



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“ALGAS CALCÁREAS (CHLOROPHYTA,
RHODOPHYTA) DEL PENSILVÁNICO DE
SIERRA AGUA VERDE, CENTRO-ORIENTE DE
SONORA, MÉXICO.”**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A

Luis Armando Salazar Cárdenas

DI R E C T O R D E T E S I S

Dra. Blanca Estela Margarita Buitrón Sánchez

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Desde niño he vivido bajo la gracia de Dios, por medio de la fe en Cristo. Creo en Él primeramente por la influencia de mis padres, y conforme crecí llegué a encontrar que aun la ciencia da testimonio de su existencia y deidad a diferencia de las demás creencias que carecen de fundamento sobre la existencia, sobre la deidad o ambas. No fui un hombre muy hábil en las ciencias; mi situación económica muchas veces me hacía dejar las clases. Por eso oraba y suplicaba la ayuda de Dios en exámenes, trabajos de entrega, practicas, salud, etc. Hoy le agradezco por esta tesis, con la que finalmente culmino todo ese camino tan largo y tan difícil para concluir mi carrera.

A mis padres.

Guillermo e Inés, solo pudieron darme la primaria. Al principio les reproché no poder darme lo que veía que otros padres si podían dar a sus hijos. Más adelante entendí que mis padres siempre me dieron todo lo que estaba al alcance dentro de sus límites. Ahora me doy cuenta que con el simple plato de comida, techo y consejo que me daban con amor, me ayudaban con el 50% de mi vida estudiantil.

A mi esposa.

Me costó mucho terminar mi carrera, tanto que mi boda llego primero y sin saber cómo llevar al culmen mi carrera, mi compañera de la vida camino desde ese día conmigo.

A mis hermanos.

Marina, Laura, Diana, Viví, Ramón y en especial a Diego, porque siendo ellos menores que yo, en todo este tiempo que tardé en terminar la carrera, se hicieron cargo de mis padres y de los problemas familiares, incluso solucionaron muchos de mis problemas también.

A mis tíos

Juan Antonio y Elizabeth que, en más de una manera, nos apoyaron a mi familia y a mi desde que éramos pequeños. Fueron ellos, quienes no dejaron que yo cayera, en el momento decisivo de seguir estudiando o no.

A los misioneros.

Yo ya había renunciado a una carrera profesional, mi espíritu era débil para luchar por cualquier cosa, pero ellos me fortalecieron en la ciencia de Dios. De no ser por los misioneros Abraham y Sara que me animaron a hacer algo grande en mi vida, yo no sería profesional, mi vida no tendría ni un propósito. Son como mis segundos padres.

A mis amigos.

A aquellos que me acompañaron y acompañe en el camino que todos recorreremos. A los diligentes apoyos más fuertes y también a los que juntamente nos tronábamos lo dedos: Yaya, Leticia Torres, Irma Martínez, Orestes, Gloria, Claudia Escamilla, Carolina, Liz, Antonio, Marlene, Guillermo López, Claudia Roxana, Viany, Irvin, Uriel, Eli, Baiber, David Villalobos, Vic, Kari, Alan, Elder, Rojo, Lili Perez, Vany, Oswaldo y Juan Carlos, Peny, Oscar, Carlos Prieto, José, Juan, Jazmín y Rubén.

A mis maestros.

Que cuando me desanimaba me decían que nunca es tarde, profesores: Gilberto Silva, Miguel Ángel Ruvalcaba, Alfredo Victoria, Guadalupe González, Schulze, Jesús Castro, Miguel Ildfonso, Jorge Nieto, Félix, Verónica Hikra, Patricia Vega, P. Gigio y al Ing. Verduzco.

A mis compañeros de trabajo.

Es extraordinario que exista un trabajo que parezca más un ambiente familiar, que una institución lucrativa. Gracias al Ing. Raúl y María Luisa Verduzco, así mismo a Nora Álvarez que lo han hecho posible; me apoyaron tanto al comprender mi situación, siendo tolerantes y solidarios durante toda mi situación escolar.

A la Dra. Blanca E. Buitrón.

Por su empatía con los alumnos en la necesidad de titulación, paciencia, disposición, encarecido esfuerzo y sacrificio para guiarme en este proceso de titulación.

A todos mis hermanos en la fe.

Que oraron diariamente, para que concluyera mi tesis, gran parte de esta oración para la Dra. Blanca.

A la UNAM.

Que me dio la oportunidad de hacer una carrera profesional, la cual, a diferencia de otras instituciones, aunque un alumno este caído, le da las oportunidades que necesite para terminar, yo espero en un futuro no muy lejano, ser un excelente profesionista y retribuir a mi alma máter un poco de todo lo que me ha dado.

INDICE

| | |
|-------------------------------------|----|
| I RESUMEN | 1 |
| Abstract | 2 |
| | |
| II INTRODUCCIÓN | 3 |
| Petrificación..... | 4 |
| Impresión | 6 |
| Moldes..... | 8 |
| Compresiones o Incrustaciones | 8 |
| Carbonización | 9 |
| Antecedentes | 11 |
| Objetivos | 12 |
| Generales..... | 12 |
| Particulares | 12 |
| Hipótesis de trabajo | 13 |
| Localización geográfica..... | 13 |
| Vías de comunicación | 14 |
| Clima | 14 |
| Población | 15 |
| Fisiografía | 15 |

| | |
|--|----|
| III. METODOLOGÍA | 17 |
| Actividades de campo | 17 |
| Actividades de gabinete | 18 |
| Actividades de laboratorio | 18 |
| | |
| IV MARCO GEOLÓGICO | 19 |
| Paleozoico de la región Centro-Oriente. | 19 |
| Formacion La Joya..... | 21 |
| | |
| V. RESULTADOS | 25 |
| Algas Calcáreas | 27 |
| Paleontología Sistemática..... | 29 |
| División Chlorophyta Reichenbach, 1834..... | 29 |
| División Rhodophyta Wettstein, 1901 | 32 |
| Consideraciones Bioestratigráficas. | 34 |
| Consideraciones Paleogeograficas | 35 |
| | |
| VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 39 |
| Agradecimientos | 41 |
| Bibliografía Citada..... | 42 |

I RESUMEN

Se describen las algas calcáreas clorofíceas del género *Eugonophyllum* Konishi y Wray, 1961 y rodofíceas del género *Komia* Kordé, 1951 del Pensilvánico Medio (Atokano) que proceden de afloramientos de la Formación La Joya, ubicada en la Sierra Agua Verde al centro-oriente del Estado de Sonora.

La asociación biótica de los afloramientos de la Formación La Joya es característica de los bentos de mares tropicales someros. Está constituida por diversas especies de algas filoides *Komia*, y *Eugonophyllum*, foraminíferos-fusulínidos (*Pseudostaffella* sp, *Eoshubertella texana*, *Fusulinella llanoensis*, *Zellerella* sp.) esponjas calcáreas (*Chaetetes*); corales (*Syringopora*, *Lophophyllidium*), briozoarios (*Thamniscus*) braquiópodos (*Cleiothyridina*, *Punctospirifer*, *Anthracospirifer*), gasterópodos (*Eumphalus*, *Donaldina*) y crinoides (*Pentaridica*, *Pentagonopternix*, *Cyclocaudex*, *Mooreanteris*, *Lamprosterigma*).

La distribución de las diversas especies que conforman la biota del Pensilvánico Medio (Atokano) del centro-oriente del Estado de Sonora, entre ellas Sierra Agua Verde, Sierra El Tule y Sierra Mesteñas, denota que fueron comunes con diversas biotas del Carbonífero de la región oeste-centro de los Estados Unidos de Norte América (Arizona, Nuevo México, Kansas, Texas) que formaron parte de la provincia del Cratón Norteamericano, que muestran una posible conexión entre México y los Urales y/o el Paleo-Tethys.

ABSTRACT

Chlorophyta calcareous algae of the genus *Eugonophyllum* Konishi and Wray, 1961 and Rhodophyta of the genus *Komia* Kordé, 1951 of the Middle Pennsylvania (Atokano) are described, that come from outcrops of the La Joya Formation, located in the Sierra Verde to the center-east of the State of Sonora.

The biotic association of the outcrops of the La Joya Formation is characteristic of the benthos of shallow tropical seas. It is constituted by several species of phylloitic algae *Komia*, and *Eugonophyllum*, foraminifera-fusulinids (*Pseudostaffella* sp, *Eoshubertella texana*, *Fusulinella llanoensis*, *Zellerella* sp.) Calcareous sponges (*Chaetetes*); Corals (*Syringopora*, *Lophophyllidium*), bryozoans (*Thamniscus*) brachiopods (*Cleiothyridine*, *Punctospirifer*, *Anthracospirifer*), gastropods (*Eumphalus*, *Donaldina*) and crinoids (*Pentaridica*, *Pentagonopternix*, *Cyclocaudex*, *Mooreanteris*, *Lamprosterigma*).

The distribution of the various species that make up the biota of the Middle Pennsylvanian (Atokan) of the east-center of the State of Sonora, including Sierra El Tule and Sierra Mesteñas, shows that they were common with various biota of the Carboniferous of West-center regions of the United States of America (Arizona, New Mexico, Kansas, Texas) that comprised of the North American Craton province and a possible connection between Mexico and the Urals and / or the Paleo-Tethys.

II INTRODUCCIÓN

La Paleobotánica estudia a las plantas que vivieron en los continentes y mares de la Tierra en épocas geológicas pasadas. Los estudios paleoflorísticos tienen aplicación en el conocimiento de la estratigrafía, de los paleoclimas, de la distribución de tierras y mares y su evolución en el tiempo geológico; este conocimiento ha permitido saber que grupos de plantas extintas están relacionadas con la existencia de los grupos de vegetales que hoy pueblan la Tierra (Silva y Buitrón, 2000).

Es común que las plantas al morir se desintegren o pierdan partes de su organismo por la intervención de agentes destructores como la acción biológica, principalmente de bacterias y hongos, por la física o mecánica, entre ello, arrastres, compresiones, cambios de temperatura y por el fenómeno químico de óxido-reducción. Sin embargo, si los restos vegetales son cubiertos por sedimentos poco permeables quedarán protegidos y la acción destructora puede detenerse (Silva y Buitrón, 2000).

Los fósiles de plantas son más escasos que los fósiles de animales debido a que sus estructuras son generalmente blandas y también porque muchas de ellas vivieron en los continentes (Andrews, 1961; Arnold, 1947; Archangelsky, 1970).

La gran mayoría de las plantas fósiles se conservaron en rocas sedimentarias, las cuales se originaron en ambientes acuáticos, por acumulación de partículas de diferente tamaño provenientes de la erosión de otras rocas, que pueden ser ígneas, metamórficas o sedimentarias. La acción mecánica del viento, del agua, de congelaciones, movimientos glaciares o erupciones volcánicas, ocasionaron dicha acumulación. Las rocas sedimentarias según el tamaño de sus partículas pueden ser de grano

fino (lutitas, limolitas) o de grano grueso (arenisca, conglomerado). Entre las rocas sedimentarias que forman extensos depósitos están la caliza y la dolomita, depositadas en un medio marino y formado por carbonatos por la acción de cianobacterias y algas clorofitas, rodofitas y feofitas.

Los principales tipos de fosilización de los vegetales son la petrificación, calcificación, impresiones, moldes, compresiones o incrustaciones y carbonización (Delevoryas, 1969).

PETRIFICACIÓN

La petrificación consiste en el reemplazamiento o recubrimiento del material original por minerales, entre ellos el carbonato de calcio y la sílice que resulta cuando los restos de los vegetales quedan cubiertos por agua, y paulatinamente se van reemplazando. Los carbonatos que forman este tipo de petrificaciones generalmente provienen del agua de mar que cubrió los depósitos con plantas, formando sobre ellas sedimentos marinos, pero pueden provenir de otras fuentes. La sedimentación en los medios acuáticos tuvo que ser lenta, es decir, sin turbulencia con actividad mecánica nula para que la petrificación se llevara a cabo y constituya un tipo de fósil perfecto que permita observar estructuras originales como la forma de los tejidos. La petrificación por silicificación tiene lugar cuando el material original se reemplaza o recubre por sílice. Este proceso suele preservar perfectamente todas las estructuras del vegetal, incluso las más delicadas, como ocurre con los troncos petrificados de las coníferas (Figura 1) y palmas fósiles que conservan todos sus detalles histológicos. Las petrificaciones silíceas a veces son de grandes dimensiones (Delevoryas, 1969, Meléndez, 1990).

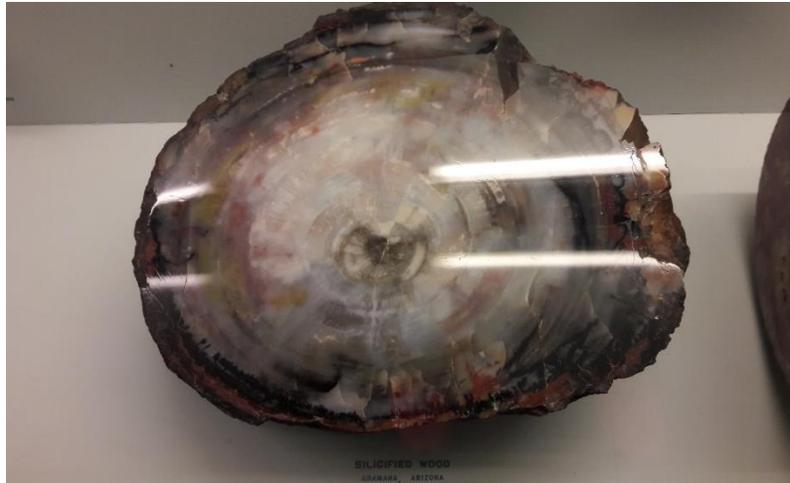


Figura 1. Ejemplo de petrificación: Tronco Silicificado; Adamana, Arizona (Museo de Historia Natural de Chicago. Foto: Carlos Augusto Prieto).

En México es frecuente la presencia de troncos silicificados en formaciones continentales. La petrificación por calcificación también es frecuente en vegetales; entre los ejemplos más comunes se mencionan las bolas de carbón, que consisten en masas de diferentes formas, frecuentemente redondeadas. Los fósiles conservados con más frecuencia en las bolas de carbón son las flores y fructificaciones, algunas veces su estudio revela la existencia de vegetaciones exuberantes que se desarrollaron en climas húmedos durante el Carbonífero.

También existe el proceso de piritización o hematización que consiste en el reemplazamiento molecular por pirita o marcasita (Figura 2), como consecuencia de la reacción del ácido sulfhídrico que resulta de la descomposición de los organismos y los compuestos de hierro contenidos en los sedimentos. Los vegetales, también han sido encontrados en estratos hulleros y en algunas ocasiones, conservan detalles histológicos de una delicadeza sorprendente. Otros minerales que pueden formar petrificaciones de restos de vegetales son los fosfatos y sulfatos (Meléndez, 1990).



Figura 2. Ejemplo de hematización: Tronco piritizado, cantera Cuchía en Cantabria, España. Foto: Picapiedra y Juanjo LG, 2008.

IMPRESIÓN

Las impresiones son los tipos de fósiles vegetales más comunes. Se forman cuando los sedimentos depositados sobre sus restos se compactan, así la materia orgánica desaparece al descomponerse, quedando el molde externo. Al compactarse los sedimentos no se destruyen las estructuras del vegetal; cuando éstas son resistentes como las hojas y los frutos y suelen estar reforzadas por una película de carbón (Figura 3), resultado de la reducción de los compuestos orgánicos.

Estos fósiles son de gran interés porque presentan rasgos morfológicos importantes, como el sistema de nervaduras de las hojas o la forma de diversas estructuras que pueden ser caracteres morfológicos de valor taxonómico.

Los primeros paleobotánicos emplearon sólo este tipo de fósiles y desarrollaron un sistema de clasificación artificial. Algunos de estos nombres genéricos se usan en la actualidad.



Figura 3. Ejemplo de impresión: *Pachypteris crassa* y *Pachypteris hallei* respectivamente, Isla Snow, Antártica (Foto: Lorena Galleguillos; Torres, 2003).

La impresión de la madera de los tallos y troncos, así como las semillas se conservan bien por el grosor de la cutícula. Los granos de polen y las esporas son estructuras que por su tamaño pequeño se preservan en perfecto estado (Figura 4). Una ciencia relativamente moderna es la palinología que estudia al polen y a las esporas fósiles, que son la clave para saber a qué plantas pertenecieron y cuál era el clima de la región.

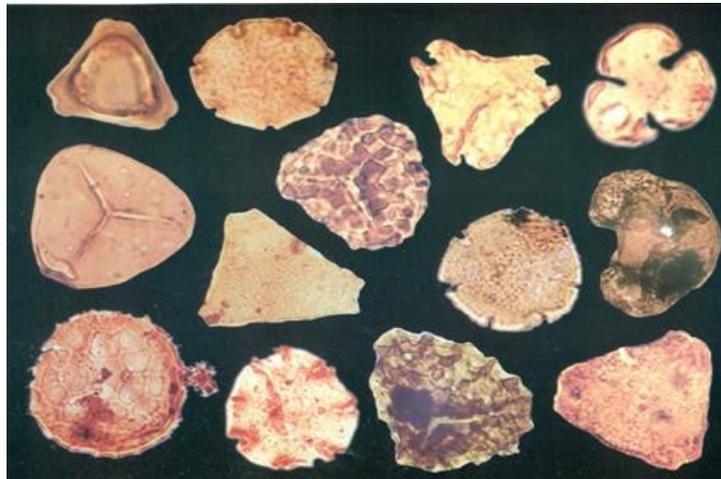


Figura 4. Ejemplo de Polen y esporas fósiles, Antártica (Foto: Teresa Torres; Torres, 2003)

MOLDES

Cuando un resto vegetal queda cubierto por sedimento de grano fino, más tarde se descompone y se pierde el material orgánico dejando un espacio en su lugar, este espacio se llena con otros sedimentos y se forma una réplica (Figura 5).

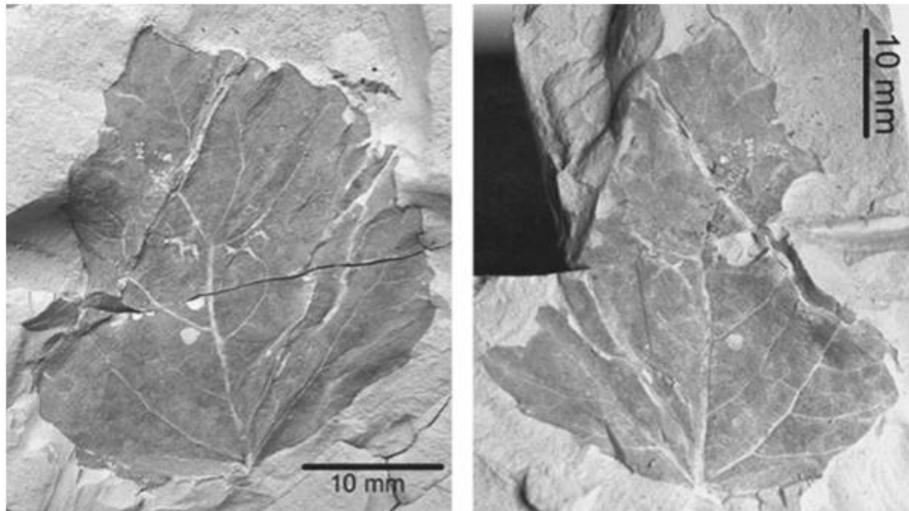


Figura 5. Ejemplo de molde: *Populus aff. Grandidentata*, Santa María Amajac (molde y contramolde). Fotos: Rocío Hernández-López y Jesús Martín Castillo-Cerón.

Las compresiones son semejantes a las petrificaciones, ya que se forman con el mismo proceso, sólo que en las compresiones no se conserva la forma original de la planta como en el caso de las petrificaciones, sino que se modifica debido a la presión vertical de los sedimentos, esta deformación es más frecuente en troncos. La compresión es un proceso de fosilización relativamente común en sedimentos de origen continental o costero, que se presenta en hojas y frondas principalmente de helechos (Figura 6), los cuales se depositan en forma paralela a los planos de estratificación y no se altera su morfología.

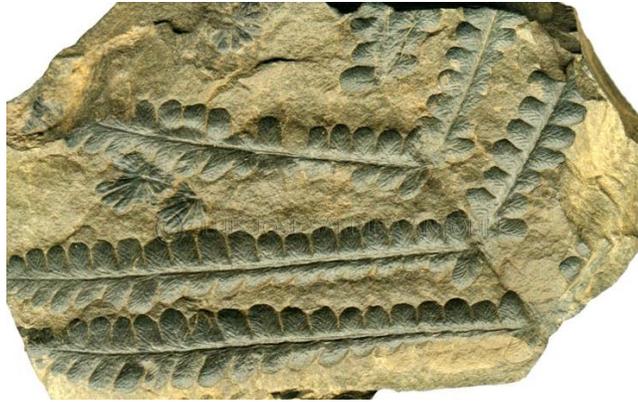


Figura 6. Ejemplo de compresión: *Pecopteris ameromii* Cuenca Barruelo, España.

Foto: Luis José Sardina Antolín.

CARBONIZACIÓN

La carbonización es el proceso mediante el cual una sustancia orgánica, animal o vegetal rica en carbono como la celulosa y la quitina, se altera durante la fosilización por sucesivas reducciones químicas con desprendimiento de metano, anhídrido carbónico y agua, con la consiguiente concentración de carbono (Figura 7). Este proceso fue común en los vegetales que vivieron en la tierra firme y afectó a grandes extensiones territoriales particularmente durante el período Carbonífero (hullero), dando lugar a la formación de depósitos de carbón de piedra (Meléndez, 1990).

El carbón es un mineral que se utiliza como combustible con gran importancia económica. Según su antigüedad geológica puede ser turba (Cuaternario), lignito (Mesozoico y Paleógeno-Neógeno) o antracita (Paleozoico). En secciones delgadas del carbón se observan estructuras vegetativas como fragmentos de madera o de cortezas de tallos, cutículas epidérmicas de hojas, estructuras reproductoras como esporas y granos de polen; estas últimas son muy abundantes en carbón bituminoso. Las

estructuras reproductoras han sido objeto de estudios palinológicos y han aportado datos de suma importancia a la paleobotánica.



Figura 7. Ejemplo de carbonización: *Neuropteris*; Piesberg, Alemania. Foto: W.Griem, 2007.

La diatomita es otra roca sedimentaria de color blanco, de grano fino y peso ligero, originada por la acumulación de sílice proveniente de vegetales fósiles como algas unicelulares llamadas diatomeas que son abundantes en medios marinos o de agua dulce. Las diatomeas al morir dejan depositadas sus paredes celulares (frústulas), que son altamente resistentes por la presencia de sílice, en lagos, mares y océanos, llegando a constituir la tierra de diatomeas, que al consolidarse origina la diatomita.

El ámbar, es una roca semipreciosa considerada también como roca sedimentaria. Se origina por la resina de algunos vegetales, que han sufrido varios cambios químicos durante el proceso de fosilización. La resina antes de fosilizar sirvió como trampa para insectos terrestres y voladores, así como para vegetales, entre ellos algas, flores y otras partes de plantas (Figura 8); asimismo, estructuras reproductoras como esporas y granos de polen pudieron quedar incluidas en la resina principalmente del Cenozoico.

La conservación de diferentes partes de organismos tanto de animales como de vegetales en el ámbar, ha sido de gran importancia para estudios sobre evolución.

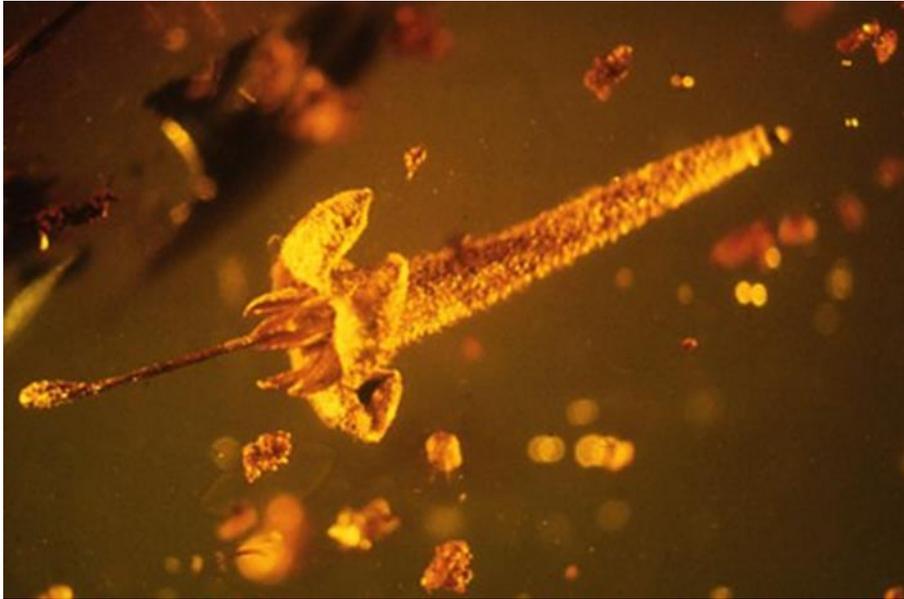


Figura 8. Ejemplo de preservación en ámbar: *Strychnos electri*, Republica Dominicana. Foto: George Poinar.

ANTECEDENTES

Particularmente la biota marina procedente de afloramientos del Pensilvánico de la Sierra Agua Verde, en la región centro-oriental del Estado de Sonora, está conformada por numerosos invertebrados, entre ellos foraminíferos-fusulínidos, bioacumulaciones de esponjas calcáreas del género *Chaetetes*, briozoarios, corales coloniales y solitarios, braquiópodos, gasterópodos, crinoides y algas filoides calcáreas.

Las investigaciones sobre el Pensilvánico sedimentario y su contenido biótico de la Sierra Agua Verde son relativamente escasas; se cuenta con las publicaciones de Stewart *et al.*, (1988, 1990), Buitrón *et al.*, (2003, 2004,

2005, 2007), Mendoza-Madera, *et al.*, (2004) y Almazán *et al.*, (2007), Gómez *et al.* (2008). Gómez *et al.* (2009).

La diversidad y variedad de la biota ha sido motivo del estudio paleontológico reportado en tesis tanto de licenciatura, como de posgrado, entre ellas, Ochoa y Sosa (1993), Gómez-Rosales (2008), Gómez-Espinosa (2010); Rivera-Sivirián (2016) y el trabajo inédito de Pfeiffer (1988).

Objetivos

Los principales objetivos de la investigación de la tesis fueron los siguientes:

Generales

- 1) Contribuir al conocimiento integral del Paleozoico Superior sedimentario del Estado de Sonora.
- 2) Contribuir al conocimiento de la estratigrafía y paleontología sistemática de las algas calcáreas del Pensilvánico de Sierra Agua Verde, centro-oriente de Sonora, México.

Particulares

- 1) Preparar para su identificación a las algas contenidas en las rocas de la región de Sierra Agua Verde del Estado de Sonora.
- 2) Estudiar las algas desde los puntos de vista morfológico y taxonómico.
- 3) Actualizar la Paleontología Sistemática del grupo.
- 4) Establecer la correlación estratigráfica con el Pensilvánico Medio de otras localidades de Sonora y de las Provincias del Continente Medio Americano y Euroasiático-Ártico.

Hipótesis de trabajo

1. Se considera que el contenido biótico fósil que caracteriza a la región de estudio, se encuentra constituido principalmente por algas, foraminíferos (fusulínidos), esponjas, corales, briozoarios, braquiópodos, moluscos y crinoides por su presencia en otras localidades del Paleozoico tardío de Sonora y de otras localidades de México (Buitrón *et al.*, 2003, 2004, 2005, 2007, Mendoza-Madera, *et al.*, 2004 y Almazán *et al.*, 2007.)
2. La paleogeografía del Pensilvánico de la región corresponde en general a mares someros tropicales del “Midcontinent” (Buitrón *et al.*, 2012).

Localización geográfica

El Estado de Sonora se localiza en el noroeste de México y colinda al norte con Estados Unidos de América, al este con el Estado de Chihuahua, al sur con el Estado de Sinaloa, al oeste con el Golfo de California y el Estado de Baja California. Sus coordenadas geográficas son: al norte 32°29', al sur 26°17' de latitud norte; al este 108°25', al oeste 115°03' de longitud oeste.

El Estado de Sonora tiene una superficie de 179,502.89 km², que representa el 9.2% de la superficie del país y lo ubica entre las entidades de mayor tamaño, específicamente como la segunda de México (INEGI, 1985).

La Sierra Agua Verde se enmarca en las coordenadas 29°19' de latitud norte y de 109°56' de longitud oeste, 29°19' de latitud norte y de 109°49' longitud oeste, 29°10' de latitud norte y de 109°55' longitud oeste y 29°10' de latitud norte y 109°46' longitud oeste. Se encuentra localizada al noreste de la Capital Hermosillo a unos 110 km (Figura 9).

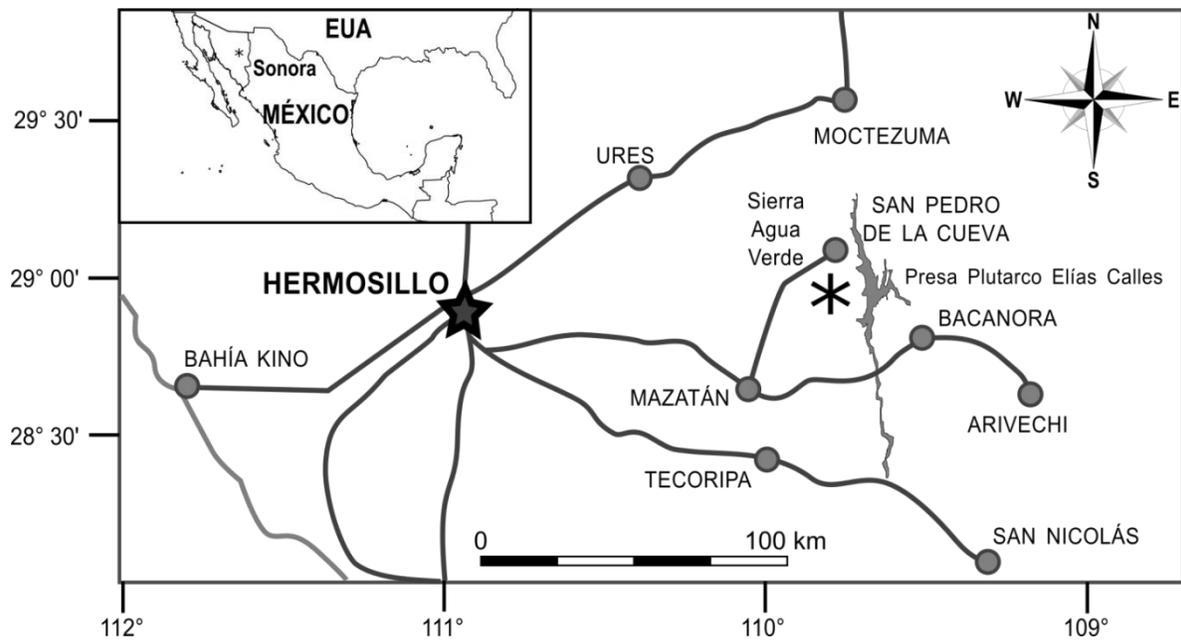


Figura 9. Mapa de localización de la Sierra Agua Verde (Almazán *et al.*, 2007)

Vías de comunicación

De la ciudad de Hermosillo, capital del Estado de Sonora, se toma la carretera que va al municipio de Mazatán, de ahí se sigue al poblado de Mátape y se llega al poblado de San Pedro de la Cueva. La zona de estudio está a 20 minutos al noroeste del Cerro Santiago que forma parte de la Sierra Agua Verde (INEGI, 1999).

Clima

El clima es seco caracterizado por una temperatura media máxima anual de 29.8 °C, en los meses de junio y julio, y una temperatura mínima anual de 12 °C, en los meses de diciembre y enero. La temperatura media anual es de 12.2°C (García, 1973).

Población

El Censo General de la Población y Vivienda del Estado de Sonora 2005, realizado por el INEGI, tuvo como resultados un total de 2 662 480 habitantes, que representa el 2.7% de la totalidad de habitantes de la República Mexicana. El Estado de Sonora, políticamente, está dividido en 72 municipios (INEGI, 1999).

Fisiografía

El área de estudio se encuentra situada en la Provincia Sierra Madre Occidental y en la Subprovincia Sierras y Valles del Norte. La Subprovincia Sierras y Valles del Norte se localiza en parte de los municipios de Nogales, Santa Cruz, Imuris, Cananea, Naco, Fronteras, Agua Prieta y Bavispe. Caracteriza a la subprovincia, la presencia de extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras.

Asimismo, en el límite con Chihuahua se localiza un sistema de topografías denominado bajada. Predominan las rocas sedimentarias (principalmente conglomerados), aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas ácidas, como en la Sierra El Chivato (Figura 10).

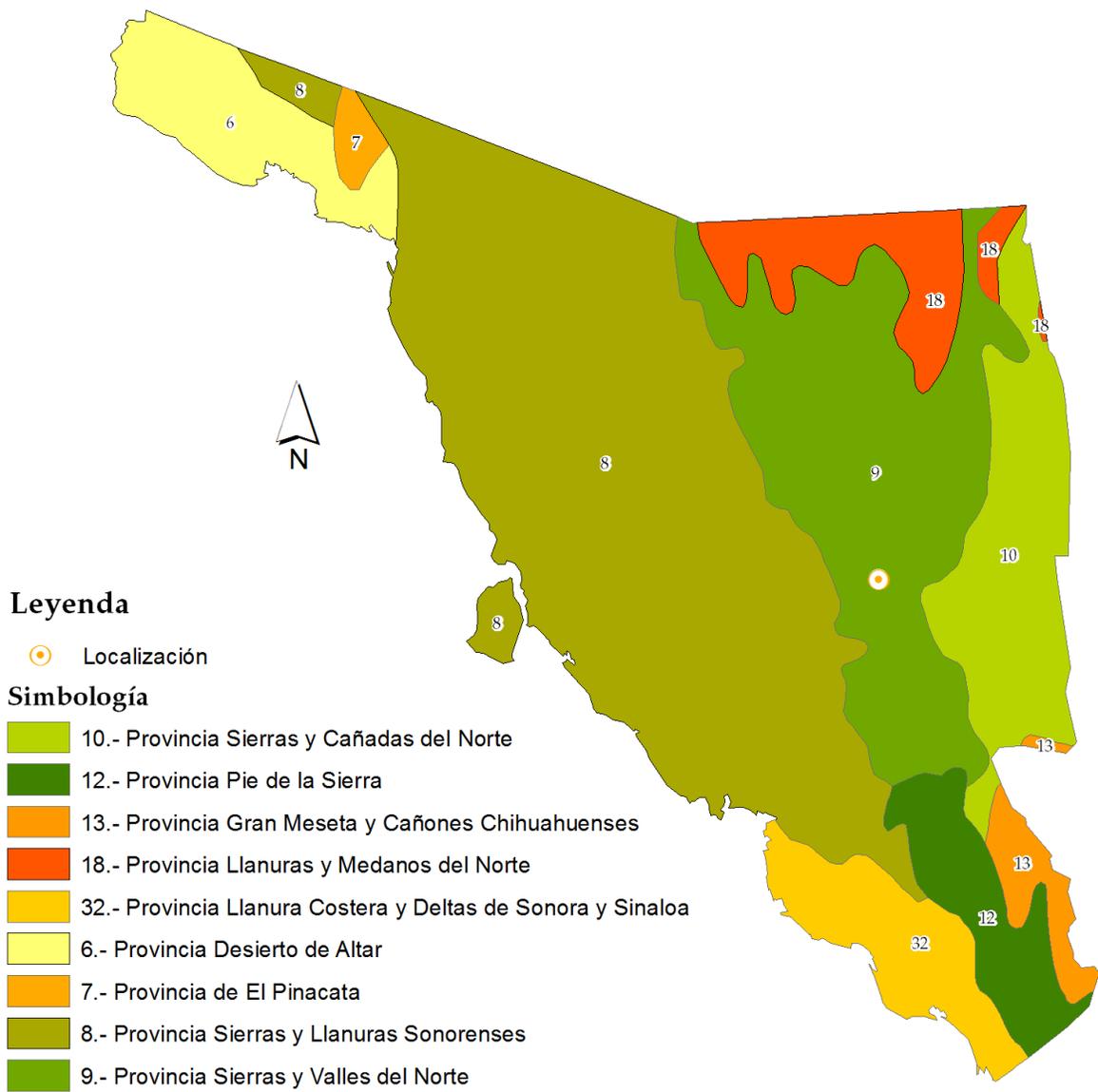


Figura 10. Mapa de las provincias Fisiográficas de Sonora (Rivera-Sivirián, 2016).

III. METODOLOGÍA

Actividades de campo

La prospección geológico-paleontológica en la región de Sierra Agua Verde (Figuras 11 y 12), fue realizada por el Dr. Juan José Palafox Reyes de la Universidad de Sonora y por la Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Instituto de Geología, UNAM, quienes cedieron el material fósil con control estratigráfico para este estudio.



Figura 11. Vista panorámica de la Sierra Agua Verde.

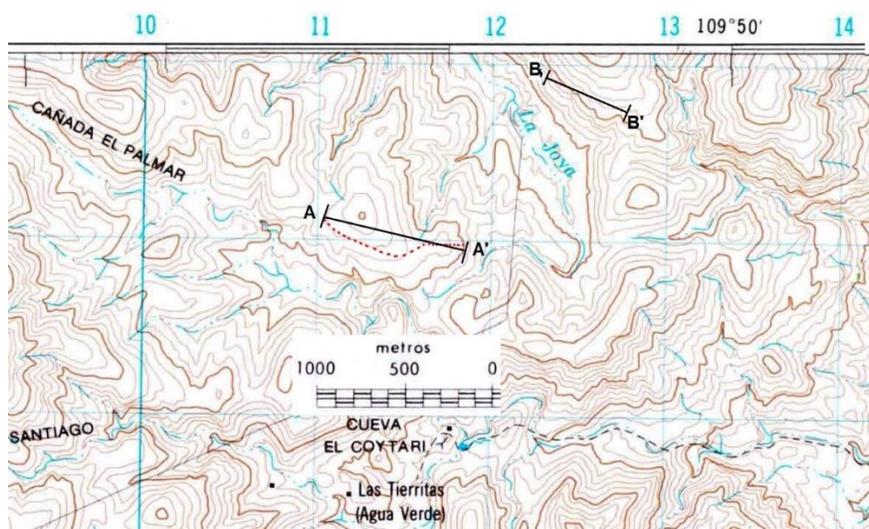


Figura 12. Mapa Topográfico que muestra los transectos estudiados por el Dr. Palafox y la Dra. Buitrón (Carta San José Batúc H12D44, 1:50 000, INEGI).

Actividades de Gabinete

Se procedió a la recopilación bibliográfica en la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra, UNAM. Las publicaciones básicas para llevar a buen fin esta investigación fueron los trabajos sobre la “Geología y estratigrafía de la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999, Buitrón *et al.*, 2003, 2004, 2005, 2007, Mendoza, *et al.*, 2004 y Almazán *et al.*, 2007).

También se han realizado trabajos de tesis, entre estos la tesis de maestría de Ochoa y Sosa (1993) sobre la estratigrafía de la Sierra Agua Verde y la tesis doctoral sobre la tafonomía de la Formación La Joya por Gómez Espinosa (2010).

Asimismo, se consultaron publicaciones acerca de los diferentes phyla que forman la composición biótica (Skinner y Wilde, 1954; Loeblich y Tappan, 1964; Maloney *et al.*, 1988, Verviller y Sanderson, 1988 y Wilde, 2006). Particularmente, para la identificación de las algas se consultaron los trabajos sobre la información del grupo de las algas (Lee, 2008).

Actividades de Laboratorio

Se procedió a elaborar secciones delgadas de las rocas en el Taller de Laminación del Instituto de Geología, UNAM. Se hicieron las fotografías de las rocas con contenido de algas en un microscopio estereoscópico SMZ-ZTD con sistema fotográfico Microflex HF X35 acoplado, el cual dio resultados de excelente calidad, una buena iluminación se obtuvo con lámpara de fibra óptica y se utilizó película blanco y negro de contraste y de las secciones delgadas en un microscopio petrográfico.

IV MARCO GEOLÓGICO

Las rocas del Paleozoico de Sonora corresponden con rocas carbonatadas de ambiente marino, de aguas someras y cálidas. Estas rocas tienen una antigüedad comprendida entre 540 y 250 millones de años aproximadamente, contienen una variada y diversa biota constituida por algas filoides, foraminíferos (fusulínidos), esponjas, corales, briozoarios, braquiópodos y crinoides.

PALEOZOICO DE LA REGIÓN CENTRO-ORIENTE.

En la región centro-oriente se presentan facies sedimentarias, una eminentemente calcárea de plataforma y la otra silíceo-clástica de cuenca. Las secuencias calcáreas presentan afloramientos de rocas cuyas edades varían desde el Cámbrico al Pérmico temprano.

A partir del año 2000, se ha incrementado el interés por el estudio de la región del centro oriente de Sonora, particularmente de la Sierra Agua Verde, Mendoza *et al.* (2004); Buitrón, *et al.* (2004, 2005); (Tabla 1).

Las algas, fusulínidos y esponjas del Pensilvánico de Sonora muestran afinidades con la biota de Arizona, Nuevo México, Texas y California, EUA. Una posible conexión entre México y los Urales y/o el Paleo-Tethys fue reportada previamente por Vachard *et al.* (2000) y Buitrón *et al.* (2012). El problema geodinámico regional en Sonora resulta más simple debido a que los conjuntos (“assemblages”) son similares tanto en el Cratón Norteamericano como en el Terreno Caborca (González, 1989; Sedlock *et al.*, 1993).

El Cratón Norteamericano estaba apartado de Gondwana y Sudamérica por un remanente del Océano Rheico, donde hay algunos terrenos separados tectono-estratigráficamente por plataformas carbonatadas, tal como el Mixteco y Oaxaquia, mientras que algunas cuencas se desarrollaban en las partes intermedias de México (Almazán *et al.*, 2007; Buitrón *et al.*, 2007; Gómez-Espinosa *et al.*, 2008).

| Sistema/Período | Serie/Época | Ochoa-Granillo y Sosa-León(1993) | Stewart <i>et al.</i> (1984) |
|-----------------|--------------|----------------------------------|------------------------------|
| Pérmico | Lopingiano | Grupo AGUA VERDE | |
| | Guadalupiano | | |
| | Cisuraliano | | |
| Carbonífero | Pensilvánico | fm. Tuntunudé | |
| | Misisípico | fm. La Joya | Caliza Masiva |
| | Superior | fm. Santiago | |
| Devónico | Medio | fm. El Pollo | |
| | Inferior | | |
| | Pridoli | | |
| Silúrico | Ludlow | fm. El Boquinete | |
| | Wendlock | | |
| | Llandovery | | |
| | Superior | | |
| Ordovícico | Medio | fm. El Boquinete | Caliza Masiva |
| | Inferior | | |
| | superior | | |
| Cámbrico | inferior | Grupo SAN JOSÉ | Caliza |
| | | | Limolita |
| | | | Cuarcita Provedora |

Tabla 1. Grupos sedimentarios y formaciones en la Sierra Agua Verde (Tomada de Jiménez-López, 2014).

FORMACION LA JOYA

Los ejemplares con algas proceden de las calizas de la Formación La Joya, en la sección La Joya cuyos afloramientos forman parte de la Sierra Agua Verde, con un espesor aproximadamente de 294 m. El contacto inferior es concordante con la Formación Santiago y el contacto superior por falla normal con la Formación Tuntunudé (Figura 13).

La base de esta unidad está constituida principalmente por calizas fosilíferas, calizas en estratos gruesos a medianos, areniscas, lodolitas y lentes arenosos y de pedernal.

Las calizas se encuentran en toda la secuencia, pero se presentan principalmente en la parte inferior, con color gris claro a rojizo con estratificación mediana a gruesa hasta niveles masivos con pequeñas intercalaciones de lodolitas calcáreas en estratos delgados presentando también nódulos de pedernal de color negro y rojizo en superficie de intemperie y un gris claro en superficie fresca.

Las calizas van graduando en cuanto a su estratificación, en la base se encuentran en forma de estratos gruesos-masivos con lentes y nódulos de pedernal. Esta parte de la secuencia se puede observar en la falda oeste del Cerro La Joya.

En seguida, se tiene un paquete de calizas de una coloración gris claro en superficie fresca a azul-gris en superficie de intemperie con intercalaciones de lodolitas calcáreas de color rojizo con espesores de estratos hasta de tres metros, observándose en la lodolita pequeños cristales de cuarzo.

Presenta tanto en las calizas como en las lodolitas corales coloniales del género *Syringopora* y numerosas placas y fragmentos columnares de crinoides de los géneros: *Pentaridica*, *Pentagonopternix*, *Cyclocaudex*, *Mooreanteris*, *Lamprosterigma*, *Cyclocrista* y *Preptopremnum*, además se observaron restos de conchas de gasterópodos (Eunfálidos) y briozoarios (Fenestélidos).

La parte superior de la secuencia está formada por calizas en estratos medianos e intercalaciones de lodolitas calcáreas, nódulos y lentes de pedernal. La caliza se presenta de un color gris claro a rojizo en superficie de intemperie y gris claro a gris oscuro en superficie fresca y la lodolita de color rojizo, en tanto en superficie fresca como de intemperie los lentes y nódulos de pedernal son de color blanco a rojizo y pequeñas bandas de color oscuro, logrando también tener lentes y nódulos arenosos (Figura 14).

Contiene ejemplares de los géneros de briozoarios *Thamniscos*, del braquiópodo *Neospirifer* y de la esponja coralina *Chaetetes* del Pensilvánico Medio.

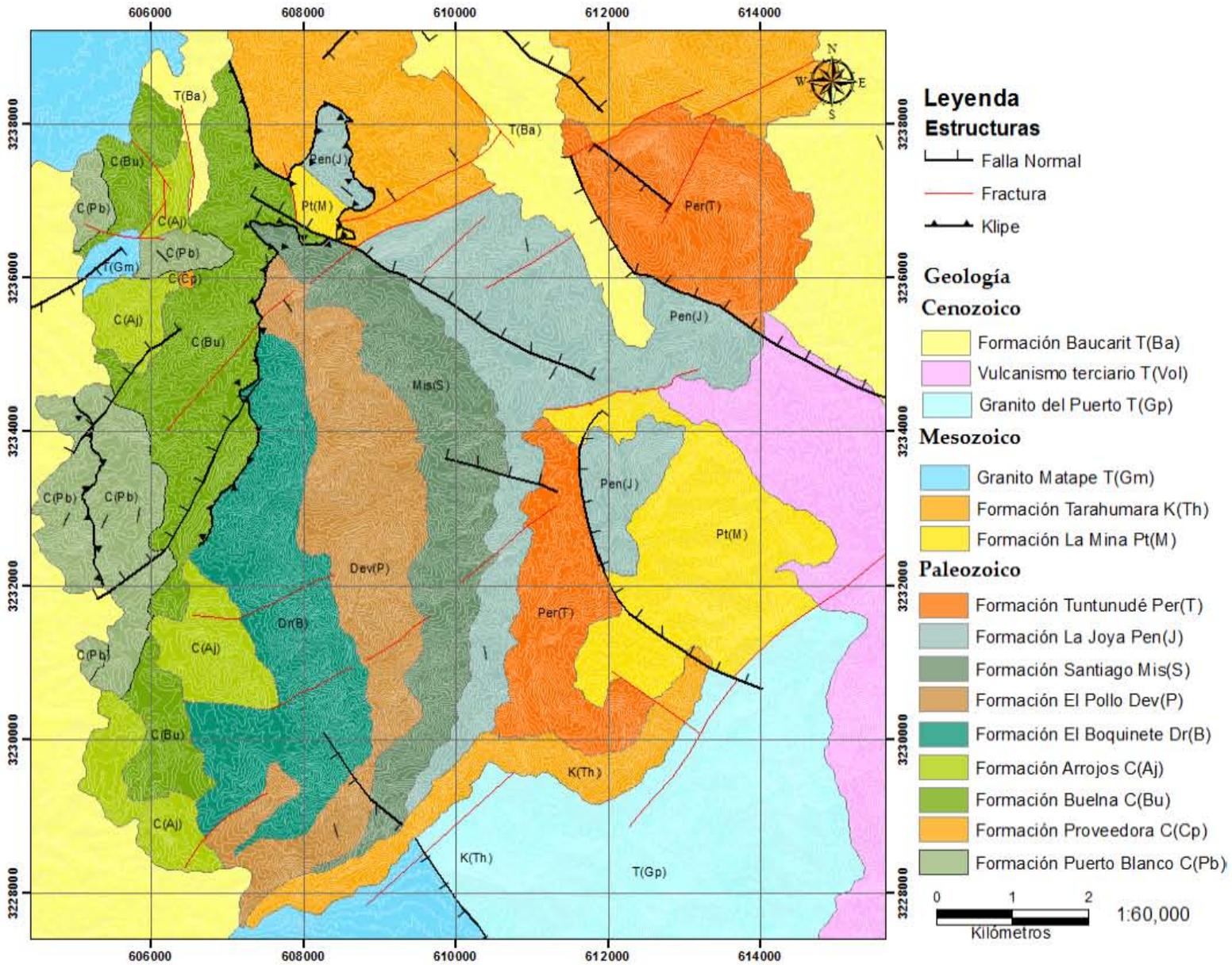


Figura 13. Mapa geológico de la Sierra Agua Verde (Tomado de Ochoa y Sosa y Cuen, 2016).

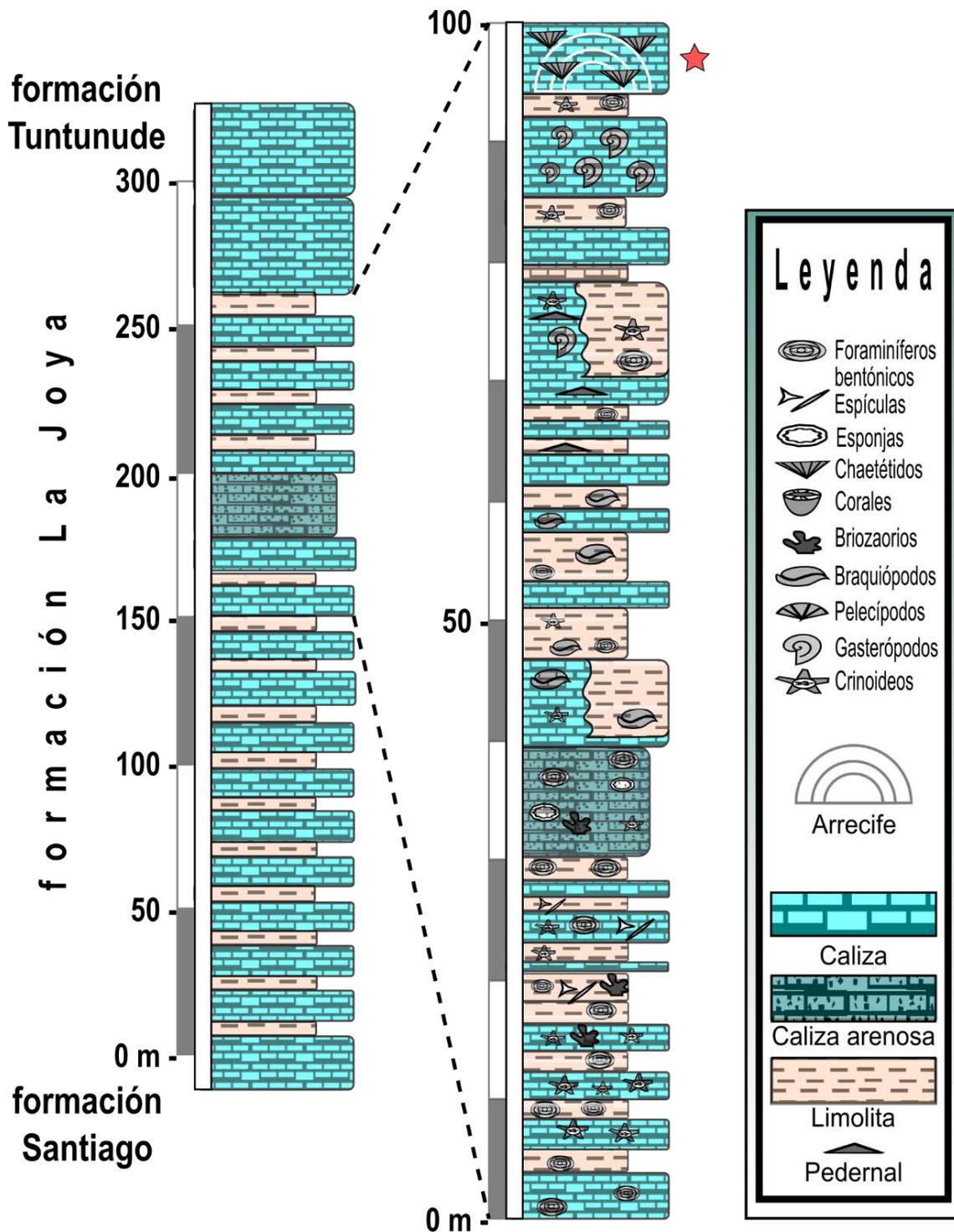


Figura 14. Columna estratigráfica en el arroyo La Joya de la Formación La Joya en la Sierra Agua Verde. La estrella señala la ubicación de las algas calcáreas en la columna (Tomado de Jiménez-López, 2014 y modificada de Ochoa y Sosa, 1993).

V. RESULTADOS

La asociación fosilífera de la Formación La Joya en la Sierra Agua Verde, está constituida por diversas especies de algas filoides *Komia*, y *Eugonophyllum*, foraminíferos-fusulínidos (*Pseudostaffella* sp, *Eoshubertella texana*, *Fusulinella llanoensis*, *Zellerella* sp.) esponjas calcáreas (*Chaetetes*); corales (*Syringopora*, *Lophophyllidium*), briozoarios (*Thamniscus*) braquiópodos (*Cleiothyridina*, *Punctospirifer*, *Anthracospirifer*), gasterópodos (*Eumphalus*, *Donaldina*) y crinoides (*Pentaridica*, *Pentagonopternix*, *Cyclocaudex*, *Mooreanteris*, *Lamprosterigma*) (Figura 15).

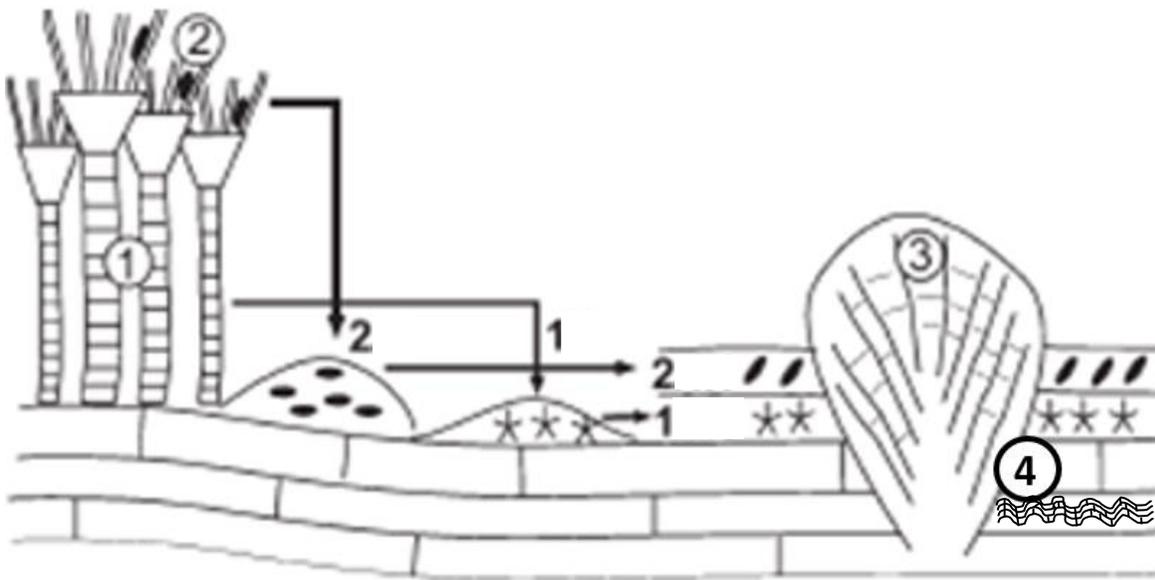


Figura 15. Reconstrucción de los biotopos de la biota de Sierra Agua Verde: 1) crinoides, 2) fusulínidos, 3) chaetétidos y 4) algas calcáreas. (Modificado de Buitrón-Sánchez et al., 2015).

El material correspondiente a las algas consiste en fragmentos de rocas y secciones delgadas que se encuentra depositado en la Colección Nacional de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán CDMX 04510; registrado con números de catálogo IGM-40 al IGM-44.

Las algas pertenecen al reino protista, son plantas primitivas, que carecen de raíces, tallos y vasos conductores; están formadas por una sola célula (unicelulares) o por varias células (pluricelulares) con pigmentos fotosintéticos como la clorofila α y β que efectúa la función fotosintética (Figura 16).

Las algas son productores primarios en la cadena alimenticia y originan el oxígeno necesario que es utilizado por los organismos consumidores. Entre ellas, se encuentran las cianobacterias (antes conocidas como cianofíceas), clorofíceas, rodofíceas, diatomeas y feofíceas. En el pasado geológico fueron muy abundantes y formaron junto con los corales los estromatolitos o estructuras calcáreas de los arrecifes.

La mayoría habita en los mares, lagos, ríos y pantanos (Cooper, 1952; Darrah, 1960; Delevoryas, 1969, Graham *et al.*, 2009). Se encuentran fósiles desde el Precámbrico y hasta la actualidad (Lee, 2008).

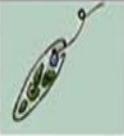
| División | | Pigmentos fotosintéticos | Sustancia de reserva | Composición de la pared | Otras características |
|---|---|---------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Euglenófitos (euglenas) |  | Clorofilas a y b, carotenoides | Grasas y un polisacárido especial | Sin pared celular, láminas de proteínas flexibles dentro de la membrana plasmática | Unicelulares, principalmente en agua dulce |
| Crisófitos (diatomeas, algas amarillas) |  | Clorofilas a y c, caratenoides | Aceites y un polisacárido | Celulosa, con frecuencia impregnada de sílice | Unicelulares, y de agua dulce |
| Dinoflagelados |  | Clorofilas a y c, caratenoides | Almidón y aceites | Celulosa | Unicelulares., principalmente marinas |
| Clorófitos (algas verdes) |  | Clorofilas a y b, carotenoides | Almidón | Polisacáridos, celulosa en algunos | Unicelulares coloniales o pluricelulares, de agua dulce y marina |
| Feófitos (algas pardas) |  | Clorofilas a y c, caratenoides | Aceites y un polisacárido especial | Celulosa y alginina (un polisacárido) | Pluricelulares, casi todas marinas, muy abundantes en aguas frías |
| Rodófitos (algas rojas) |  | Clorofila a caratenoides, ficocianina | Una forma especial de almidón | Celulosa, compuestos pécticos, impregnados de carbonato cálcico en algunas | Pluricelulares., mayormente marinas., muchas especies tropicales |

Figura 16. Características de los diferentes tipos de protistas (Méndez, 2015).

ALGAS CALCÁREAS

Muchos grupos de algas tienen la facultad de acumular carbonato de calcio en sus tejidos y estructuras reproductoras, los que forman depósitos de sedimentos calcáreos, tanto en el pasado geológico como en el reciente (Figura 17). En los últimos años se ha considerado su estudio como un factor de importancia pues son fósiles índices desde el punto de vista estratigráfico, paleoecológico, paleogeográfico y evolutivo.



Figura 17. Estromatolitos fósiles de algas calcáreas al sur de Australia. Foto: Adam C. Maloof.

La clasificación del grupo de las algas ha sido modificada por varios autores a raíz de nuevos descubrimientos sobre su origen, morfología y funciones. En este trabajo se sigue a Lee (2008) quien propone la clasificación de las algas en dos grupos, las *Prokaryotes algae* (cianobacterias) y las *Eukaryotica algae*. La principal diferencia entre estos dos grupos es que las algas cianobacterias son unicelulares por lo que su morfología es aparentemente más sencilla, en cambio, las algas eucariontas ya son organismos pluricelulares con una morfología y fisiología más similar a la de las plantas vasculares (Figura 18).

En el grupo *Eukaryotica* se clasifica, particularmente a las algas rojas (División Rhodophyta, Clase Rhodophyceae) y a las algas verdes (División Chlorophyta).

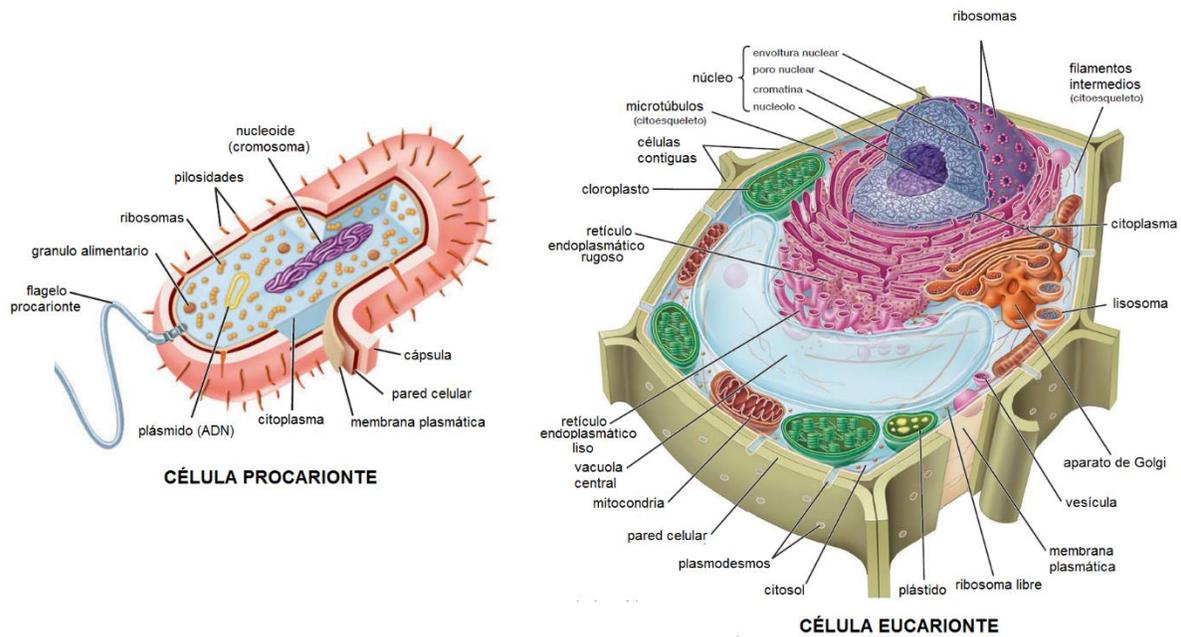


Figura 18. Diferencias entre célula eucariota y procariota (Audesirk *et al.*, 2011, Ilustración: © 2006 Advanced Tissue Sciences, a Division of Advanced BioHealing)

PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

División Chlorophyta Reichenbach, 1834

Se caracterizan estas algas por estar conformadas por una célula, generalmente son microscópicas o por varias células formando filamentos, sus tamaños varían generalmente a nivel de centímetros. La mayoría efectúa la función fotosintética a través de estructuras llamadas cloroplastos con clorofila α y β pero se considera que hay excepciones. Se han descrito 8 200 especies.

Género *Eugonophyllum* Konishi y Wray, 1961

Diagnosis. El talo consiste en uno o más racimos calcificados y de forma variada. En éste hay un córtex con estructuras esferoidales llamadas utrículos que están en contacto con la médula, la cual contiene estructuras filamentosas paralelas a los márgenes del córtex (Figura 19).

Especímenes silicificados del Carbonífero tardío sugieren que su forma de crecimiento es filoide, laminar o globular (Konishi y Wray, 1961).

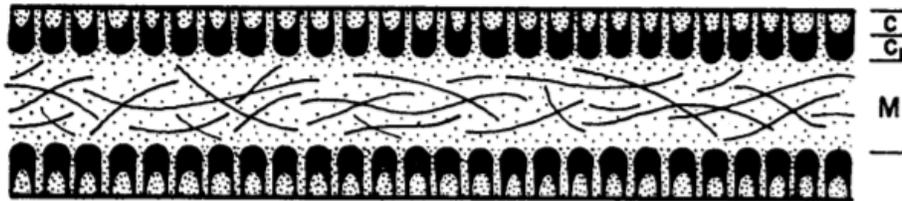


Figura 19. Diagrama que muestra la estructura de la pared en corte transversal en el que se indica con C el córtex externo, C₁ el subcórtez y M la médula. En negro se observan los utrículos. (Tomado de Konishi y Wray, 1961).

Discusión. *Eugonophyllum* morfológicamente es similar con otros géneros como *Ivanovia*, *Anchicodium* y *Calcifolium*, algunos de éstos pueden ser sinónimos. *Eugonophyllum* es un tipo de alga filoide del grupo de las codiáceas, probablemente precursora en las comunidades de algas filoides, que se les conoce del Pensilvánico al Pérmico (Figuras 20 y 21).



Figura 20. Ejemplar IGM-40. Oogonio de *Eugonophyllum* (Escala 4 mm).

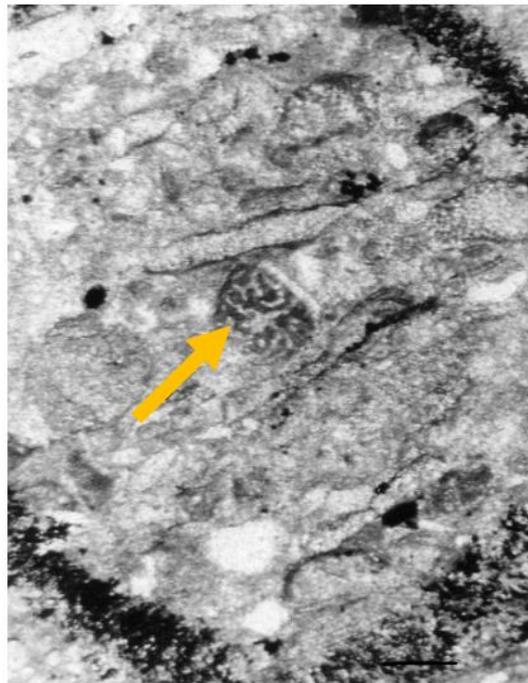


Figura 21. Sección delgada: Filamentos y oogonio. Estructuras calcificadas (escala de 2mm).

División RHODOPHYTA Wettstein, 1901

Clase Rhodophyceae Ruprecht, 1851

Diagnosis. Las rodofitas son las algas rojas, pluricelulares, de forma variable, como filamentosas, coralinas, laminares o racimosas. Sus plastos presentan dos membranas y tienen dos pigmentos accesorios llamados ficobiliproteínas y carotenoides, los cuales enmascaran el color de la clorofila y le dan el tono rojo distintivo de estas algas. Se caracterizan por su inmovilidad debido a la carencia o pérdida evolutiva de flagelos en todas las etapas de su ciclo vital.

Rhodophyta se origina en el Mesoproterozoico y se divide filogenéticamente en dos clados: Cyanidiophytina y Rhodophytina, los cuales divergieron hace unos 1200 millones de años. Habitaron los mares someros formando parte de los arrecifes y también pueden encontrarse en aguas profundas. (Darrah, 1960).

Género *Komia*, Korde, 1951

Diagnosis. Korde (1951) describió el género *Komia* por primera vez como la especie tipo y lo consideró como un alga rhodophyceae. *Komia* está representada por algas filoides, que se encuentran entre las algas coralinas, el talo está formado por filamentos que se calcifican (Figuras 22 y 23).

Habitan en los mares y tienen afinidades con algunas algas pérmicas, pero las algas del género *Komia* son abundantes en el Pensilvánico Inferior y Medio.

Discusión. Las algas clorofitas se han documentado con una distribución amplia en el Pensilvánico del suroeste de Estados Unidos de Norteamérica. También están formando parte de la vegetación marina del Este de Asia y esta distribución se extienden en el mar Adriático y Mediterráneo. *Komia* está asociada con los géneros *Donezella* y *Dvinella* (*Donezella-Komia*), ampliamente distribuidas en rocas del Pensilvánico Inferior y Medio (Konishi and Wray, 1961).



Figura 22. Ejemplar IGM-43: Fragmento de roca que muestra filamentos (Escala 4 mm).

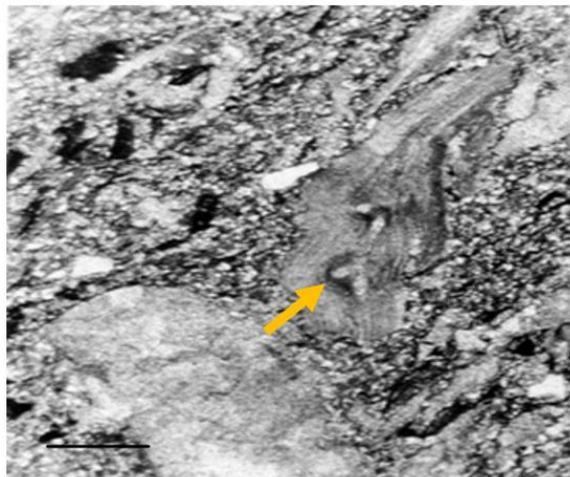


Figura 23. Sección delgada: calcificaciones del talo de *Komia* (Escala 2mm).

CONSIDERACIONES BIOESTRATIGRÁFICAS.

La biota fósil procede de las rocas calizas y lutitas de la Formación La Joya, en los afloramientos de cerro La Joya y Agua Caliente, que forman parte de la Sierra Agua Verde, con un espesor aproximadamente de 294 m y de 780 m respectivamente. El contacto inferior se encuentra concordante con la Formación Santiago y el contacto superior por falla con la Formación Tuntunudé (Figura 14).

La base está constituida por calizas fosilíferas, areniscas, lodolitas y lentes arenosos y de pedernal. Las calizas van graduando en cuanto a su estratificación, en la base se encuentran en forma de estratos gruesos-masivos con lentes y nódulos de pedernal. Esta parte de la secuencia se puede observar en la falda oeste del Cerro La Joya.

En seguida, se encuentra un paquete de calizas con intercalaciones de lodolitas calcáreas que en la lodolita hay cristales de cuarzo. Se presenta tanto en las calizas como en las lodolitas corales coloniales, y numerosas placas y columnas de crinoides, además se observaron restos de conchas de gasterópodos y briozoarios ramosos.

La parte superior está formada por calizas e intercalaciones de lodolitas calcáreas, nódulos y lentes de pedernal. La caliza contiene ejemplares de los géneros de briozoarios *Thamniscos*, del braquiópodo *Neospirifer* y de la esponja coralina *Chaetetes* del Pensilvánico Medio y por su supuesto a nuestras especies en estudio *Eugonophyllum* y *Komia*.

CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS

En 1951 Kira Borisovna Korde, publicó su investigación sobre las algas komia y Komia abundans como la especie tipo, este estudio se realizó en rocas calizas de depósitos carboníferos en los montes Urales que afectada por la actividad del océano Paleo Tethys (Figura 24). Más adelante se descubrió este mismo tipo de algas diversas regiones de Norte América, una de ellas, Sonora.

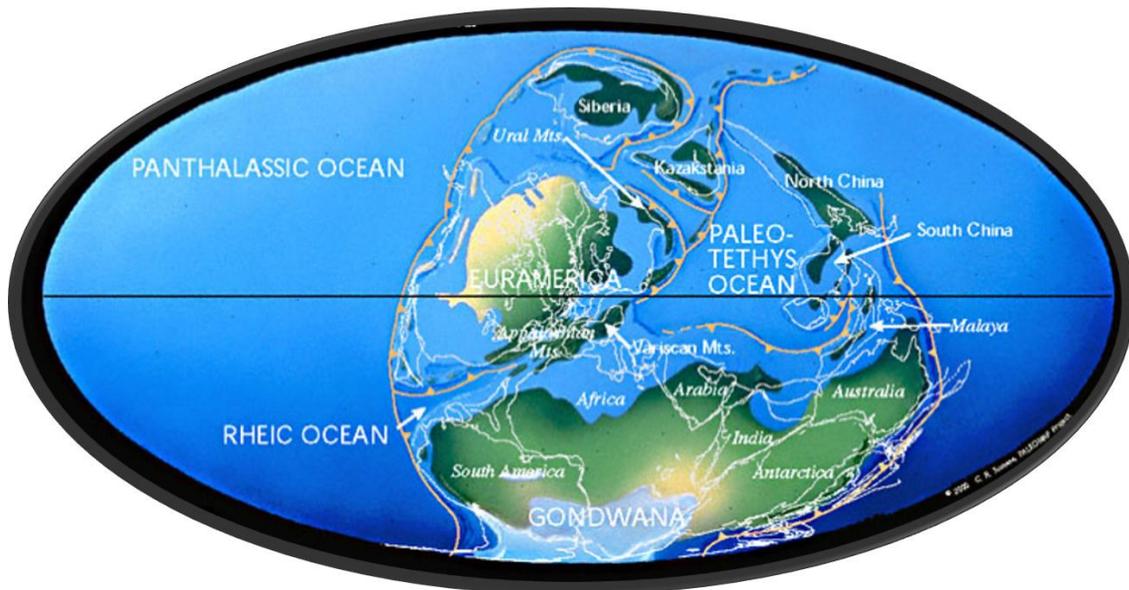


Figura 24. La Tierra durante el carbonífero, nótese la ubicación de los montes Urales y el Paleo Tethys (Tomado de <http://www.scotese.com/images/342.jpg>).

A continuación, se explica en qué manera se cree que Sonora evoluciono para que existiera una conexión entre los montes Urales y el Paleo Tethys:

El territorio de Sonora, se ubicó al suroeste del Continente de Laurentia y al sur del Ecuador en el Paleozoico Medio-tardío. Desde el punto de vista paleogeográfico, estratigráfico y tectónico en Sonora se han

definido una serie de diversos bloques tectónicos sobre la margen sureste de Laurentia.

Dos cinturones orogénicos se formaron en las márgenes de Norteamérica, el primero, al sureste, fue originado por la Orogenia Apalacheana Oachita-Maratón a causa de la colisión entre Gondwana y Laurentia, mientras que el segundo cinturón se desarrolló hacia el oeste y suroeste de Norteamérica; a causa de una colisión arco-continente denominada como la Orogenia Antler y Sonoma.

Estos cinturones quizá se unieron desde el Devónico al Triásico en Arizona y Nuevo México, EUA y en Sonora ocurrió hasta el Paleozoico tardío (Stewart *et al.*, 1990; Pérez-Ramos, 1992).

Las rocas paleozoicas alóctonas constituyen cuatro cinturones más. El primero está representado por secuencias del Paleozoico Inferior con facies de tipo cuenca oceánica ubicada en las Montañas Roberts, EUA, un segundo cinturón está conformado por el Alóctono de Golcanda de edad Paleozoico tardío. El tercero constituye las secuencias de arco volcánico en la Sierra Nevada y en las Montañas Klamatha, y finalmente se tiene a la secuencia del Paleozoico Superior representadas por los complejos de subducción y acrecionarios (Miller y Stevens 1992).

Por otro lado, las rocas paleozoicas autóctonas al oeste de la cordillera de Norte América fueron depositadas en dos cinturones distintos, el primero se le denomina como la Provincia del Cratón y el segundo como la Provincia de la Plataforma Miogeosinclinal (Ross y Ross, 1983).

De acuerdo con Poole y Madrid (1988); Pool y Rivera (1988) Pool *et al.*, (1993, 1995), en Sonora la sedimentación durante el Ordovícico estuvo controlada por tres elementos tectónicos que han sido definidos como: la Plataforma Cratónica de Nuevo México y Arizona adyacente, California y Sonora; la Plataforma al Sur de California-Sonora; la elevación continental de California-Sonora o también denominada como cuenca oceánica marginal.

Anderson y Silver (1979) reportan que el Megashear de Mojave-Sonora es el responsable de trasladar sedimentos del Paleozoico Inferior y del Pérmico-Triásico del noroeste de Norte América como es el caso de los Estados de Nevada y California hasta el noroeste de Sonora.

Este último evento tectónico ocasionó una gran dispersión de bloques alóctonos y autóctonos, que involucró el desplazamiento de las cubiertas sedimentarias de edad paleozoica (Figura 25).

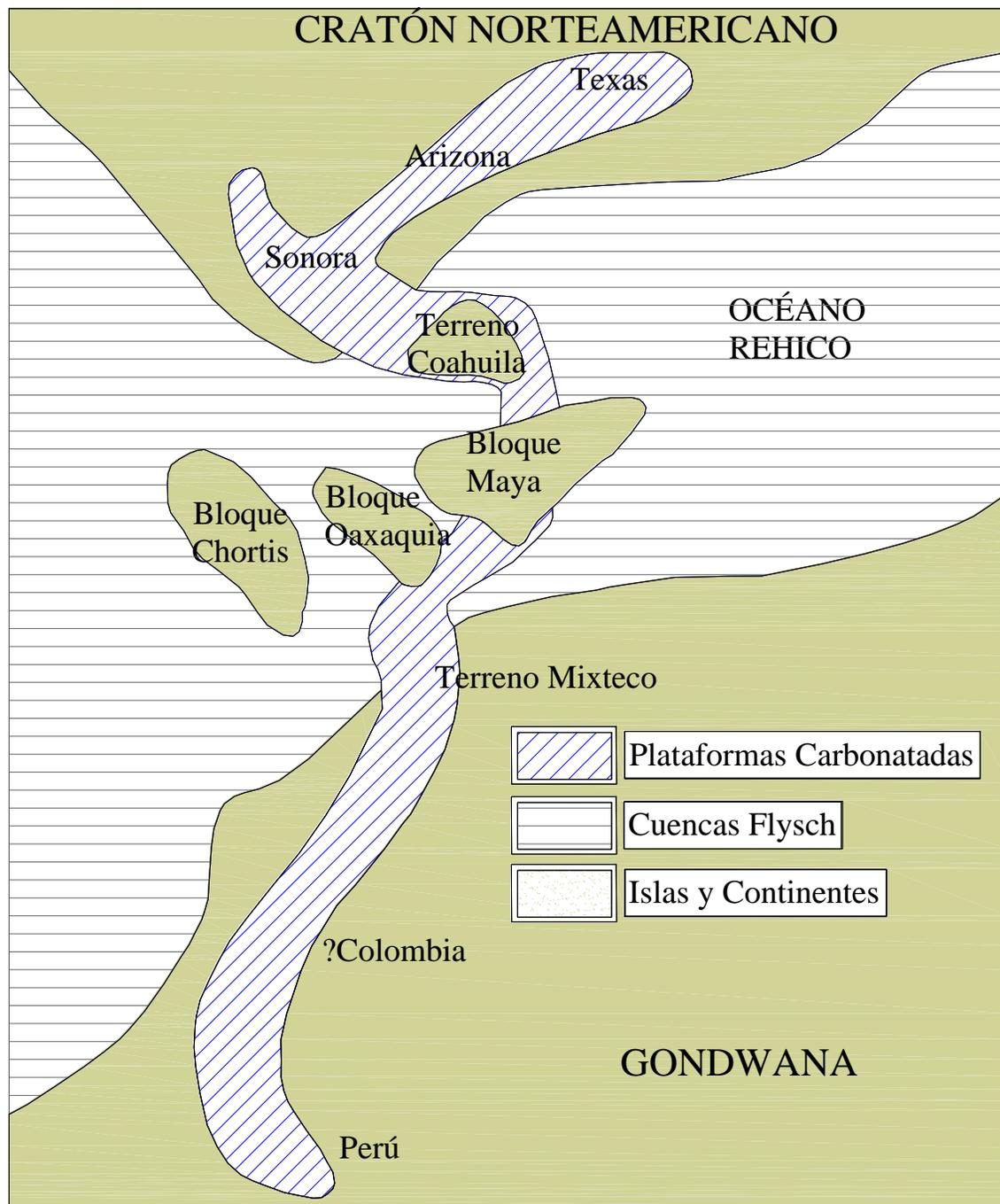


Figura 25. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el cratón norteamericano (Arizona, Texas) y el dominio sudamericano a través de diferentes terrenos mexicanos: Coahuila, Maya, Oaxaquia y Mixteco. 1 plataformas carbonatadas, 2 cuencas de flysch, 3 islas y continentes (Gómez *et al.*, 2008 y modificado de Almazán-Vázquez *et al.*, 2007).

A pesar de los valiosos aportes de datos en Sonora, obtenidos por trabajos de geología regional, paleontológicos, paleomagnéticos, estructurales, estratigráficos y de análisis de terrenos tectónico-estratigráficos, los estudios de carácter sedimentológico y paleontológico no se han realizado con la profundidad que se merecen. En Sonora, existe un amplio potencial de estudiar a detalle regiones que no han sido mencionadas, entre ellas Sierra La Flojera, Sierra Los Caballos, Sierra Santa Teresa, y aún en la Sierra Agua Verde no se han realizado estudios sobre la sedimentología y geoquímica. Particularmente sobre paleontología se han realizado últimamente descubrimientos de invertebrados que están en estudio.

Para esclarecer la historia de la evolución Pre-mesozoica de la región, es necesario llevar a cabo una investigación más profunda de las secuencias sedimentarias del Paleozoico Superior y su contenido biótico (Ross y Ross, 1983).

El estudio de la biota, particularmente, de las algas indica que existió una amplia provincia marina en el Pensilvánico que geográficamente comprendió el sur de EUA y localidades de Sonora, entre ellas Sierra Agua Verde.

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En México, impera una gruesa secuencia de sedimentos mesozoicos y cenozoicos que cubren casi toda la extensión territorial, por lo que los afloramientos del Paleozoico marino son escasos.

Sin embargo, en la región norte del país, en los Estados de Sonora y Tamaulipas, en la porción central en los Estados de Hidalgo y Puebla y en la zona sur en los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas existen localidades de rocas marinas, sedimentarias del Carbonífero que contienen fósiles, estas localidades contienen crinoides (Misisípico y Pensilvánico) del Carbonífero (Buitrón, 1992).

El estudio integral de las secuencias de estas rocas marinas, con una diversa y abundante biota, permitirá conocer sobre las migraciones faunísticas, comparando la distribución de los mismos taxa en otras regiones distantes, con similares características tanto en la composición de la flora y fauna, como las características ambientales con referencia a facies de carbonatos.

La biota identificada para la Formación La Joya corresponde a algas de los géneros *Eugonophylum* Konishi y Wray, 1961 y *Komia* Korde, 1951 El estudio de las algas filoides calcáreas corrobora la edad de las capas que contienen a la biota del Pensilvánico Medio (Atokano) de Sierra Agua Verde, Sonora, con una antigüedad de 311 millones de años pues son índices estratigráficos en localidades de Kansas, Colorado y Texas en Estados Unidos de Norteamérica.

La presencia de organismos diagnósticos que conforman esta biota, que son de agua somera, marina y cálida, demuestra que los depósitos de estos afloramientos ocurrieron en una línea de costa, de acuerdo a los ejemplares estudiados.

AGRADECIMIENTOS

La investigación de la tesis se llevó a cabo en el marco del proyecto NUM. M06-U01 ECOS-Francia, ANUIES, CONACYT-México titulado “Evolución de los Ecosistemas marinos del Paleozoico de México” y del CONACYT No.165826, particularmente sobre la biota del Paleozoico Tardío.

Se reconoce el apoyo otorgado por la Directora del Instituto de Geología Dra. Elena Centeno García, para llevar a cabo la investigación de la tesis.

Se agradece al Dr. Juan José Palafox de la División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, el haber proporcionado parte del material para el presente estudio.

Gracias a José Carlos Jiménez López, por aportar y apoyar este trabajo con elementos de su tesis de maestría.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B. E, Vachard, D., Mendoza-Madera, C. and Gómez-Espinosa C.,** 2007. The late Atokan (Moscovian, Pennsylvanian) chaetetid accumulations of Sierra Agua Verde, Sonora (NW Mexico), composition, facies and paleo environmental signals. *In:* Álvaro, J.J., Aretz M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D. and Vennin, E. (eds) *Paleozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls*. Geological Society, London, Special Publications, 275, 189-200.
- Anderson, T. and Silver, L.** 1979. The role of the Mojave Sonora Megashar in the tectonic evolution of Northern Sonora. GSA. Annual Meeting Guide book trip 27, p. 59-68.
- Andrews, H.N.,** 1961. *Studies in Paleobotany*. J.Wiley & Son, New York.
- Archangelsky, S.** 1970. *Fundamentos de la Paleobotánica*. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata (Serie Técnica y Didáctica Nro.10), La Plata, 347 pp.
- Audesirk, T., Audesirk, G. y Byers B.E.,** *Biología: La vida en la Tierra con Fisiología*, 9a ed., Ed. Pearson Education Inc., 2011., 71-73 p.
- Buitrón, B.E.** 1992. Las rocas sedimentarias marinas del Paleozoico Inferior de México. . UNESCO, Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP (International Geological Correlation Program)). In *Paleozoico Inferior de Iberoamérica*, Universidad Extremadura España. Estados Gutiérrez Marco, J.C., Saavedra, J. y Rábano, I. p. 193.201.

- Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Ochoa, G. A. y Vachard D., 2003.**
Chaetetes, corales tabulados del Pensilvánico de Sonora. Semana Cultural de Geología XXVIII Aniversario Resúmenes, p. 15.
- Buitrón, B.E. Almazán, V. E. y Vachard, D, 2004,** Benthic invertebrates, of Carboniferous-Permian age, from Sonora: Their paleogeographic implications. 32nd. International Geological Congress, Florencia, Italia, 20 al 28 de agosto de 2004, p. 202.
- Buitrón, B. E., Almazán, V. E. Vachard, D. Gómez, C. y Mendoza, M. C., 2005.** Crinoides Pensilvánicos asociados a facies “arrecifales” de Chaetétidos en sierra Agua Verde, Estado de Sonora, México. Unión Geofísica Mexicana A. C. Boletín Informativo, Época II, vol. 25, no. 1, 338 p.
- Buitrón-Sánchez, B., Gómez-Espinosa, C, Almazán-Vázquez, E y Vachard, D. 2007.** A late Atokan regional encrinite (early late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora State, NW Mexico. *in:* Álvaro, J. J., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D. and Vennin, E. (eds) Paleozoic Reefs and Bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls. Geological Society, London, Special Publications, 275, 201-209.
- Buitrón- Sánchez, B., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E., Palafox, J., 2012** Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v 29, núm 1, 39-62 p.
- Cooper, G.A., Arellano, A., Johnson, J., Okulitch, V., Stoyanow, A. y Lochman, C. 1952.** Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora, Mexico. Smithsonian Miscellaneous Collections 119(1):184 p.

- Darrah, W. C.** 1960. Principles of Paleobotany. The Ronald Press Company. New York, 295 p.
- Delevoryas, T.** 1969. Paleobotany, phylogeny, and a natural system of classification. *Taxon*, 18:204-212
- García, E.**, 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, 243 p.
- Gómez Espinosa, C., Vachard, D, Buitrón-Sánchez, B.E., Almazán-Vázquez, E. and Mendoza-Madera, C.**, 2008. Pennsylvanian fusulinids and calcareous algae from Sonora (northwestern Mexico).
- Gómez-Espinosa**, 2010, Análisis tafonómico y taxonomía del macrobentos calcárea del Paleozoico Tardío de Sierra Agua Verde, Noroeste de Sonora, México Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis doctoral. 141 p.
- Gómez-Rosales, D**, 2008, Bioacumulaciones de *Chaetetes* del Pensilvánico de Atokano de Agua Sierra Verde. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis profesional, 52 p.
- González León, C.** 1989. Evolución de terrenos mesozoicos en el noroeste de México, Boletín del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora 6, 39-54.
- González-Rodríguez, K. A.; Cuevas-Cardona C., Castillo-Cerón J. M.**, 2009, Los fósiles del estado de Hidalgo, UAEH, 104 p.

- Graham, L. E.**, Graham J. M. y Lee W. Wilcox, *Algae*, 2da. Ed., Benjamin Cummings (Editor), 286 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI)** 1985, Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora. Secretaría de Programación y Presupuesto. México 87p.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI)** 1999, Carta Topográfica. San José Batúc H12D44, Escala 1:50 000.
- Jiménez-López, J.C.** 2014. Braquiopodos del Carbonífero tardío de Sierra Agua Verde, Sonora NW de México. Sistemática e implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría, 107 p.
- Konishi, K. y Wray, J.**, 1961, *Eugonophyllum*, a new Pennsylvanian and Permian Algal Genus, *Journal of Paleontology*, v 35, núm 4, 659-665 p.
- Lee, R.** 2008. *Phycology*. 4° ed. Cambridge University Press. 547 p.
- Loeblich, A. R. y H Tappan**, 1956. *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Part C., protista 2. Sarcodina Chiefly Tecamoebians and Foraminiferida, vol. 1, Moore, R. C. (ed) The Geological Society of America and the University of Kansas Press: 510 pp.
- Maloney, M. M., R. D. Hoare y Sturgeon, M. T.**, 1988, Pennsylvanian Paleotextulariid Foraminifer from the Appalachian Basin, *Journal of Paleontology*, 62: 724-730 p.
- Maloof, A. C. et al.**, Possible animal-body fossils in pre-Marinoan limestones from South Australia, *Nature Geoscience* 3, 2010, 653-659 p.

- Meléndez, B.** 1990. Paleontología. 2° ed. Madrid. Paraninfo.
- Méndez, C.** 2015. Tipos de algas. Biopetróleo del siglo XXI (Tabla)
<http://biopetroleoxxi.blogspot.mx/2015/06/tipos-de-algas.html>.
- Mendoza Madera, C., Almazán-Vázquez, E., Buitrón, B.E. y Vachard, D,** 2004. Bioestratigrafía de la secuencia del Pensilvánico en la Sierra Agua Verde, en la porción central del estado de Sonora. XXIX Semana Cultural, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Resúmenes p. 9
- Miller, and M., Stevens, C.** 1992. Late Paleozoic Paleogeography and tectonic evolution of the Western USA Cordillera. Geological Society of America, vol. G-3, p. 57-105.
- Ochoa Camarillo, A y Sosa León, P.** 1993. Geología y estratigrafía de la Sierra Agua Verde, con énfasis en el Paleozoico. Universidad de Sonora. Departamento de Geología, tesis de Licenciatura. 44p.
- Pérez-Ramos, O.** 1992. Permian biostratigraphy and correlation between southeast Arizona and Sonora. Boletín del Departamento de Geología de la Universidad d Sonora v.9, núm. 2, 1-74 p.
- Pfeiffer F.** 1988. Biostratigrafic Study of Paleozoic rocks of Northeastern and Central Sonora, Francia, 80p. Inédita.

- Poole, F.G. y Madrid, R.J., 1988**, Allochthonous Paleozoic eugeoclinal rocks of the Barita de Sonora mine area, central Sonora, Mexico, *in* Rodríguez-Torres, R. (ed.), El Paleozoico de la región central del Estado de Sonora, Libro Guía de la Excursión para el Segundo Simposio sobre la Geología y Minería en el Estado de Sonora: Sonora, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 32-41.
- Poole, F. y Rivera, E.** 1988. Consideraciones paleoambientales de depósito de las formaciones del área de Caborca, Son. UNAM, Inst. Geología, Rev. 7, p. 22-27.
- Poole, F., Berry, W and Madrid, R.,** 1993. Allochthonous Ordovician eugeosinclinal rocks on Turner Island. Eastern Gulf of California and their paleotectonic significance. GSA, abstract vol. 25, p. 134-135. Pool *et al* 1995
- Rivera-Sivirián, D.** 2016. *Kaskia* (Trilobita – Proetida) del Pensilvánico de Sierra Agua Verde, Sonora, México. División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Tesis de licenciatura, 56 p.
- Ross, C. A. y Ross, J. R. P.,** 1983, Late Paleozoic accreted terranes of western North America, *in* Stevens, C. H., ed., Pre Jurassic rocks in western North America suspect terranes: Society Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, p. 7-22.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F. y Speed, R. C,** 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Special paper 278. 153p.

- Silva, A. y Buitrón, B.E.** 2000. Paleontología de México. Plantas vasculares fósiles. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Sección Editorial, 93 p. (tiraje 500 ejemplares).
- Skinner, J. W. and Wilde, G. L.** 1954. New early Pennsylvanian fusulinids from Texas, *Journal of Paleontology*, 28, 796-803.
- Stewart, J., Madrid, R. J., Poole, F. G. y K. B. Kernet,** 1988, Studies of Late Proterozoic, Paleozoic, and Triassic rock in Sonora, Mexico (abstract), in Almazán-Vázquez, E. y M. A. Fernández-Aguirre (eds) resúmenes, segundo simposio sobre geología y Minería de Sonora: hermosillo, Sonora, México, Instituto de Geología, UNAM: 60-62.
- Stewart, J., Poole, F., Roldán, J.,** 1990. Tectonic and stratigraphy of the Paleozoic and Triassic southern margin of North America, Sonora, México. *Arizona Geol. Survey, Special Paper 7*, p. 183-202.
- Torres, T.,** 2003. Antártica un mundo oculto bajo el hielo. Publicación especial Instituto Antártico Chileno, 95 p, 40 Lam., 150 fig.
- Vachard, D., Flores de Dios, A., Buitrón, B. y Grajales, M.** 2000. Biostratigraphie par fusulines des calcaires carbonifères et permians de San Salvador Patlanoaya. *GEOBIOS*, 33:5-33.
- Verviller, G. J. y Sanderson G. A.,** 1988, Early Atokan fusulinids from the Lower Antler Overlap Sequence, Lander and Humboldt Counties, Nevada, *Journal of Paleontology*, 62: 520-529 p.
- Wilde, G.L.,** 2006, Pennsylvanian-Permian fusulinaceans of the Big Hatchet Mountains, New Mexico: *New Mexico Museum Natural History and Science*, 38, 1-311.