.A., ARELLANO, A.R.V., JOHNSON, J.H., OKULITCH, V.J., STOYANOV, A., LOCHMAN, C., 1956. Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Congreso Geológico Internacional, XX Sesión México 1956, 259 pp.
- COMISIÓN TÉCNICA CONSULTIVA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE AGOSTADERO (COTECOCA), 1989. Características principales de los tipos de vegetación en el Estado de Sonora. Documento interno, 26 pp.
- DIRECCIÓN GENERAL DE FOMENTO MINERO, 1991. Informe de materias primas para la elaboración de cemento y estudio geológico de cuatro localidades de calizas ubicadas en los municipios de San Miguel de Horcasitas y Carbó, Sonora. Documento interno, 24 pp.
- DETENAL (Dirección General de Geografía del Territorio Nacional hoy INEGI), 1980. Carta de climas Tijuana, escala 1:1,000,000.
- DETENAL, 1981a. Carta hidrológica de aguas superficiales Hermosillo, H12-8, esc. 1:250,000.
- DETENAL, 1981b. Carta Fisiográfica Tijuana, escala 1:1,000,000.
- DETENAL, 1982. Carta Geológica Hermosillo, H12-8, esc. 1:250,000.
- Reporte que acompaña a la carta geológica Carbó, escala 1:50,000





- EFFIMOFF, I, PINEZICH, A.R., 1986. Tertiary structural development of selected basins: Basin and Range Province, northeastern Nevada. *In*: Mayer, L, (ed.) Extensional tectonics of the southwestern United States: a perspective on processes and kinematics. Geological Society of America, Special Paper 208, p. 31-42.
- FERNANDEZ-AGUIRRE, M.A., MONREAL-SAAVEDRA, R., GRIJALVA-HARO, A.S., 1994. Carta geológica Sonora, 1:500,000. Gobierno del Estado de Sonora, Dirección General de Fomento Minero y Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora.
- FLINN, D.L., 1977. Geology of cerro Macho area, Sonora, Mexico. Northern Arizona University, tesis de maestría, 73 pp.
- GANS, P.B., MAHOOD, G. A., SCHERMER, E., 1989. Synextensional magmatism in the Basin and Range Province: a case study from the eastern Great Basin. GSA, Special Paper 233, 53 pp.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C., JACQUEZ-AYALA, C., 1988. Estratigrafía de las rocas cretácicas del área de Cerro de Oro, Sonora, Central. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 5, no. 1 y 2, p. 1-23.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C., MILLANES, M.D., MARTÍNEZ GARCÍA, H., 1993. Reporte preliminar sobre la geología de las hojas Bacanuchi-Arizpe, Sonora. *In*: Vega G., E.L., e Islas L., J.E., (eds.), Simposium del XIX Aniversario Departamento de Geología, Resúmenes, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, 15 al 19 de noviembre de 1993.
- GONZÁLEZ-LEÓN, C., ROLDÁN-QUINTANA, J., RODRÍGUEZ, E.P., 1992 Deformaciones Sevier y Laramide: su presencia en Sonora. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 9, no. 1, p. 1-18.
- LONGORIA, J.F., GONZÁLEZ, M.A., 1979. Estudios estratigráfico-estructurales en el Precámbrico de Sonora: Geología de los cerros Gamuza y El Arpa. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 2, no. 2, p. 106-149.
- HAYES, P.T., 1970, Cretaceous paleogeography of Southern Arizona and Adjacent Areas: U.S. Geological Survey Prof. Paper 658-B, 42p.
- HIMANGA, J.C., 1977. Geology of the Sierra Chiltepinas, Sonora, Mexico. Northern Arizona University, tesis de maestría, 99 pp.
- GONZALEZ-LEON, C., JACQUEZ-AYALA, C., (1988).Estratigrafía de las Rocas Cretácicas del Area de Cerro de Oro, Sonora, Central. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 5, no. 1 y 2, p. 1-23.
- GRIJALVA-NORIEGA, J., 1991. Sobre el cretácico temprano en Sonora y áreas adyacentes. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, vol. 8, no. 2, p. 1-18.
- HENRY, C.D., ARANDA-GOMEZ, J.J., 1992. The real southern Basin and Range: Mid- to late Cenozoic extension in Mexico. *Geology*, Vol. 20, no. 8, p. 701-704.



- KETNER, K.B., 1986. Eureka Quartzite in Mexico?- Tectonic implications. *Geology*, vol. 14, p. 1027-1030.
- KING, E.R. (1939) Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America, Bulletin*, vol. 50, p. 1625-1722.
- MARTÍNEZ GARCÍA, H., SOOTS LÓPEZ, N, RODRÍGUEZ CASTAÑEDA, J.L., GARCÍA Y BARRAGÁN, J.C., 1993. Rocas volcanosedimentarias del cretácico tardío (?) en la región central de Sonora. *In: Vega G., E.L., e Islas L., J.E., (eds.), Simposium del XIX Aniversario Departamento de Geología, Resúmenes, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, 15 al 19 de noviembre de 1993.*
- MINJAREZ SOSA, I., 1991. La orogenia mesocretácica en Sonora. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, vol. 1, no. 2, p. 19-36.
- MONREAL, R., 1994. Facies changes, unconformities, stratigraphic juxtapositions and their tectonic implications of the Cretaceous of Cerro de Oro, central Sonora, Mexico. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, vol. 11, no. 1, p. 1-30.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE, THE, 1983. North American Stratigraphic Code. *Am. Ass. Petroleum Geologists Bulletin*, vol. 67, no. 5, p. 841-875.
- PUBELLIER, M., 1987. Relations entre Domaines Cordillerain et Mesogéen au Nord du Mexique; Etude Geologique de la Vallee de Sahuaripa, Sonora Central. *Universite Paris, tesis de Doctorado*, 219 pp.
- RADELLI, L., 1986. An essay on the southern Basin and Range. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, vol. 3, no. 1, p. 51-46.
- RADELLI, L., 1989. The Baucarit Problem. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, vol. 6, nos. 1 y 2, p. 55-57.
- RADELLI, L., RODRIGUEZ, P., ORNELAS, R. E., (1985). Origin of some Geomorphologic Lineaments and Curvilineaments of Central Sonora (Northwestern Mexico). *Bol. Depto. Geol. Uni-Son*, vol. 2, nos. 1 y 2, p. 1-8
- RADELLI, L., DESMONS, J., CASTRO-L., T., 1993. The rotation of Laurentia and the nevadian orogeny of NW Mexico and SW USA. *Bol. Depto. Uni-Son*, vol. 10, no. 1, p. 63-110.
- RAISZ, E., 1964. Landforms of Mexico, morphological map prepared of the Geography Branch of the Office of Naval Research. Cambridge, Massachusetts.
- RANGIN, C. 1977. Tectónicas sobrepuestas en Sonora septentrional. *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, Vol. 1, No. 1, p. 44-47.



- RANGIN, C., 1986. Contribution a l'etude géologique du système cordillérain mésozoïque du nord-ouest du Mexique: une coupe de la Basse Californie centrale à la Sierra Madre occidentale en Sonora. Société Géologique de France, memoire no. 148, 136 pp.
- RANSOME, F.L., 1904, The geology and ore deposits of the Bisbee quadrangle, Arizona: U.S. Geol. Survey Prof. Paper 21, 168 pp.
- SITTEN-AYALA, J.R., 1987. Exploración geológica-minera del área Cerro Colorado en el Distrito de Cerro de Oro, Sonora, Municipio de Rayón, Sonora. Universidad de Sonora, Departamento de Geología, tesis profesional, 95 pp.
- STEWART, J.H., McMENAMIN, M.A.S., MORALES-RAMIREZ, J.M., 1984. Upper proterozoic and cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico- Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations. U.S. Geological Survey Professional Paper 1309, 36 pp.
- VEGA-GRANILLO, R., PÉREZ-SOTO, F., CHAPARRO-MEZA, M., 1991. Mantos de corrimiento y cabalgaduras imbricadas en Sonora central. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, Vol. 8, No. 2, p. 37-46.