

GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA DE LA REGIÓN DE GALEANA, ESTADO DE NUEVO LEÓN

Rafael Huízar-Álvarez¹ y
Oralia Oropeza-Orozco²

RESUMEN

El análisis morfoestructural realizado en la región de Galeana, Estado de Nuevo León, muestra que las formas kársticas se distribuyen, sobre todo, en estructuras isoclinales. Se trata, esencialmente, de un *karst* heredado, que refleja una evolución en condiciones climáticas más húmedas que las actuales. En nuestros días, estas formas se están retocando por efectos neotectónicos, bajo climas dominantes seco, semiseco y subhúmedo. Asimismo, se observa que el modelo kárstico más reciente lo constituyen los poljés de San José de la Hoya y la Hoya de Abajo, los cuales se han desarrollado en un clima templado-semifrío.

Desde el punto de vista hidrogeológico, las formaciones Olvido, La Casita y Taraises son las de mayor interés, ya que en ellas, especialmente en las dos primeras, se encuentra la zona de saturación, donde la calidad del agua es buena.

Palabras clave: geomorfología, hidrogeología, *karst*, Galeana, Nuevo León, México.

RESUMÉ

D'après l'analyse morphostructurale de la région de Galeana (Nuevo León, Mexique), on a trouvé que les formes karstiques se sont développées surtout dans des plis isoclinaux. Il s'agit d'un *karst* hérité et formé dans des conditions climatiques plus humides que de nos jours. Ces formes sont retouchées actuellement par des effets de la néotectonique et d'un climat aride et semiaride. Dans les poljés de San José de la Hoya et La Hoya de Abajo nous avons reconnu les plus récent modèle karstique sous un climat tempéré-froid.

Du point de vue hydrogéologique, les niveaux qui revêtent le plus grand intérêt appartiennent aux formations Olvido, La Casita et Taraises où il se trouve, justement, la zone de saturation. Quant à la bonne qualité de l'eau, les niveaux des deux premières formations sont les plus importants.

Mots clés: géomorphologie, hydrogéologie, *karst*, Galeana, Nuevo León, Mexique.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Una gran superficie del territorio mexicano presenta un relieve de origen kárstico. El estudio de los fenómenos que lo producen es importante, por las relaciones que se establecen entre el medio natural y el hombre, sobre todo cuando se trata de resolver problemas tales como la falta de agua para el desarrollo regional.

En México, Bonet (1953a y 1953b) realizó dos de los trabajos pioneros sobre *karsts*. Posteriormente, este tipo de estudios fue abandonado. Por lo tanto, pretendemos que el artículo presente sea uno de los que reinicien la investigación de dicho tema en nuestro país. Aunque no se trata de un estudio especializado del *karst*, sí se intenta determinar su dinámica, dentro del sistema natural que predomina en la actualidad, con base en el análisis de las estructuras geológicas y de la hidrogeología del área de estudio.

OBJETIVOS

Una parte considerable de la superficie de México está constituida por rocas calcáreas, las cuales por encontrarse en dominios climáticos y estructurales diferentes originan distin-

tas formas de relieve. De estas formas, las kársticas son las de mayor importancia, sobre todo por la relación que tienen con los aspectos hidrogeológicos. Lamentablemente, como ya se ha señalado, en nuestro país existen muy pocos estudios referentes a *karsts* y prácticamente ninguno que trate el punto de vista hidrogeológico.

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar la génesis y desarrollo del *karst* de la región de Galeana, con base en el análisis de las estructuras geológicas. Los objetivos secundarios son: (a) realizar una carta de morfología kárstica de escala 1:50,000; (b) establecer las relaciones entre el *karst* superficial y el subterráneo; y (c) determinar algunos aspectos hidrogeológicos del *karst*.

MÉTODO DE ESTUDIO

Para la elaboración de este artículo, se contó con imágenes LANDSAT, fotografías aéreas y cartas topográficas y climáticas del área, de escalas 1:500,000 y 1:50,000, respectivamente, elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.

La primera etapa de la investigación consistió en el análisis crítico de la bibliografía y documentos cartográficos disponibles, referentes al área de estudio. Simultáneamente, se realizó la fotointerpretación y el estudio de las imágenes LANDSAT, a fin de cartografiar las principales características estructurales; se determinó, también, la geometría (incluyendo medición) de las formas kársticas, desarrolladas en las es-

¹ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

² Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D. F.

estructuras.

Durante la segunda etapa, se efectuó dos salidas de campo. En la primera de ellas, se reconoció, de manera general, el terreno. En la segunda, se hizo el aforo de algunos manantiales y se determinó el *pH*, la temperatura y la dureza del agua; asimismo, se hizo un muestreo de suelos y se analizó las diferentes formaciones vegetales que, de una u otra manera, tuvieran relación con el *karst*.

En la tercera etapa, se llevó a cabo la fotointerpretación definitiva del área y el análisis, en el laboratorio, de las muestras de suelos recolectadas.

Finalmente, con la información obtenida tanto en el campo como en el gabinete, se elaboró la cartografía y la memoria correspondiente.

ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios geológicos existentes, relativos a la Sierra Madre Oriental, en el área de estudio, pueden ser clasificados en la forma siguiente:

- Estudios locales sobre la estratigrafía de las diferentes sierras que conforman esta gran unidad geomorfológica. Se ha descrito formalmente varias columnas estratigráficas que varían de una sierra a otra, estableciendo su correlación (Imlay, 1938; Humphrey, 1956; Tardy, 1972).

- Estudios de orden más regional, que tratan de precisar la estratigrafía y las características estructurales (de Cserna, 1956; Padilla y Sánchez, 1985).

- Estudios de prospección de hidrocarburos, agua y minerales, realizados por PEMEX, la SARH o compañías privadas; muchos de ellos son inéditos.

- Estudios sobre morfología kárstica, que son muy escasos; únicamente se conoce los de Wenzens (1973 y 1973-1974).

El análisis de las fuentes bibliográficas demostró que aún faltan estudios por realizar, no sólo de carácter geológico, sino también en relación con otros temas del medio natural, los cuales permitirán conocer mejor esta área de la Sierra Madre Oriental.

MARCO GEOGRÁFICO

LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El área considerada en este artículo se encuentra en la parte centrooccidental del Estado de Nuevo León; está limitada por los paralelos 24°45' y 25°00'N y los meridianos 100°00' y 100°20'W. Comprende una superficie aproximada de 934 km² que, en su mayoría, pertenece al Municipio de Galeana; sólo una pequeña porción, al NE, se ubica en el Municipio de Rayones.

En general, el área está bien comunicada. Las principales vías de acceso son las carreteras números 57 (Matehuala-Salttillo) y 60 (Matehuala-Linares); ambas se unen a la de San Roberto-Galeana y a ellas confluyen varios caminos vecinales (Figura 1).

MEDIO FÍSICO

La región de Galeana se encuentra en la provincia geomorfológica de la Sierra Madre Oriental, principalmente entre los límites de las subprovincias Montañas Marginales al Altiplano y Frente Oriental de la Sierra (Lugo-Hubp, en prensa; Raisz, 1964).

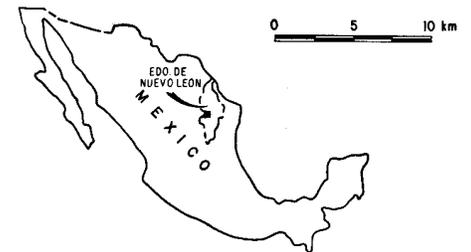
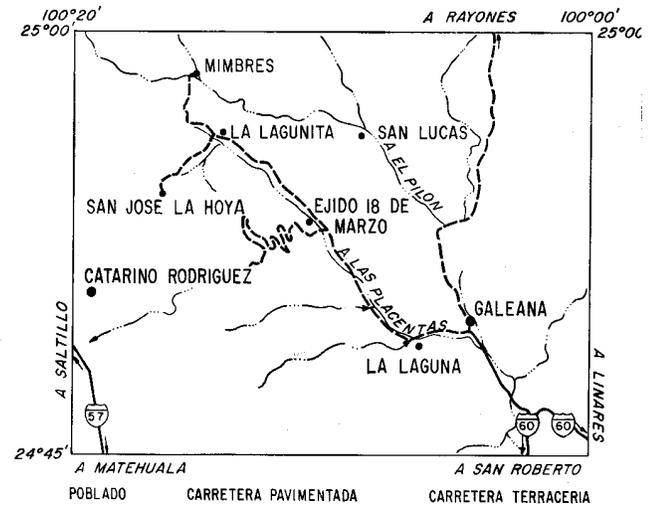


Figura 1.- Mapa de localización del área estudiada.

El relieve de estas subprovincias está ligado a una evolución tectónica muy compleja, la cual dio como resultado estructuras fuertemente plegadas de rocas sedimentarias del Jurásico Superior y Cretácico Superior.

La secuencia sedimentaria está constituida por caliza, caliza arcillosa y yeso. Son comunes los pliegues recostados, así como las cabalgaduras hacia el oriente y, en algunos lugares, se encuentra estructuras en forma de diapiros. En conjunto, el relieve se caracteriza por una serie de cadenas montañosas, valles intermontanos y depresiones kársticas, cuya dirección predominante es NW-SE; la red hidrográfica también presenta esta orientación general.

Las vertientes de las sierras tienen una pendiente muy fuerte y se encuentran múltiples cornisas, escarpes y paredes subverticales; el fondo de los valles es estrecho y está parcialmente cubierto por los materiales provenientes de las vertientes.

Las elevaciones principales superan los 3,000 m de altitud, destacándose los cerros Potosí, con 3,760 m. s. n. m., el más alto en todo el noreste de México; El Picacho, con 3,140 m. s. n. m., y la loma La Guitarra, con 3,120 m. s. n. m., entre otros (Figura 2).

En el caso que nos ocupa, además de las estructuras que condicionan el proceso de karstificación, interviene el clima, a través de sus dos elementos principales, la temperatura y la precipitación. Éstos influyen en la velocidad de corrosión y sus modalidades.

Lo anterior nos lleva a analizar las condiciones climáticas que existen en la región. Se presentan varios tipos de clima que se distribuyen a manera de franjas alargadas, siguiendo los

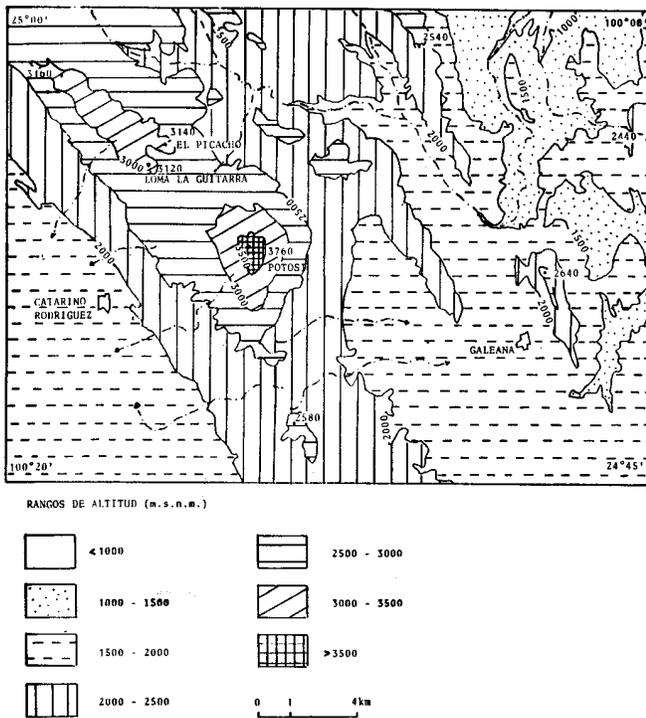


Figura 2.- Carta hipsométrica de la región de Galeana, Nuevo León.

grandes lineamientos morfológicos, es decir, NW-SE y N-S. El relieve montañoso y la diferencia de altura, entre los picos más elevados y los fondos de los valles, son los factores principales que modifican a estos climas (Figura 3).

De acuerdo con la Figura 3, al oriente dominan climas secos y semisecos con una precipitación total anual entre 300 y 500 mm, cuyo régimen pluvial es de verano; sin embargo, en la mitad del verano se presenta una sequía leve (canícula). El porcentaje de lluvia invernal oscila entre 5 y 10.2%. La temperatura media anual varía entre 18 y 22°C y el invierno es fresco.

En el centro, los climas dominantes son templados subhúmedos, ya sea con lluvia de verano o escasa durante todo el año. En el caso del clima con régimen pluvial de verano, la precipitación total anual que se registra varía desde 600 hasta 800 mm. La temperatura media anual varía entre 12 y 18°C y el mes más frío registra entre -3 y 18°C.

En la parte centrooccidental, que corresponde a la cumbre más alta (cerro Potosí), predomina un clima semifrío subhúmedo con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal mayor que 18%. La precipitación total anual tiene un orden que varía entre 300 y 600 mm. La temperatura media anual es de 12 y 18°C y el verano es cálido.

En esta región hay mayor humedad en la parte oriental que en la occidental, debido a la sombra pluviométrica, provocada por la Sierra Madre Oriental que interfiere en la circulación de los vientos provenientes del Golfo de México. La temperatura es más alta en el fondo de los valles y de las depresiones.

Respecto a las oscilaciones térmicas se observa que, a pesar de que las variaciones diarias influyen en el desarrollo kárstico, son más significativos los cambios estacionales. En efecto, la oscilación térmica anual es extremosa, con una dife-

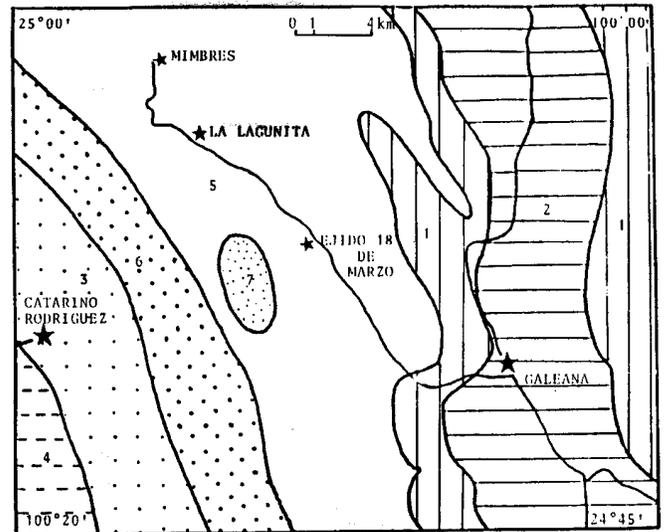


Figura 3.- Mapa de distribución de zonas climáticas de la región de Galeana, Nuevo León.

1. BS₁hw Semiseco, semicálido, con lluvias de verano, entre 5 y 10.2% de lluvia invernal y sequía de medio verano.
2. BS₀hw Seco, semicálido, con lluvias de verano, entre 5 y 10.2% de precipitación invernal, precipitación total anual entre 300 y 500 mm, temperatura media anual entre 18 y 22°C.
3. BS₁kx' Semiseco, templado, con lluvias escasas todo el año, más de 18% de lluvia invernal, precipitación total anual entre 400 y 600 mm, temperatura media anual entre 12 y 18°C.
4. BS₀kx' Seco, templado, con lluvias escasas todo el año, más de 18% de lluvia invernal, precipitación total anual entre 300 y 400 mm, temperatura media anual entre 14 y 18°C.
5. C(w₁)(x') Templado, subhúmedo con lluvias de verano, más de 10.2% de lluvia invernal, precipitación total anual entre 600 y 800 mm, temperatura media anual entre 12 y 18°C.
6. Cx' Templado, subhúmedo con lluvias escasas todo el año, más de 18% de lluvia invernal, temperatura media anual entre 12 y 18°C.
7. C(E)(w₁)x' Semifrío, subhúmedo con lluvias de verano, más de 10.2% de lluvia invernal, temperatura media anual entre 5 y 12°C.

Fuente: SPP (INEGI), 1981, Síntesis Geográfica de Nuevo León, México, D. F.

rencia, entre el mes más frío y el mes más cálido, de 7 a 14°C y es en la estación invernal cuando se intensifican los procesos como el *criokarst*.

Las condiciones climáticas y litológicas de la zona hacen que el drenaje sea de régimen estacional, con excepción de las corrientes alimentadas por manantiales, con gastos suficientes para mantener un sistema permanente; esto se aprecia, por ejemplo, en tramos subterráneos y superficiales del río Pílon.

La acción conjunta de procesos ambientales, en función de las condiciones estructurales, litológicas y climáticas, ha originado un patrón de suelos, en general, poco desarrollado. Son muy frecuentes las asociaciones de ellos, siendo las de litosoles, rendzinas, xerosoles y regosoles las que cubren la superficie mayor.

Sintetizando sus características, podemos decir que son suelos de profundidad escasa o moderada, derivados de caliza,

lutita y yeso. El contenido de materia orgánica, en la primera capa, es desde moderado hasta alto. Su reacción (*pH*) tiende a ser ligeramente alcalina; son ricos en carbonatos o sulfatos de calcio. Las texturas dominantes son la media y la fina, es decir, son suelos que van desde migajones arenosos hasta arcillosos.

La *terra rossa*, producto de la descalcificación de las rocas calcáreas, con un contenido elevado de arcillas, se acumula con frecuencia, en pequeñas dolinas y úvalas, creando condiciones propicias para el desarrollo agrícola. En ocasiones, el material arcilloso de las dolinas llega a obstruir la circulación del agua, estancándose para formar lagunas temporales o permanentes, la laguna de Labradores es un ejemplo de laguna permanente.

Las características del medio físico que han sido señaladas se reflejan en el desarrollo de diferentes comunidades vegetales y en el uso del suelo. La vegetación muestra un mosaico muy complicado: bosques de pino, de pino-encino y chaparrales, en las partes montañosas, situadas al occidente de Galeana; matorrales inermes y subinermes, distribuidos en toda la zona, al igual que pastizales; por último, se encuentra las áreas agrícolas (de temporal y riego) que, en su mayoría, se ubican en el fondo de los valles, poljés y dolinas.

La vegetación natural se encuentra muy alterada, dando lugar a formaciones de origen secundario, de tal manera que hay una mezcla caprichosa, con tendencia general a la degradación del medio, especialmente por efectos antrópicos.

Todo lo expuesto en los párrafos anteriores constituye el marco ambiental, en el cual se desarrollan los procesos kársticos del área de estudio.

ESTRATIGRAFÍA

La litología del área está integrada por una secuencia sedimentaria, esencialmente marina, formada por caliza, caliza arcillosa y yeso; comprende desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. Gran parte de esta litología está cubierta por sedimentos cuaternarios (Figura 4).

Las formaciones estratigráficas aquí reconocidas, de acuerdo con Imlay (1938), Díaz (1951), Humphrey (1956) y Padilla y Sánchez (1985), entre otros, son las siguientes:

FORMACIÓN OLVIDO

Esta formación está constituida por yesos y dolomías intercalados con horizontes delgados de lutitas. Constituye el núcleo de los anticlinales del área, y sus principales afloramientos están al W y S.

La Formación Olvido, que constituye las planicies y lomeríos en esta región, subyace concordantemente a la Formación La Casita. Según Padilla y Sánchez (1985) esta secuencia sobreyace, en discordancia tectónica, a las capas rojas de la Formación Huizachal del Jurásico Superior. Tavera (1960), citado por el autor anterior, le asignó una edad del Oxfordiano-Argoviano, debido a su posición estratigráfica, ya que no contiene fósiles.

FORMACIÓN LA CASITA

Esta unidad presenta, en la parte superior, una alternancia de lutita carbonosa gris oscuro, en estratos gruesos que contienen pelecípodos.

En la parte media, tiene lutitas de color gris claro y limolitas, intercaladas con horizontes de yeso de hasta 4 cm de espesor; hacia la base, la unidad contiene calizas arenosas negras en estratos que varían desde delgados hasta medianos y concreciones calcáreas, en ocasiones con fósiles del amonites *Glochician diaboli* sp. Esta unidad conforma lomas pequeñas de pendiente suave que, por lo general, bordean depresiones kársticas desarrolladas en la Formación Olvido, unidad a la que sobreyace en forma normal, y subyace a la Caliza Taraises. La edad asignada a la Formación La Casita es portlandiana.

FORMACIÓN TARAISES

Esta unidad contiene calizas en estratos medianos, de color gris oscuro, calizas arcillosas de color gris claro, en estratos delgados con algunos horizontes de lutitas en la parte superior. Cabe destacar su contenido microfaunístico, del cual Padilla y Sánchez (1985) reportó tintinidos y nanocoides, así como macrofauna de amonites que él mismo clasificó como *Alcostephanus*. Esta unidad pertenece al Berriasiano-Hauteriviano, sobreyace a la Formación La Casita y subyace a la Caliza Cupido.

CALIZA CUPIDO

Esta formación está constituida por caliza de color gris claro, en estratos gruesos, con un tinte rosáceo por efecto del intemperismo. Estas rocas se intercalan con estratos delgados de calizas arcillosas; contiene concreciones de pirita, nódulos grandes de pedernal y abundantes microfósiles (gasterópodos, algas y miliólidos).

Como estas calizas son masivas y están muy fracturadas, facilitan el desarrollo de los procesos kársticos. Entre los estratos son frecuentes los estilolitos.

La edad de la Formación Cupido es del Hauteriviano-Barremiano. Subyace a la Formación La Peña y sobreyace a la Formación Taraises.

Aquí se reconoció las facies que pertenecen al miembro arrecifal y al de plataforma.

FORMACIÓN LA PEÑA

Con el nombre de Formación La Peña, se designa a una secuencia de caliza arcillosa, de color gris claro, de estratos delgados y lutita calcárea, en estratos también delgados. En la parte inferior contiene concreciones de pirita y nódulos de pedernal, el cual hacia la parte superior, forma bandas delgadas. La fauna está representada por fósiles del amonites *Dufrenoyia* sp. y pelecípodos. La edad de esta formación es del Aptiano-Albiano.

FORMACIÓN TAMAULIPAS SUPERIOR

Esta formación consiste en calizas color gris claro, en estratos desde medianos hasta gruesos que, hacia la cima, se intercalan con lutitas; también contiene nódulos y bandas gruesas de pedernal. Por las características que presenta en la parte media superior, corresponde más bien a la Formación Cuesta del Cura, cuyas calizas laminares son de color gris oscuro. Esta unidad contiene fósiles de amonites recristalizados, así como foraminíferos. La edad considerada para esta formación es del Albiano-Cenomaniano.

Tanto las calizas de la Formación Cupido como las de la

GEOMORFOLOGÍA KÁRSTICA DE LA REGIÓN DE GALEANA

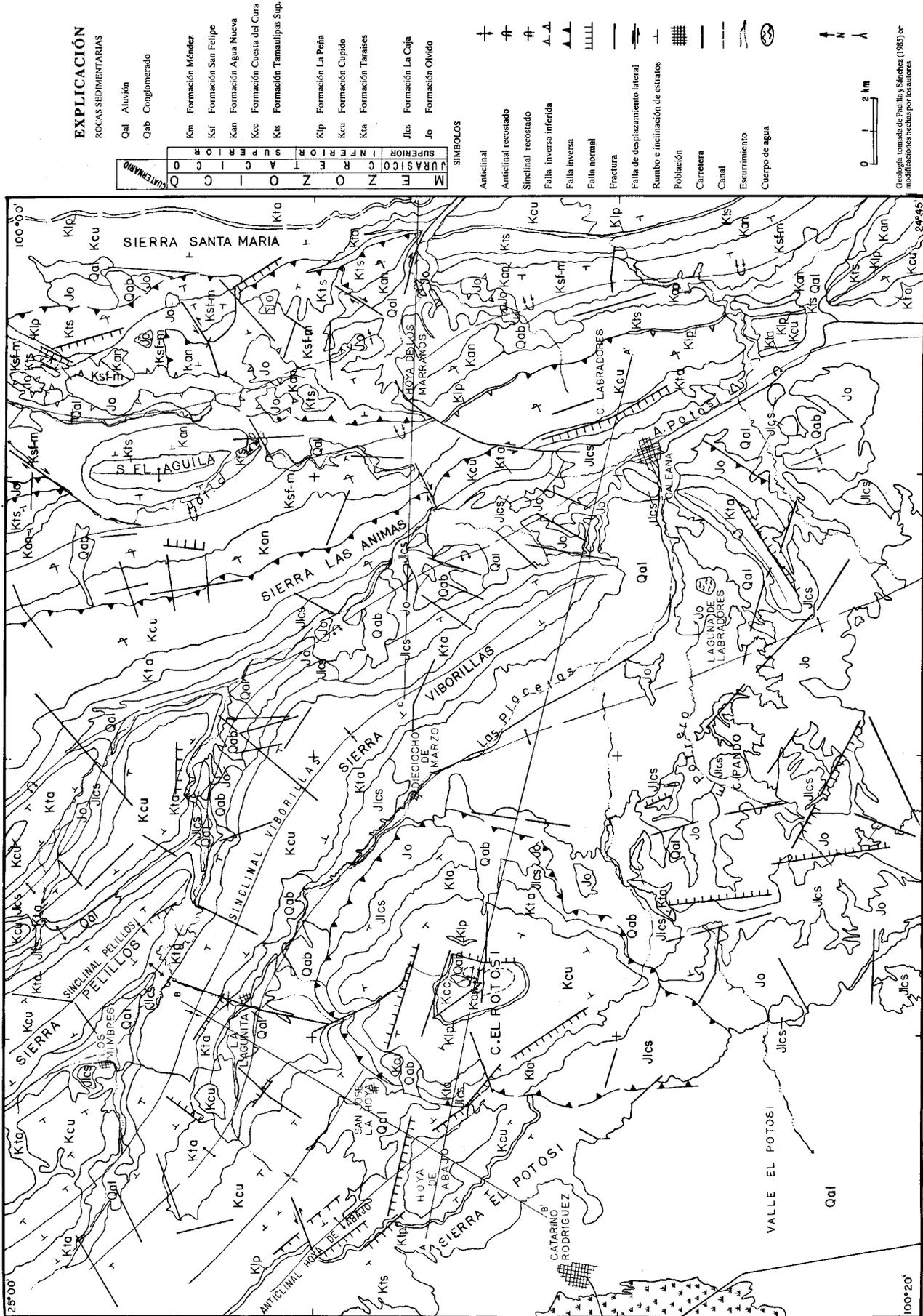


Figura 4.- Mapa geológico de la región de Galeana, Nuevo León.

Formación Tamaulipas Superior originan relieves muy abruptos en el área de estudio.

FORMACIÓN AGUA NUEVA

La unidad presente está constituida por caliza de color gris, en estratos desde delgados hasta medianos, intercalada con lutita negra carbonosa, ambas laminadas y muy compactas; en el área de estudio, estas rocas intemperizan a un color ocre amarillento.

Esta unidad sobreyace a las formaciones Tamaulipas Superior, en el área oriental, y a la Cuesta del Cura, en el área occidental, y subyace concordantemente a la Formación San Felipe. Se le asigna una edad del Cenomaniano-Turoniano.

FORMACIÓN SAN FELIPE

Esta unidad consiste en caliza sucia de color gris oscuro en estratos delgados, intercalada con lutita calcárea de color gris oscuro; ambas rocas intemperizan a un color gris amarillento. La edad de esta unidad corresponde al Coniaciano-Santoniano.

FORMACIÓN MÉNDEZ

De acuerdo con Padilla y Sánchez (1985), esta unidad está constituida por lutitas calcáreas y calizas margosas, en estratos delgados y es la de mayor espesor dentro del área estudiada (200 m). Sobreyace, concordantemente, a la Formación San Felipe y se le asigna una edad del Maastrichtiano-Campañiano.

En algunos sitios, la Formación Méndez está cubierta por depósitos cuaternarios (aluviales y coluvio-aluviales), mientras que en la región de Galeana, tanto esta formación como la San Felipe, presentan deformaciones internas, observándose fallas inversas y, en ocasiones, fallas normales. Es característico de ellas su intemperismo foliado, de coloración verde amarillenta. Ambas ocupan, casi siempre, los valles que corresponden a sinclinales recostados, en tanto que en otras estructuras han desaparecido por erosión, lo cual favorece el desarrollo del *karst*.

Dentro de la secuencia estratigráfica, las formaciones más recientes corresponden a depósitos cuaternarios, constituidos por materiales aluviales, coluvio-aluviales y suelos.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

El análisis de los lineamientos de origen tectónico y de las características estructurales observados en las fotografías aéreas, en las imágenes de satélite y durante el trabajo de campo, permitió distinguir claramente tres áreas. Cada una de ellas presenta una morfología propia, debido a las diferencias de su estructura geológica y a la deformación a la que han estado sujetas. Las áreas están delimitadas por uno o más lineamientos, mismos que se prolongan fuera del área de estudio (Figura 5).

ÁREA NOROCCIDENTAL

Esta área está constituida por cinco pliegues isoclinales, con una orientación promedio NW50°SE, una amplitud de onda aproximada de 4 km y longitudes variables (10 km en promedio). Dichas estructuras son los anticlinales siguientes: Ho-



Figura 5.- Lineamientos estructurales de la región de Galeana, Nuevo León.

ya de Abajo, El Taray, Los Mimbres, Pelillos y El Tepetate.

Morfoestructuralmente, estos pliegues, excepto el de Hoya de Abajo, constituyen un relieve invertido, albergando en ellos depresiones kársticas. Otra característica estructural común en ellos son las fallas de gravedad, que deben relacionarse tanto con los procesos kársticos como con los tectónicos. Los tres últimos pliegues son estructuras *en échelon* inclinadas, que terminan en las inmediaciones del poblado Santa Cruz.

El anticlinal El Taray, desde su extremo noroccidental hasta el poblado La Lagunita, se manifiesta como un pliegue isoclinal, a partir del cual la estructura está erosionada y sólo es visible su sinclinal respectivo (sinclinal de Viborillas), el cual presenta un recostamiento hacia el SE y un cambio rápido de dirección, a partir del poblado 18 de Marzo.

Este sinclinal se interrumpe bruscamente a la altura de la ciudad de Galeana, donde está delimitado por un lineamiento de orientación NE-SW, al sur del cual existe un pliegue pequeño transversal al anticlinal Taray.

Es de suponer que su disposición estructural y características erosivas, se hayan iniciado durante un evento tectónico intenso que, posteriormente, facilitara el desarrollo de la corrosión, con un modelado kárstico.

Por su parte, el anticlinal Hoya de Abajo, a pesar de que tiene un modelado menos acentuado que los anteriores, presenta un relieve kárstico bien desarrollado. La continuación de este anticlinal, hacia el SE, no es muy clara después del cerro Potosí, donde la estructura termina rápidamente, es decir, queda interrumpida por una elevación topográfica que, estructuralmente, constituye un braquisinclinal, el cual, por sus relaciones estructurales con los relieves que lo circundan, debe corresponder a un *klippe* sobre el anticlinal mencionado, cuya procedencia quizá se deba a estructuras situadas al sur de su posición actual, originadas durante la Orogenia Laramide (Figura 6, Sección A-A').

ÁREA ORIENTAL-NORORIENTAL

Esta área está integrada por estructuras dispuestas en dirección N25°W, en promedio, y el grado de deformación está definido por las fallas inversas y normales que afectan a las estructuras.

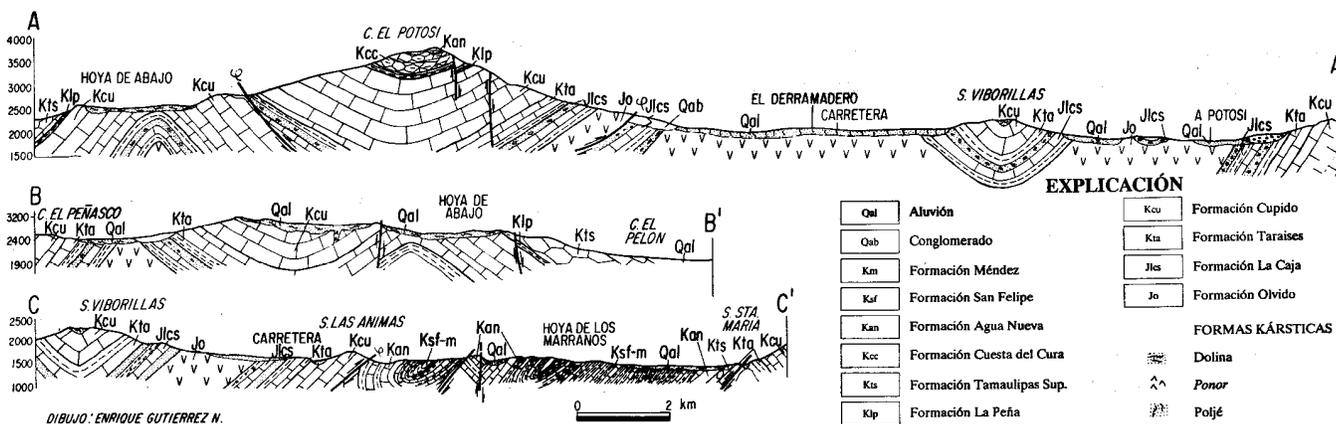


Figura 6.- Secciones estructurales. A-A': el klippe del Potosí y formas kársticas. B-B': el karst en las depresiones Hoya de Abajo y San José de la Hoya. C-C': distribución del karst en la estructura.

En esta área existen dos pliegues principales, cabalgando hacia el oriente (anticlinales las Ánimas y Santa María), y la cabalgadura pone en contacto a las formaciones Cupido y Agua Nueva; entre ellos hay dos periclinales, de los cuales el más septentrional está recostado hacia el oriente, en tanto que el meridional (sierra El Águila) es vertical.

Al oriente de los periclinales y cabalgando, a su vez, a las formaciones Méndez y Agua Nueva, afloran yesos de la Formación Olvido que, estructuralmente, deben ser cuñas de cabalgaduras, y que también pueden observarse más al sur, en la Hoya de los Marranos.

Otras características estructurales son las fallas de desplazamiento lateral que afectan a los pliegues de la parte oriental del área estudiada, los cuales, al parecer, pudieran tener origen en los lineamientos que forman los valles de los ríos Pilón y Potosí; ambos pliegues, a su vez, se cierran bastante en su extremo meridional, tal vez por influencia de las mismas fallas.

ÁREA MERIDIONAL

En esta área, las estructuras son menos evidentes debido al modelado fuerte y/o a la deformación a la que han estado sujetas. Se aprecian solamente dos estructuras, estando en el SE del área: (1) un anticlinal constituido por las formaciones Olvido y La Casita, recostado hacia el SE, transversal al sinclinal de Viborillas, con una orientación promedio de N50°E y con una flexura hacia el NW; y (2) un sinclinal pequeño, con orientación N50°W, el cual es cabalgado por la estructura anterior.

FORMAS KÁRSTICAS SUPERFICIALES

La topografía, originada a partir de la disolución de la roca calcárea, integra un modelado llamado paisaje kárstico, el cual se presenta claramente en la superficie y, en muchos casos, indica la existencia de otro subterráneo, pues ambos paisajes están relacionados genéticamente.

En seguida se describe las formas kársticas cartografiadas, así como sus características genético-estructurales.

LAPIAZ

Es de las formas de disolución más abundantes en el relieve kárstico. Por el material en que se presenta se dividió en

lapiaz en yeso-anhidrita y lapiaz en caliza; en función de la cobertura que presentan fueron clasificados en lapiaz descubierta y lapiaz semi- o cubierto.

Lapiaz en yeso-anhidrita. Se caracteriza por la presencia de surcos paralelos y arborescentes de 2 a 3 cm de profundidad, con crestas agudas y longitud que raras veces excede los 50 cm.

La ausencia de la carpeta edáfica y una pendiente mayor que 10° favorecen su dinámica. A pesar de que el régimen pluvial del área no es el más favorable, existe la humedad necesaria para el proceso kárstico, donde las oscilaciones térmicas diarias y estacionales son determinantes. En el área de estudio se observó que los surcos se construyen y destruyen en poco tiempo (uno o dos años), para volverse a formar nuevas acanaladuras.

Lapiaz en caliza. Contrario al caso anterior, éste se desarrolla más lentamente, pues depende de la concentración del CO₂, requiere de una humedad mayor y de cambios del pH y de la temperatura. En este estudio se distingue dos tipos de formas: el lapiaz de corrosión directa, a través de diaclasas (Figuras 7 y 8), en flujo inicialmente laminar; y lapiaz turbulento, el cual origina los surcos y los canales de disolución. También existen hoyas y nichos cilíndricos, en los cuales es intensa la acción de ácidos orgánicos y de ciertas algas, formándose así una superficie rugosa. Otra variedad que se reconoció de este tipo de lapiaz fue la *wall karren* (Figura 9).

Lapiaz en caliza, semi- o cubierto. Se desarrolló bajo la cubierta vegetal constituida, en este caso, por el estrato herbáceo-arbustivo y/o arbóreo que determina la velocidad de su desarrollo, ya que la cantidad de materia orgánica varía de un sitio a otro y, por lo tanto, la del ácido orgánico, así como la concentración del CO₂ que, en este sitio, no es muy fuerte, debido a la temperatura alta. En este apartado se incluye también el lapiaz cubierto por los depósitos coluviales, cuyo modelado es aún menos visible. Este tipo de lapiaz es el más común en el área.

Otra característica de disolución en relieve calcáreo la constituyen las acumulaciones de travertino, las cuales están asociadas a surgencias de agua, que se presentan a través de fracturas y/o entre estratos.

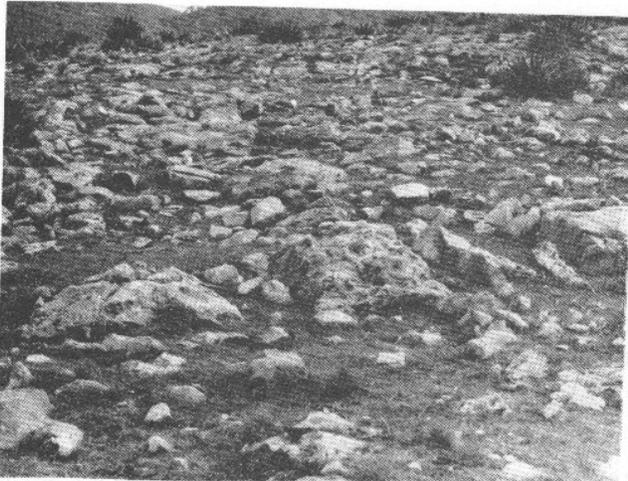


Figura 7.- Lapiaz de corrosión directa.

Los depósitos de travertino más importantes aquí cartografiados están sobre los cauces de los ríos Pilón y Las Adjuntas. A partir del tipo de flora existente en esos depósitos, es posible inferir los cambios climáticos durante su formación, así como su edad. En algunas muestras obtenidas (G-15, G-30) se observó restos de caducifolias (encino) y coníferas (pino-cedro). Considerando que actualmente la vegetación circundante es de bosque mixto (pino-encino), se percibe un cambio en la sucesión vegetal y, por lo tanto, se infiere que la acumulación del travertino se inició hace aproximadamente 100 años, con excepción de aquél situado en el lugar donde el río Pilón cruza la sierra Las Ánimas, que posiblemente sea más antiguo, ya que tiene un espesor de 20 m, donde los restos vegetales no son reconocibles; esto indica, además, una serie de cambios del nivel subterráneo. En ese sitio, y por disolución de la masa travertínica, actualmente se forma un puente natural.

DOLINAS

Las dolinas son, en su mayor parte, depresiones que hidrológicamente están cerradas, pero comunicadas con el drenaje subterráneo; son consideradas, también, como áreas de infiltración, concentrada en forma retardada o rápida (Figura 10).

Por su morfogénesis se distinguió tres tipos:

Dolinas en "taza". En su origen y evolución predomina la disolución combinada con la subsidencia; son las más frecuentes en el área de estudio y se caracterizan por su diámetro que es varias veces mayor que la altura; su base, casi plana, está cubierta por arcillas de disolución (*terra rossa*) y/o aluviones finos.

La impermeabilidad de la *terra rossa* impide en ocasiones el buen drenaje de la dolina, lo cual determina el predominio de la ampliación sobre la profundización de la misma; es así como surgen las dolinas-lago, en las cuales existe agua todo el año, como, por ejemplo, la de Labradores, que tiene un diámetro de 500 m y una profundidad aproximada de 80 m.

Se cartografió 104 dolinas del tipo "taza", la mayoría de las cuales está ubicada sobre las formaciones Olvido y La Casita, presentándose sólo 14 sobre la Formación Cupido. Tal

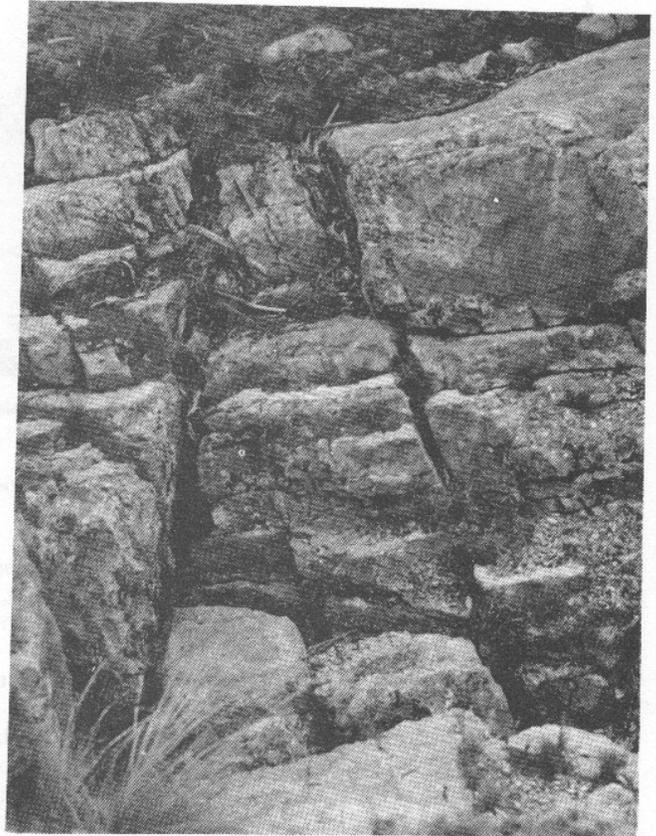


Figura 8.- Karst de fractura.

densidad indica el control litológico en el desarrollo de las dolinas, es decir, existe una mayor configuración de éstas en las formaciones Olvido y La Casita, lo cual se debe a que la corrosión de este material sea mayor, sobre todo en clima semiseco, de allí que la forma sea más circular y sus bordes más inclinados, en el primer caso.

Dolinas en "embudo" (asimétricas). Se cartografió 12



Figura 9.- Wall Karren

depressiones de este tipo y se observó que, en función del material en que se encuentran, su dinámica es, en parte, diferente. Seis se formaron en la Caliza Cupido; tres de ellas son formas abiertas, pues drenan al sistema subterráneo por medio de *ponors*, y tres más mantienen su drenaje a través de fracturas pequeñas. Las seis dolinas restantes se encuentran en los yesos de la Formación Olvido, y en una de ellas se está desarrollando un valle ciego (Figura 10).

Lo común de estas depresiones en ambas litologías es que los sitios de pérdida concentrada se ubican cerca del borde de la dolina, causando así su asimetría. Se observó que en los yesos, la subsidencia es mayor que la disolución, de ahí que las dolinas sobre yeso tengan una de sus pendientes mayor que 40°, mientras que las otras aún no exceden los 15°.

En ciertas áreas del poljé de Galeana y del valle de San Lucas, los cambios temporales del nivel de base provocaron la erosión del borde oriental de las dolinas, las cuales presentan dos niveles distintos, 1,680 y 1,500 m.s.n.m.; esto explica la presencia del modelado fluvio-kárstico en el área.

Dolinas en "pozo". En estas formas predomina la corrosión vertical, lo que motiva colapsos continuos. Su diámetro es menor que la altura y son consideradas formas abiertas, pues absorben fácilmente el agua. Las dolinas cartografiadas son 13 y se desarrollan sobre la Formación Olvido. Estas depresiones están en conexión directa con un flujo subterráneo poco profundo, como lo indica el pozo El Gavilán, el cual es el más grande del área, con aproximadamente 90 m de diámetro y 100 m de profundidad (Figura 11).

ÚVALAS Y POLJÉS

Úvalas. Originadas a partir de la coalescencia de varias dolinas, en el presente caso las dimensiones de estas formas varían, debido a que el proceso de karstificación es diferente.

De esta forma, de las cinco úvalas aquí cartografiadas, las dos de mayor dimensión se ubican en la planicie de Galeana, cuya altitud promedio es de 1,850 m.s.n.m., su longitud es de 4 y 3.5 km y su anchura es de 2 y 3 km de NW a SE, respectivamente. Estas depresiones se desarrollan sobre los depósitos gruesos de *terra rossa* que, hacia las orillas de las úvalas, se intercalan con aluviones. Estos sedimentos constituyen el fondo del poljé de Galeana, el cual continúa modelándose como lo indica la presencia del modelado en cuestión que, a su vez, encierra dolinas pequeñas, cuya dinámica es favorecida por el drenaje subterráneo que une ambas úvalas, las cuales también presentan, en su interior, drenajes superficiales, produciendo, en el caso de la úvala sudoriental, el desagüe del poljé de Galeana hacia su homólogo de La Poza.

Las tres depresiones restantes se sitúan en el extremo NW del área de estudio, a una altura promedio de 2,200 m.s.n.m. y corresponden a valles fluviales de forma elíptica, los cuales terminan en gargantas estrechas, lo que manifiesta intensidades diferentes en el proceso kárstico, debido a que en esta zona la estructura geológica presenta menor grado de deformación respecto a las depresiones descritas anteriormente. No obstante, se puede observar como estas úvalas continúan ampliándose, principalmente en la parte alta de las cuencas.

Poljés. Son las formas planas de mayor dimensión, originadas por un proceso largo de corrosión de las rocas carbonatadas, que constituyen los dos anticlinales menos deformados

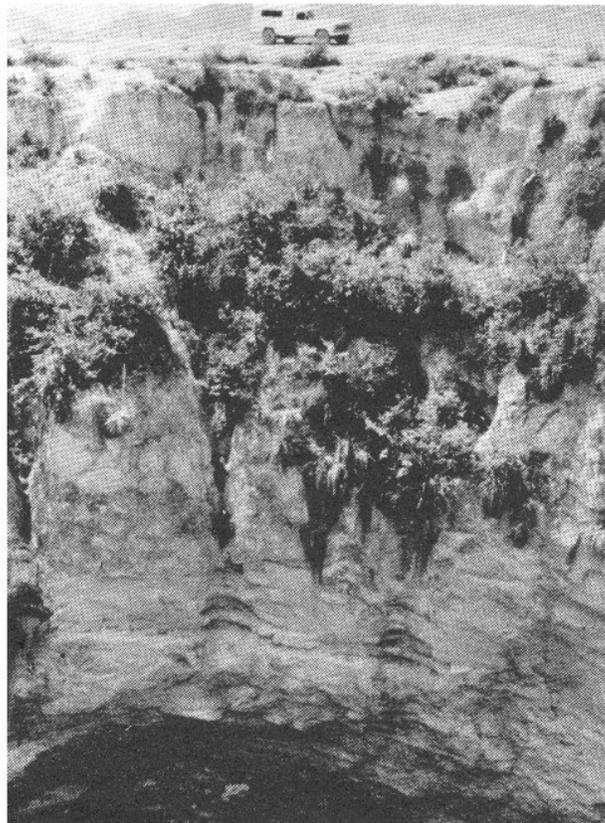


Figura 11.- Pozo El Gavilán.

del área de estudio. Los poljés son características kársticas que, al parecer, se originaron en condiciones de mayor humedad que las que existen actualmente, favorecidas, además, por la estructura geológica. Aquí se reconoció cuatro poljés grandes, de contornos irregulares, cuya topografía interna depende de las características litológicas sobre las cuales se ubican. Los dos poljés más grandes (Galeana y La Poza) tienen ejes máximos de 20 y 15 km, respectivamente, están orientados hacia el NW, y se desarrollaron sobre la Formación Olvido. En su interior existen formas kársticas semejantes a las descritas antes, lo cual les imprime una morfología en partes plana y en partes accidentada. Esto último es notable hacia el W y NW de Galeana, donde existen, además de dolinas y úvalas con drenaje exorreico, dolinas-lago, como la de Labradores, así como reliquias de disolución (*hums*) que forman parteaguas locales. Ambas planicies tienen su fondo cubierto por aluviones y arcillas del tipo *terra rossa*. En las dos planicies, así como en el valle de San Lucas, existe un drenaje subterráneo propio del *karst* y en ciertas áreas de las mismas, el espesor del aluvión permite un flujo de este tipo.

La planicie de Galeana drena hacia la de La Poza, en su extremo sudoriental, a través de barrancos pequeños, en los que existen terrazas pequeñas escalonadas, lo cual pone de manifiesto el levantamiento que aún se da en la zona, y permite pensar que sean producto de la captura del poljé de Galeana por su homólogo La Poza (Figura 12).

Respecto a las depresiones San José la Hoya y Hoya de Abajo, son dos poljés de superficie menor, en cuyo interior existen varias dolinas, todas del tipo de embudo. El primero



Figura 12.- Vista general de la planicie de Galeana.

está a 2,718 m.s.n.m. y el segundo a 2,516 m.s.n.m.; esta diferencia es causada por una falla normal y por la corrosión. Sus ejes máximos son de 5 y 4 km, respectivamente; en ellos, el *karst* se presenta sobre los anticlinales, y se desarrolla en la Caliza Cupido. Su modelado evoluciona en función de los *ponors* y cuevas que ahí existen, indicando la existencia de otro subterráneo, al cual están ligados y que influye en la rapidez de su modelado (Figura 6, Sección B-B').

Dos de los *ponors* tienen una abertura promedio de 2 m y están dentro del poljé San José la Hoya (Figura 13). Las simas propician que el flujo subsuperficial del poljé se dirija hacia el NW, mientras que en la Hoya de Abajo se desplaza hacia el NE; esto permite suponer que el flujo subterráneo principal pase entre ambos poljés. La dirección de dicha circulación se desconoce pero, en función de la estructura, se piensa que éste drene hacia el valle El Potosí, parcialmente hacia La Lagunita y quizás hacia Galeana. Finalmente, considerando que el *karst* está sobre la Caliza Cupido, así como la extrema juventud de los *ponors*, se estima que el proceso en esta porción sea de más reciente formación que la depresión de Galeana.

KARST Y ESTRUCTURA

Las formas kársticas de superficie están distribuidas, preferentemente, en las áreas central, occidental y meridional, siguiendo la orientación dominante NW50°SE, de las estructuras isoclinales descritas antes. También se ha señalado que, salvo el anticlinal Hoya de Abajo, los demás pliegues presentan un relieve invertido, debido a que el desgaste normal por erosión se incrementó por los procesos kársticos y que, en este caso, ocasionó que el nivel impermeable de mayor profundidad alcanzara la superficie.

Así, al desaparecer las unidades litológicas más recientes (Méndez, San Felipe y Agua Nueva), las cuales son poco permeables, las unidades subyacentes y susceptibles al desarrollo del *karst* (Tamaulipas Superior, Cupido y Olvido) afloran y permiten que el modelado kárstico, tanto de superficie como subterráneo, se desarrolle más.

En este tipo de estructuras tal modelado es favorecido por la circulación del agua que es, principalmente, paralela a los estratos, lo cual determina la existencia de un nivel vadoso temporal, pero importante, para producir la corrosión que ori-



Figura 13.- Ponor en San José la Hoya.

gina la variedad de lapiaz y, subsecuentemente, otras formas de disolución, cuya distribución obedece también a la influencia de fracturas y fallas, mismas que pudieran originarse por efectos del propio *karst*.

En cambio, por el lado oriental, donde las estructuras y fallas inversas favorecen la existencia de las unidades impermeables mencionadas antes, el modelado kárstico está menos desarrollado, debido a que dichos niveles están inclinados. Lo anterior determina que el agua circule preferentemente, y con cierta rapidez, hacia el sinclinal, conforme a la pendiente del estrato. Lo cual produce una profundidad considerable en el nivel vadoso y una disolución menor.

Otro factor importante en este tipo de estructura es la mayor alternancia de niveles arcillosos, ocasionando que el modelado kárstico se presente, fundamentalmente, en los sinclinales, donde la presencia de yesos facilita su desarrollo. Un ejemplo de ello es el valle situado entre las sierras Las Ánimas y Viborillas; también existen dolinas sobre yeso en la Hoya de los Marranos. En los frentes, cuyos pliegues son excelentes áreas de recarga, lo más característico son los diferentes tipos de lapiaz, de surcos *pavement* descubierto o semicubierto, tanto en caliza como en yeso; sin embargo, también existen dolinas pequeñas.

Así pues, el desarrollo del *karst*, tanto de superficie como subterráneo, ha tenido un mayor alcance en las estructuras isoclinales, donde la existencia del nivel vadoso produce una corrosión importante, creando una variedad de lapiaz y, subsecuentemente, otras formas de disolución, cuya distribución obedece a la influencia de fracturas y/o fallas normales, mismas que pueden originarse por efectos del propio *karst*; a pesar de que las condiciones climáticas actuales de esta zona determinan un desarrollo del proceso lento, éste está activo (Figuras 6, Sección A-A' y Sección C-C').

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DEL KARST

Puede considerarse que el funcionamiento hidrogeológico del sistema kárstico de esta región esté representado por una primera zona superficial, de infiltración difusa y lenta, a través de diaclasas y fracturas pequeñas, que desarrollan algunas formas de disolución, y más tarde es el agua vadosa estacional la que continúa hacia niveles más profundos.

En la región se presentan, también, formas de absorción concentrada (pozos, *ponors*) conectadas con la zona inmediata inferior llamada zona de transición o de infiltración rápida, en dirección vertical y horizontal. Ahí, el flujo hídrico ya está muy próximo al perfil de equilibrio y pueden existir niveles de base suspendidos (acuíferos), formados por horizontes impermeables y/o la presencia de fallas inversas; en otros casos, el agua continúa hacia la profundidad. Los acuíferos son detectados por las surgencias, ubicadas sobre dichos horizontes y a diferentes altitudes, cuyos gastos van desde 1 hasta 5 l/s. Ejemplo de esto son los manantiales 14, 15 y 16 de la Formación La Casita, en el valle de San Lucas, y los manantiales 1, 2, 3, 4 y 5, en La Lagunita, respectivamente (Figura 10); debe mencionarse que en los poljés cartografiados este nivel está ausente.

Por otra parte, dentro de las calizas, cuyas capas tienen inclinaciones superiores a 30°, el agua circula a nivel de los estratos y/o fracturas, lo cual, aunado a las características climáticas, determina un proceso lento de corrosión. En estas condiciones están algunos de los manantiales del área, indicando que las rocas calcáreas de las formaciones Cupido y Tamalipas Superior son los principales paquetes productores de agua. No sucede así en los paquetes calcáreos menos inclinados, en los cuales se han desarrollado galerías pequeñas, debido a que existe una zona vadosa temporal, donde los conductos se comunican con la zona profunda o de saturación, que se ubica en la parte superior de la Formación La Casita y en la Formación Olvido.

La tercera zona es la profunda y corresponde a la de saturación. De ella se puede extraer gastos razonables, pero la calidad del agua, en algunos sitios, no es muy aceptable, ya que su residuo seco, en ocasiones, es mayor que 500 mg/l, debido a que procede de cuerpos de yeso. Wenzens (1973) reportó en el poljé de Galeana una dureza de 120° (1° = 18 mg CaCO₃ por litro), en el agua de La Laguna, lo cual indica una saturación de sales de carbonatos y sulfatos.

Salvo el caso de los poljés, el agua procede de caliza, es de buena calidad y del tipo alcalinotérrico (Tabla 1).

Tabla 1.- Características de algunos manantiales del área de Galeana, Nuevo León.

Nº	Gasto (l/s)	pH	T (°C)	Calidad
1	2.0	7.9	15	Buena
2	1.0	7.8	15	"
3	1.0	7.5	15	"
4	1.5	7.6	16	"
5	10.0	7.8	15	"
6	2.0	8.0	13	"
7	3.0	8.2	15	"
8	2.0	8.0	18	Dura
9	1.5	7.9	15	"
10	1.0	8.1	15	Buena
11	2.5	7.8	14	"
12	5.0	7.6	14	"
13	10.0	7.9	18	"
14	0.5	8.0	16	"
15	2.0	8.0	18	"
16	10.0	7.6	18	"
17	2.0	7.2	16	"
18	4.0	8.2	20	"
19	1.5	8.5	19	"

El nivel natural de la zona de saturación está a profundidades diferentes en cada planicie y, excepto en ciertas ocasiones, ésta sigue el mismo sentido que el flujo superficial, por

lo que se observa que la dinámica subterránea de cada valle es independiente.

Así, en el poljé de Galeana, ubicado sobre yeso, el nivel oscila desde 50 hasta 15 m de NW a SE y drena hacia su homólogo La Poza, el cual, según Wenzens (1973), drena hacia el NE, también en forma subterránea. Los valles de La Lagunita y San Lucas tienen conexión a través de la Formación La Casita, que determina un nivel de saturación suspendido a los 1,800 m.s.n.m. y el otro en la Formación Olvido, inmediatamente abajo. Respecto a la parte oriental, la Hoya de los Marranos es también una cuenca independiente de la parte nor-oriental, cuyo flujo drena hacia la ciudad de Rayones en el norte.

Finalmente, también se observa que la acción del agua en la región de estudio muestra diferentes grados de corrosión en el modelado existente. El *karst* está más desarrollado donde predominan los yesos, pues la disolución de este material es mucho mayor que la de las calizas.

En efecto, para la disolución del yeso, la presencia del CO₂ no es fundamental, sólo basta una agua cargada con carbonato de calcio para disolver el yeso en proporciones de 10 a 1 (Wenzens, 1973; Trudgills, 1985). Schoeller (1955) señaló que en el agua pura la solubilidad del yeso a 20°C es de 30.81 meq/l de solución; valor que resulta muy elevado, si se compara con el de la solubilidad de la caliza, 0.74 meq/l a 25°C. En cambio, para la disolución de las calizas, el CO₂ existente en la atmósfera es muy importante, pues interviene acidificando el pH del agua, volviéndola más agresiva, sobre todo cuando la temperatura disminuye. Así, la solubilidad de los carbonatos es inversamente proporcional al pH y a la temperatura del agua.

CONCLUSIONES

El relieve kárstico principal que actualmente se observa en la región de Galeana se ha desarrollado, casi en su totalidad, en yesos, debido a que la disolución de éstos es mucho mayor que la de la caliza. Esto explica el desarrollo rápido del modelado y también las concentraciones altas de sulfatos en la planicie de Galeana, lo cual es menos notorio hacia las partes septentrional y oriental de la misma, donde se encuentran los afloramientos de calizas.

Las características de este relieve kárstico nos permiten considerar que las formas existentes tuvieron su origen en condiciones climáticas diferentes a las actuales, es decir, en climas con un régimen de humedad mayor que el que ahora predomina en el área.

Por lo menos dos ciclos de karstificación se manifiestan en reliquias. El primero de ellos, el más antiguo, se formó, probablemente, desde el Terciario tardío hasta el Pleistoceno, en diferentes ambientes climáticos, húmedos y subhúmedos, pues para la formación de la *terra rossa* se requiere de cuando menos un clima subtropical (Wenzens, 1973-1974).

El segundo ciclo, más reciente, se ha generado desde el Pleistoceno hasta nuestros días. Se puede decir que éste es menos importante que el anterior, pues sólo se retocan las formas preexistentes. Por otra parte, la época de los pluviales (cambios climáticos), durante el Pleistoceno, originó suelos arcillosos de color oscuro, y en tiempos aún más recientes, la karstificación se ha limitado al predominio de climas templado y semicálido, ambos subhúmedos, como se observa en los poljés de la Hoya de Abajo, San José de la Hoya y de Galeana,

respectivamente.

Cabe destacar la relación que se manifiesta entre la estructura y las condiciones climáticas para el desarrollo del paisaje kárstico, pues la presencia de estructuras isoclinales permite la existencia del nivel vadoso, semipermanente y cerca de la superficie.

Por otra parte, la presencia de un relieve escalonado en ciertas dolinas nos permite inferir que exista, también, reactivación del *karst*, por influencia de la neotectónica.

Es importante señalar que la caracterización climática actual del área estudiada no es suficiente, ya que falta aún investigación que permita conocer las fluctuaciones durante los últimos períodos geológicos que sirva de apoyo al estudio del *karst*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bonet, Federico, 1953a, Cuevas de la Sierra Madre Oriental en la región de Xilitla: Univ. Nal. Autón México, Inst. Geología, Bol. 57, 96 p.
- 1953b, Datos sobre las cavernas y otros fenómenos erosivos de las calizas de la Sierra El Abra: México, D. F., Cong. Cient. Mexicano, Mem., t. 3, p. 238-266.
- CETENAL, 1975, Hoja topográfica Galeana G14-CS6: México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional (ahora Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), escala 1:50,000.
- Cserna, Zoltan de, 1956, Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monterrey: México, D. F., Cong. Geol. Internacional, 20, Monografía, 87 p.
- DETENAL, 1978, Hoja geológica Galeana G14-CS6: México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional (ahora Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), escala 1:50,000.
- Díaz-González, Teodoro, 1951, Sección geológica a través de la Sierra Madre Oriental entre Linares y Galeana, N. L.: México, D. F., Petróleos Mexicanos, reporte interno núm. 358 (inédito).
- Humphrey, W. E., 1956, Tectonic framework of northeast Mexico: Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Society, v. 6, p. 25-35.
- Imlay, R. W., 1938, Studies of the Mexican geosyncline: Geol. Soc. Am. Bull., v. 49, p. 1651-1694.
- Lugo-Hubp, José, en prensa, El relieve de la República Mexicana: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Conmemoración del Centenario del Instituto de Geología (1886-1986).
- Padilla y Sánchez, R. J., 1985, Las estructuras de la curvatura de Monterrey y estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí; Univ. Nal. Autón México, Revista del Inst. de Geología, v. 6, p. 1-20.
- Raisz, Erwin, 1964, Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., Office of Naval Research, Geography Branch, mapa con texto, escala 1:3'000,000, 2ª ed.
- Schoeller, Henri, 1956, Géochimie des eaux souterraines; application aux eaux des gisements de pétrole: Revue de l'Inst. Français du Pétrole et Annales des combustibles liquides, p. 128-130.
- Tardy, Marc, 1972, Sobre la estratigrafía de la Sierra Madre Oriental en el sector de Parras, Coahuila; distinción de las series Coahuilense y Parrense: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 33, p. 51-70.
- Tavera-Amezcuza, Eugenio, 1960, Yacimientos de barita en el distrito de Galeana, Nuevo León: Cons. Rec. Nat. no Renovables (México), Bol. 55, 70 p.
- Trudgills, S., 1985, Limestone geomorphology: Geomorphology text, núm. 8, Clayton, K. M., ed., Londres, Longman, 196 p.
- Wenzens, G., 1973, Fossile und Rezente Karstformen im semiariden; Bereich der Sierra Madre Oriental (Nordmexiko): Geographische Zeitschrift, 34, p. 54-69.
- 1973-1974, Investigaciones geomorfológicas en la región kárstica del norte de San Luis Potosí y sur de Nuevo León, México: Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 34, p. 71-91.

Manuscrito presentado: 12 de marzo de 1987.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 14 de junio de 1988.

Manuscrito aceptado: 21 de junio de 1988.