



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA  
TIERRA

“ACTUALIZACIÓN SISTEMÁTICA DE LOS CRINOIDES  
(ECHINODERMATA, CRINOIDEA) DEL PALEOZOICO TARDÍO  
DE SONORA. CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

MORALES PALACIOS ANDRÉS

DIRECTORA DE TESIS

DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ

*OCTUBRE DE 2015*

Ciudad Universitaria, D. F.





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.

## AGRACECIMIENTOS

PRIMERO AGRADECER A LA VIDA Y A DIOS POR TANTAS SATISFACCIONES DURANTE MI PERIODO EN LA MEJOR Y MI MÁS GRANDE AMOR QUE ES UNIVERIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

A MIS PADRES QUE HAN SIDO Y SERÁN EL MOTOR PARA SER CADA VEZ UNA MEJOR PERSONA EN TODOS SENTIDOS, AGRADEZCO SU APOYO Y SU CARIÑO PARA LOGRAR LAS METAS QUE HE TENIDO EN MI VIDA

A MI FAMILIA EN GENERAL POR SER PARTE DE ESTE MARAVILLOSO LOGRO, POR HABERME APOYADO Y CONFIADO EN MÍ

A MIS AMIGOS QUE HAN ESTADO EN TODO MOMENTO Y ME HAN LLEVADO A ALCANZAR UN SUEÑO QUE TUVE DESDE QUE VI POR PRIMERA VEZ EL CAMPO DE CIUDAD UNIVERSITARIA

AGRADEZCO LA DICHA DE TENER SALUD, FAMILIA Y A LOS MEJORES AMIGOS QUE PUEDE HABER PEDIDO, GRACIAS A ELLOS SOY UNA PERSONA DE BIEN Y MUY FELIZ

A MI SEGUNDA CASA, LA UNIVERIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO POR TODO LO QUE ME HA BRINDADO, ES UN ORGULLO DECIR QUE SOY UN HIJO MÁS DE LA MEJOR UNIVERSIDAD DEL PAÍS.

## RECONOCIMIENTOS

La tesis fue elaborada en el Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México. El autor agradece a la Directora Dra. Elena Centeno García el haberle permitido desarrollar el trabajo de tesis en las instalaciones del Instituto que dirige.

El autor desea expresar su reconocimiento a la Doctora Blanca Estela Margarita Buitrón Sánchez, del Departamento de Paleontología, que sugirió el tema de estudio y dirigió la investigación, mostrando un gran interés durante su desarrollo y haciendo valiosos comentarios que el autor agradece sinceramente.

No menos gratitud se expresa al Dr. Emilio Almazán Vázquez y al Dr. Juan José Palafox del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, el haber recolectado el material fósil que sirvió de base para la elaboración de esta tesis.

Mi agradecimiento a los sinodales Dra. Silvia Elizabeth Rivera Olmos, Dr. Jorge Nieto Obregón, Mtros. Emiliano Campos Madrigal y Noé Santillán Piña quienes leyeron críticamente el manuscrito e hicieron sugerencias que lo mejoraron.

La presente investigación se realizó en el marco de los Proyectos DGAPA PAPIIT Núm. IN105012, CONACYT Núm. No.165826 y ECOS Francia-México No. M13-U01

**CONTENIDO**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
OBJETIVOS .....	9
HIPÓTESIS .....	10
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	11
POBLACIÓN.....	11
FISIOGRAFÍA.....	13
CLIMA.....	15
HIDROGRAFÍA.....	16
FLORA ACTUAL .....	16
FAUNA ACTUAL .....	16
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
<i>ACTIVIDADES DE CAMPO .....</i>	<i>17</i>
<i>ACTIVIDADES DE GABINETE .....</i>	<i>17</i>
<i>ACTIVIDADES DE LABORATORIO .....</i>	<i>17</i>
<b>MARCO GEOLÓGICO .....</b>	<b>18</b>
CARÁCTERÍSTICAS DEL PHYLUM ECHINODERMATA .....	29
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA DE LOS CRINOIDES .....	35
CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS .....	41
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>ILUSTRACIONES DE LOS EJEMPLARES.....</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CITADA .....</b>	<b>47</b>

## ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa donde se muestra las localidades con crinoides del Paleozoico Tardío de México.....	7
Figura 2. Mapa que muestra la localización geográfica de Sonora y de las localidades fosilíferas estudiadas.....	10
Figura 3. Mapa de distribución de la población.....	11
Figura 4. Mapa de las provincias fisiográficas de Sonora.....	14
Figura 5. 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.....	18
Figura 6. Vista panorámica de la Sierra Las Trincheras.....	20
Figura 7. Vista panorámica de la Sierra Agua Verde.....	21
Figura 8. Columna estratigráfica en el arroyo La Joya de la Formación La Joya en la Sierra Agua Verde.....	22
Figura 9. Vista panorámica de Cerros El Tule.....	23
Figura 10. Columna estratigráfica de Los Cerros El Tule.....	25
Figura 11. Columna estratigráfica de la Sierra Las Mesteñas.....	27
Figura 12. Esquema de un crinoide con columna y teca y de una placa articular.....	32
Figura 13. Fotografías de las placas articulares de las especies descritas.....	44
Figura 14. Cuadro estratigráfico de la nomenclatura del Carbonífero.....	41

## RESUMEN

En esta investigación se presenta la información actualizada, que se tiene hasta el momento, sobre los estudios y consideraciones estratigráficas de los crinoides fósiles que proceden de varias localidades fosilíferas del Paleozoico Superior de Sonora, entre ellas, la Sierra Las Trincheras (Misisípico), la Sierra Agua Verde (Pensilvánico), Cerros El Tule (Pensilvánico) y la Sierra Las Mesteñas (Pensilvánico).

La Sierra Las Trincheras se localiza aproximadamente a unos 35 km al SE de la Ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora, donde se encuentra expuesta una secuencia carbonatada que se depositó en un ambiente de plataforma durante el Misisípico y sus afloramientos están conformados por estratos gruesos de caliza, que contienen crinoides de las morfoespecies *Gilbertocrinus aequalis* Moore y Jeffords, 1968 reportada del Misisípico de Kentucky, EUA, así como *Rhysocamax cristata* Moore y Jeffords, 1968 reportada para Iowa, EUA. En este trabajo se describen por primera vez para México.

La Sierra Agua Verde se ubica a unos 110 km, al noreste de Hermosillo. Se caracteriza litológicamente por la presencia de caliza y lutita cuyo contenido faunístico es abundante y variado. Las morfoespecies de crinoides corresponden a *Pentadirica simplicis* Moore y Jeffords, 1968, *Pentagonopternixin scultus* Moore y Jeffords, 1968, *Cylindrocauliscus fiski* Moore y Jeffords, 1968, *Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum laeve* Moore y Jeffords, 1968, *Heterosteichus keithi* Moore y Jeffords, 1968 y *Cycloscapus laevis* Moore y Jeffords, 1968 que han sido citadas del Pensilvánico de Kansas y Texas, EUA.

Los cerros El Tule se localizan en la proximidad del rancho del mismo nombre que se ubica a 35 km al NE de la ciudad de Cananea, Sonora. En las calizas se encontraron numerosas columnas y placas articulares de crinoides de las morfoespecies *Cyclocrista martini* Moore y Jeffords, 1968, *Heterosteichus keithi*, Moore y Jeffords, 1968, *Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum laeve* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968, citadas del Pensilvánico (Virgiliano y Desmoinesiano) de Texas, EUA.

La Sierra Las Mesteñas se halla en el municipio de Fronteras, Sonora, al sur de la ciudad de Agua Prieta y a unos 200 km. al noreste de Hermosillo, los estratos corresponden a caliza masiva y caliza arcillosa que contiene numerosas placar articulares y columnas de crinoides de las morfoespecies como *Cylindrocauliscus fiski* Moore y Jeffords, 1968 y *Heterosteichus keithi* Moore y Jeffords, 1968. Las morfoespecies fueron anteriormente descritas para el Pensilvánico de Texas, EUA.

## INTRODUCCIÓN

Las rocas sedimentarias del Paleozoico son escasas en el Territorio Nacional en relación con la presencia de rocas del Mesozoico y Cenozoico. Sin embargo, en el Estado de Sonora existen afloramientos cuya edad se extiende desde el Precámbrico al Cuaternario, particularmente sobre el Paleozoico sedimentario del Estado de Sonora se han publicado en los últimos años, numerosos trabajos sobre la diversa y abundante biota que está representada por algas, foraminíferos, esponjas, arqueociatos, briozoarios, corales, braquiópodos, moluscos, equinodermos, graptolites, conodontos y trilobites (Buitrón, 1992). Posteriormente en la década de los noventa, se descubrió que la presencia de crinoides en diversas localidades del Paleozoico Superior de Sonora ofrecía la posibilidad de su estudio con el fin de contribuir al conocimiento más preciso de la edad de las rocas que los contienen (Figura 1).

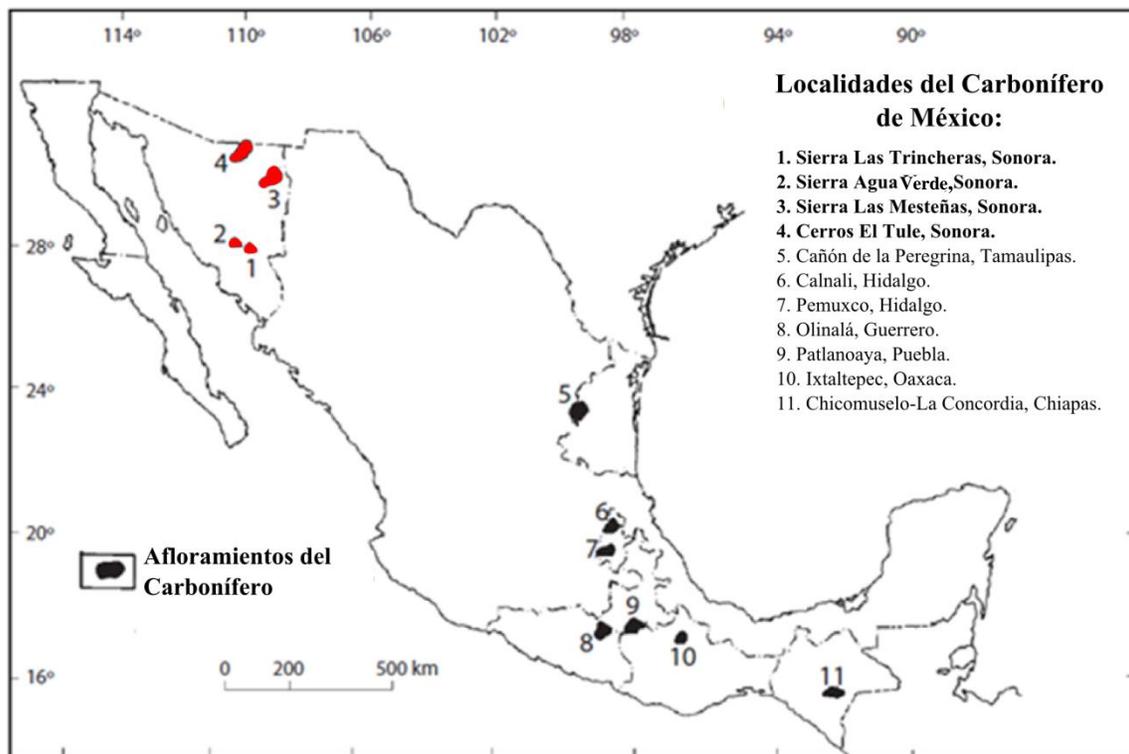


Figura 1. Mapa donde se muestra las localidades con crinoides del Paleozoico Tardío de México y del Estado de Sonora (Modificado de Buitrón *et al.*, (2008)).

## TRABAJOS PREVIOS

Las primeras investigaciones sobre el Paleozoico de México se atribuyen a Aguilera, (1896), Boese (1905) y Angermann (1906). Particularmente, las rocas del Paleozoico Superior del Estado de Sonora han sido estudiadas por Ransome (1904), Taliaferro (1933), Cooper y Arellano (1946), Brunner (1975), Viveros (1965);González-León (1982, 1986) Stewart *et al.*, (1983), Ávila (1987), Stewart *et al.*, (1990); Buitrón, (1992), Mendoza *et al.*, Pérez-Ramos (1992, 1999, 2002); Almazán *et al.*, (2005), Buitrón *et al.*, (2005); Almazán *et al.*, (2007); Buitrón *et al.*, (2007), Buitrón *et al.* (2003a, b)

El estudio de los restos de crinoides es importante, por su aplicación en el conocimiento de la bioestratigrafía, paleoecología y paleogeografía, debido a la extraordinaria abundancia de las placas articulares, columnas y tecas en los afloramientos y a su rápida evolución durante el Paleozoico, se consideran fósiles índices.

Recientemente Stiller (2000) y Donovan (2001) han publicado sobre la utilización de los crinoides disociados en fragmentos de la columna y placas articulares que presentan características morfológicas las que permiten su clasificación. La clasificación para columnas de crinoides se llevó a cabo por Yeltysheva (1956), Stukalina (1966, 1988) y Moore y Jeffords (1968). Históricamente, la más antigua se utilizó en Asia, y después en Norte América.

## OBJETIVOS

Los principales objetivos de la investigación propuesta son los siguientes:

### Generales

1. Establecer la relación de los crinoides Misisípicos y Pensilvánicos de México, con respecto a faunas del Carbonífero documentadas en otras localidades del mundo y complementar los datos con la biota asociada (fusulínidos, braquiópodos, briozoarios y conodontos).
2. Ubicar cronoestratigráficamente las unidades de las rocas del Misisípico y Pensilvánico para obtener más información de la estratigrafía y composición faunística del Paleozoico

del norte de México y reconstruir con mayor certidumbre la historia geológica del noroccidente de México.

3. Conocer parte de los fenómenos tectonoestratigráficos a través de la información bioestratigráfica obtenida y las aportaciones de especialistas que trabajan en la región para ayudar a modelar la evolución geológica de las áreas de estudio.
4. Contribuir al conocimiento integral del Paleozoico Superior sedimentario del estado de Sonora.

### **Particulares**

- 1) Reunir, limpiar y preparar para su identificación los fósiles de crinoides del Misisípico-Pensilvánico de las secuencias sedimentarias de la Sierra Las Trincheras, Sierra Agua Verde, Sierra Las Mesteñas y los cerros El Tule del estado de Sonora.
- 2) Estudiar los crinoides desde el punto de vista de su actualización sistemática.
- 3) Establecer su correlación estratigráfica con el Misisípico-Pensilvánico de otras localidades de México y de la Provincia del Continente Medio Americano y Euroasiático-Ártico.
- 4) Reconstruir el paleoambiente en el que se desarrolló la biota.

### **HIPÓTESIS**

- 1) Se consideró que el contenido biótico fósil que caracteriza a las regiones de estudio, se encuentra constituido principalmente por algas, esponjas, foraminíferos, corales, braquiópodos, briozoarios, moluscos y crinoides por su presencia en otras localidades del Paleozoico Superior de Sonora, de otras localidades de México y de la Provincia del Continente Medio Americano y Euroasiático-Ártico.
- 2) La mayoría de los restos fósiles se encontrarán *in situ* provenientes de mares someros tropicales.

## LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El estado de Sonora se localiza al noroeste de la República Mexicana, está limitado al norte con Estados Unidos de América, al este con el Estado de Chihuahua, al sureste con el Estado de Sinaloa y al Oeste con el Golfo de California. Sus coordenadas geográficas son al norte  $32^{\circ}29'$ , al sur  $26^{\circ}18'$  de latitud. El estado de Sonora tiene una superficie de 185, 492  $\text{km}^2$ , los cuales representan el 9.2% de la superficie del país y lo ubica entre las entidades de mayor tamaño, el segundo en el Territorio Nacional (Figura 2).

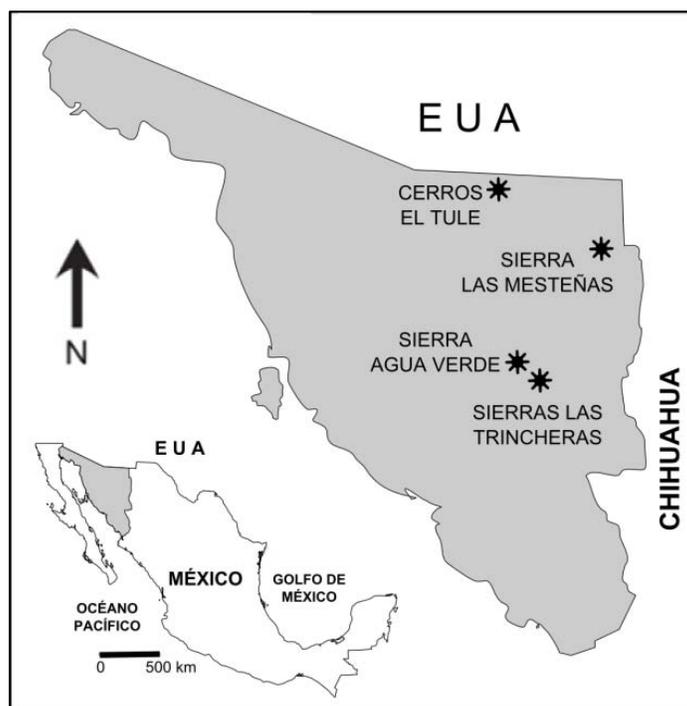


Figura 2. Mapa que muestra la localización geográfica de Sonora y de las localidades fosilíferas estudiadas.

## POBLACIÓN

El estado de Sonora cuenta con una población de 2'662,480 habitantes, de los cuales 1'322,868 son mujeres y 1'339,612 son hombres. Esta población representa el 2.37 % del total de la población de México de acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010 (Figura 3) (<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?src=487&e=26>).

Índice de dispersión de la población por municipio, 2000  
Estado de Sonora

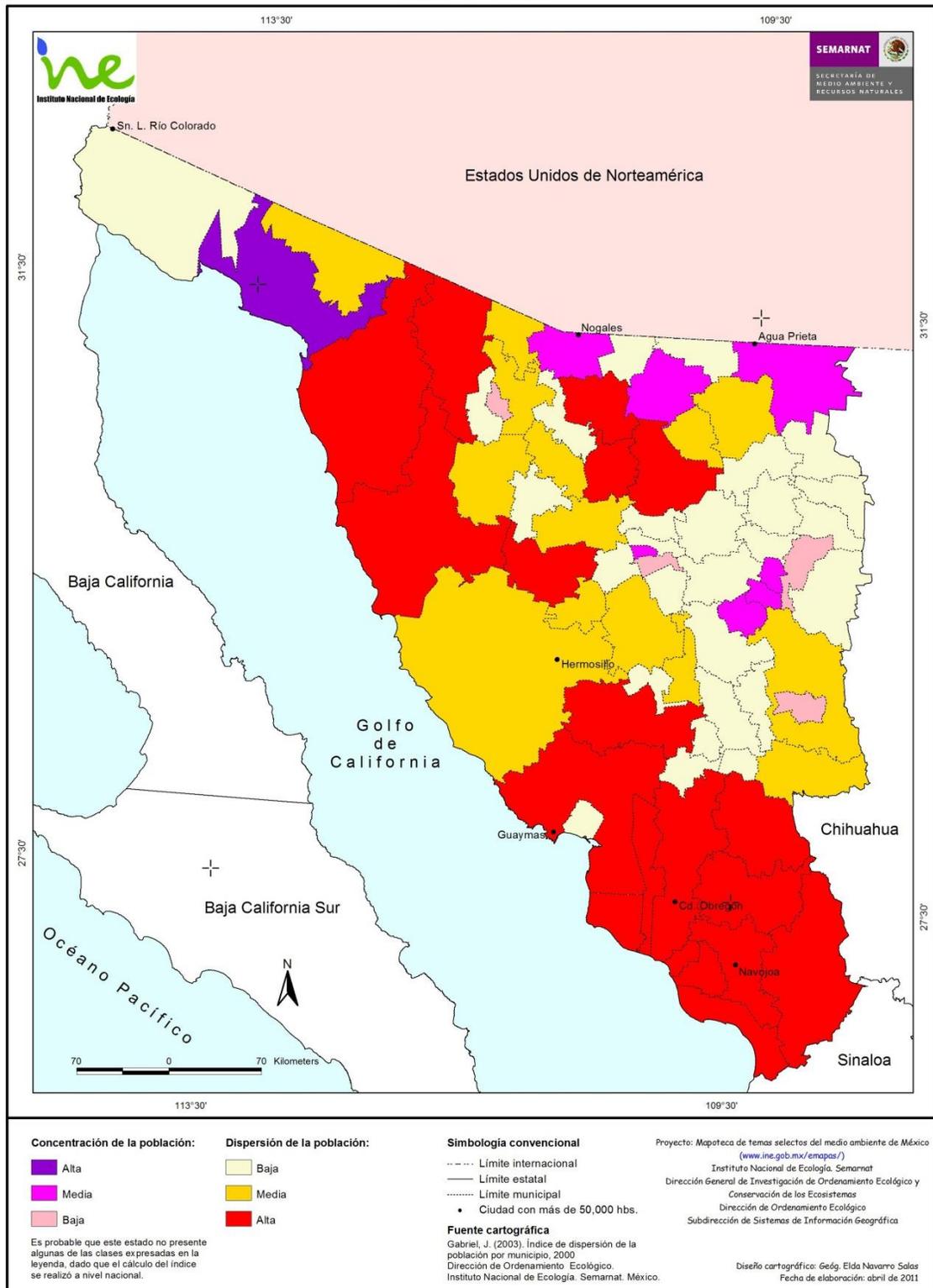


Figura 3. Mapa de distribución de la población (INEGI, 2011)

## **FISIOGRAFÍA**

El territorio del estado de Sonora está comprendido dentro de cuatro provincias fisiográficas, la Provincia de la Sierra Madre Occidental, la Provincia de Llanuras Sonorenses, la Provincia de Sierras y Llanuras del norte y la Provincia de Llanura Costera del Pacífico (Figura 4).

### **Provincia Sierra Madre Occidental (Trincheras y Sierra Agua Verde)**

Las Sierras Trincheras y Agua Verde se encuentran situadas en la provincia Sierra Madre Occidental y en la Subprovincia Sierras y Valles del Norte (INEGI 1999).

### **Subprovincia Sierras y Valles del Norte**

El área que cubre la subprovincia en territorio sonorense es de 32,688.84 km<sup>2</sup>. Abarca totalmente los municipios de: Cucurpe, Arizpe, Cumpas, Huásabas, Bacoachi, Banámichi, Huépac, San Felipe de Jesús, Aconchi, Baviácora, Moctezuma, Granados y San Javier; además incluye parte de los de: Nogales, Ímuris, Cananea, Fronteras, Nacoziari de García, Villa Hidalgo, Opodepe, Rayón, Divisaderos, Tepache, San Pedro de la Cueva, Villa Pesqueira, Soyopa, La Colorada, Cajeme y Rosario (INEGI 1999).

Esta región está formada principalmente por sierras entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación norte-sur. La altitud de los sistemas montañosos decrece hacia el sur, de tal forma que al Este de Cananea se localiza la mayor altitud, con 2,620 msnm; al Norte de Mazocahui gran parte de las elevaciones exceden los 1,000 msnm, mientras que al sur de esta población la mayoría de las cimas quedan por abajo de esa altitud (INEGI 1999).

En las sierras dominan las rocas volcánicas ácidas, sin embargo, un cuerpo ígneo intrusivo aflora desde la sierra Los Locos hasta Mazatán y Nácori Grande, pasando por Mazocahui. En los valles abundan los materiales sedimentarios continentales (conglomerados del Terciario). En los valles ubicados al occidente fluyen los ríos San Miguel de Horcasitas y Sonora; mientras que el Moctezuma y el Bavispe, ambos afluentes del Yaqui, corren por los valles orientales (INEGI 1999).

### **Provincia Sierra y Llanuras del Norte**

Los Cerros El Tule y la Sierra Las Mesteñas están situados en la Provincia Sierras y Llanuras del Norte y en la Subprovincia Llanuras y Médanos del Norte (INEGI 1999).

### **Subprovincia Llanuras y Médanos del Norte.**

La Subprovincia tiene una superficie de 7,316.07 km<sup>2</sup>, que corresponde a partes de los Municipios de Nogales, Santa cruz, Imuris, Cananea, Naco (Cerros El Tule), Fronteras (Sierra Las Mesteñas), Agua Prieta y Bavispe. Esta zona a diferencia del resto de la subprovincia está formada por extensos valles aluviales entre los cuales se intercalan algunas sierras. Asimismo, en el límite con Chihuahua se localiza un sistema de topofomas denominado bajada. Predominan las rocas sedimentarias, aunque también se encuentran pequeños afloramientos de rocas ígneas intrusivas silíceas como en el Sierra El Chivato (INEGI 1999) (Figura 4).

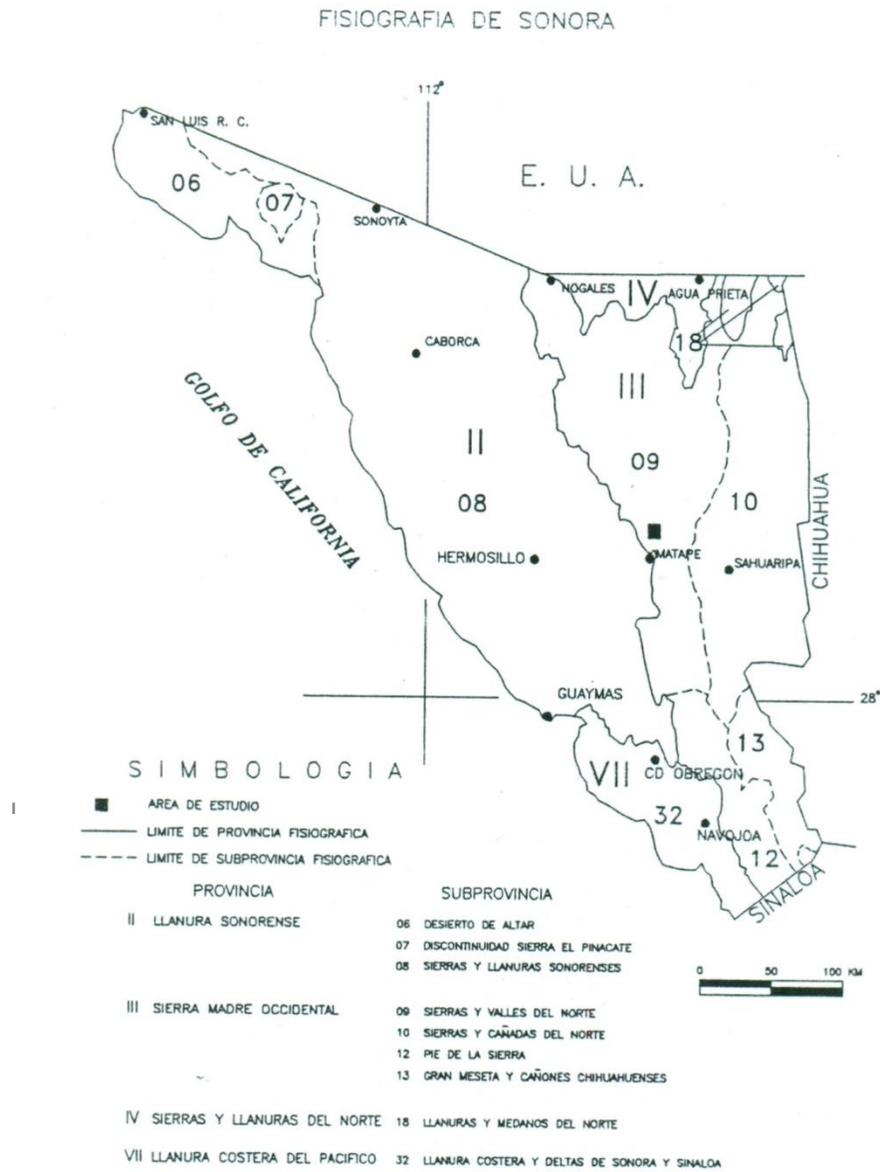


Figura 4. Mapa de las provincias fisiográficas de Sonora(INEGI, 1999).

## CLIMA

El clima del estado de Sonora 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 12.2° C (García, 1973).

## **HIDROGRAFÍA**

El río Sonora drena la región del noreste al suroeste, siendo sus principales afluentes los arroyos Sunibiate, Morales, La Cañada y Topah en la margen norte y La Estancia, Lovenaya y El Gavilán en el sur. El área de estudio solo presenta corrientes intermitentes, así como un manantial de tipo perenne (INEGI, 1985).

## **FLORA ACTUAL**

La vegetación está representada por plantas caducifolias que se encuentran desde los 400 hasta los 1600 msnm con áreas de pastizales inducidos. Esta flora se compone de árboles inferiores a los 15 metros de altura, donde no existe disturbio, tiene una cubierta vegetal densa y uniforme que por lo común no presenta estratos arbustivos o herbáceos (INEGI 1985). Las especies características de la región consisten en anona (*Annona reticulata*), balsa (*Lagenaria natans*), capiro (*Sideroxylon capiri*), cascalote (*Caesalpinia caloca*), cuajilote (*Parmentiera edulis*), cueramo (*Cordia* sp.), encino (*Quercus* sp.), huizache (*Acacia hindsii*), mezquite (*Prosopis juliflora*), zacate (*Sporobolus argutus*), zacatón (*Sporobolus wrightii*) (INEGI 1999).

## **FAUNA ACTUAL**

Entre las múltiples especies de animales que existen en la región, se encuentran las siguientes: coyote (*Canis latrans*), zorra (*Vulpes cinereo-argenteus*), venado de cola blanca (*Cariacus virginianus*), tejón (*Procyon lotor* y *Nasua narica*), zorrillo (*Mephitis mephitis*), conejo (*Lepus sylvaticus*), ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), ardilla de árbol (*Sciurus variegatus*), así como víbora de cascabel (*Crotalus polystictus* y *Crotalus tigris*), puma (*Felis concolor*), onza real (*Felis onca*) y trigrillo (*Felis na*) (INEGI 1985).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***ACTIVIDADES DE CAMPO***

Los crinoides fueron recolectados en las diversas localidades por la paleontóloga Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez del Instituto de Geología, UNAM y los doctores geólogos Emilio Almazán Vázquez y Juan José Palafox Reyes profesores-investigadores del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, quienes lo cedieron al autor de esta tesis.

### ***ACTIVIDADES DE GABINETE***

Se procedió a realizar la recopilación bibliográfica en la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra de la UNAM. Las principales publicaciones básicas para llevar adecuadamente la investigación fueron: sobre la paleontología el trabajo de Moore y Jeffords (1968), los números correspondientes al estudio de los crinoides publicado en la serie Treatise on Invertebrate Paleontology "*Echinodermata 2 Parte T, vol. 1,2, 1978 Moore (editor)*". En relación a los estudios de los crinoides de México se consultaron las publicaciones de Buitrón (1977); Buitrón *et al.* (1987, 1998; 2003, 200, 2006, 2008, 2015).

### ***ACTIVIDADES DE LABORATORIO***

La limpieza del material se hizo en el Laboratorio del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología de la UNAM. Los sedimentos fueron removidos con agua y cepillos dentales, cepillos con cerdas de alambre y agujas de disección. Se utilizó un microscopio estereoscópico con el cual se observaron las características de las muestras con el objeto de identificar géneros y especies de ejemplares de crinoides. Se tomaron fotografías de los fósiles.

## MARCO GEOLÓGICO

Durante el Paleozoico Tardío, el territorio de Sonora, se ubicó al suroeste del Continente de Laurentia y al sur del Ecuador. 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 conformaron en las márgenes de Norte América, el primero, al sureste, fue originado por la Orogenia Apalachiana-Ouachita-Maratón a causa de la colisión entre Gondwana y Laurentia, mientras que el segundo cinturón se desarrolló hacia el oeste y suroeste de Norte América; 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, 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 las secuencias del Paleozoico Superior representadas por los complejos de subducción y acrecionarios (Miller, *et al.*, 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 (Miller, *op.cit*, Ross, 1962, Ross y Ross, 1983).

De acuerdo con Poole y Madrid (1988); Poole y Rivera (1988) Poole *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 (1979) reporta que el Megashear 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 5).

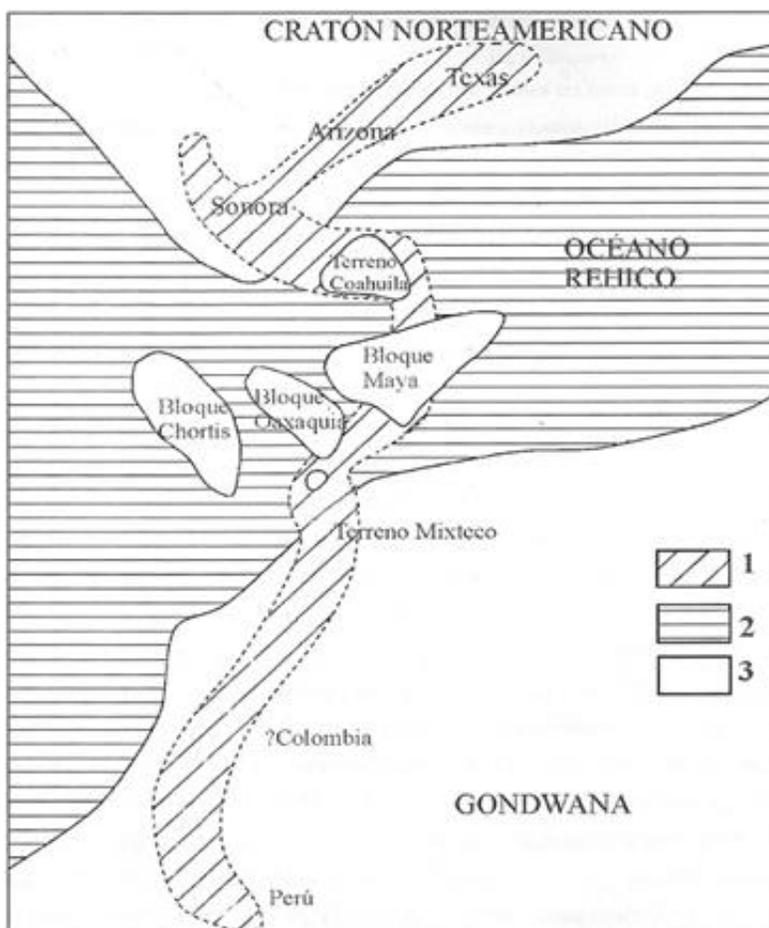


Figura 5. Reconstrucción paleogeográfica donde se muestra la conexión entre Sonora, el cratón norteamericano (Arizona, Texas) y el dominio sudamericano a través de diferentes terrenos mexicanos: Coahuila, Maya, Oaxaquia y Mixteco. 1 plataformas carbonatadas, 2 cuencas de flysch, 3 islas y continentes (Gómez *et al.*, 2008).

Los trabajos de geología regional, paleontológicos, paleomagnéticos, estructurales, estratigráficos y de análisis de terrenos tectónico-estratigráficos que se han efectuado en Sonora han aportado datos muy valiosos, pero los estudios de carácter sedimentológico y paleontológico no se han realizado con la profundidad que éstos ameritan, por lo que un

análisis más profundo de las secuencias sedimentarias del Paleozoico Superior y su contenido biótico, sobre estas regiones debe de ser llevado a cabo, puesto que con este tipo de estudios se estará aportando una serie de datos que contribuirán a dilucidar la historia de la evolución premesozoica de la región.

### **PALEOZOICO DE LA REGIÓN CENTRO-ORIENTE.**

En la región centro-oriente se presentan facies sedimentarias, una de ellas eminentemente calcárea de plataforma y la otra silíceo-clástica de cuenca (Ochoa y Sosa, 1993). Las secuencias calcáreas tienen afloramientos de rocas cuyas edades varían desde el Cámbrico al Pérmico Superior, con escasos afloramientos de rocas del Silúrico y Devónico Inferior (Stewart y Poole, 2002).

### **SIERRA LAS TRINCHERAS**

El rasgo orográfico, denominado Cerro Las Trincheras, tiene una orientación franca noroeste-sureste y las coordenadas de la localidad son 29°03'35" de latitud norte y 110°35'55" de longitud oeste (figura6).

Las rocas predominantes corresponden a calizas en estratos gruesos a masivos, de color gris azulado, textura gruesa, parcialmente recristalizadas y contaminadas con cuerpos irregulares y nódulos de pedernal. La columna bioestratigráfica expone un espesor de 85 m (dicha columna está en proceso de publicación). Por procesos de silicificación un gran número de ejemplares fósiles han sido bien conservados, entre ellos corales solitarios y fragmentos de columnas y placas articulares de crinoides de las morfoespecies *Rhysocamax cristata* reportada para Iowa y *Gilbertsoncrinus aequalis* para Kentucky, Estados Unidos de Norteamérica, Moore y Jeffords, 1968 las refiere para el Misisípico Inferior (Osagiano).



Figura 6. Vista panorámica de la Sierra Las Trincheras (Tomada de <http://turismo.mexplora.com/category/atractivos-turisticos-de-mexico-por-estado/atractivos-turisticos-de-sonora/page/2/>)

### **SIERRA AGUA VERDE**

La Sierra Agua Verde se encuentra entre las coordenadas  $29^{\circ} 17'45''$  a  $29^{\circ}08'' 37''$  de latitud norte y  $109^{\circ} 56'24''$  a  $109^{\circ} 47' 09''$  de longitud oeste (Figura 7). Se caracteriza litológicamente por la presencia principalmente de calizas y lutitas cuyo contenido faunístico es abundante y variado. La biota fósil procede de las rocas calizas y lutitas de la Formación La Joya, que forman parte de la Sierra Agua Verde, con un espesor aproximadamente de 294 m. El contacto inferior se encuentra concordante con la Formación Santiago y el contacto superior por falla con la Formación Tuntunudé (Figura 8).

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, donde se observan 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 *Thamniscus*, del braquiópodo *Neospirifer* y de la esponja coralina *Chaetetes* del Pensilvánico Medio.

Las morfoespecies de crinoides corresponden a *Cyclocaudex insaturatus* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocrista martini* Moore y Jeffords, 1968, *Heterosteichus keithi*, Moore y Jeffords, 1968 *Lamprosterig mamirificum*, Moore y Jeffords, 1968 *Mooreantheris waylandensis* Moore y Jeffords, 1968, *Pentagonopterix rugosum* Moore y Jeffords, 1968, *Cycloscapus laevis* Moore y Jeffords, 1968 y *Pentadirica simplicis* Moore y Jeffords, 1968, las cuales han sido citadas del Pensilvánico de Kansas y Texas, EUA y algunas del Pensilvánico de Polonia.



Figura 7. Vista panorámica de la Sierra Agua Verde (Tomada por el Dr. Emilio Almazán Vázquez, Departamento de Geología, Universidad de Sonora).

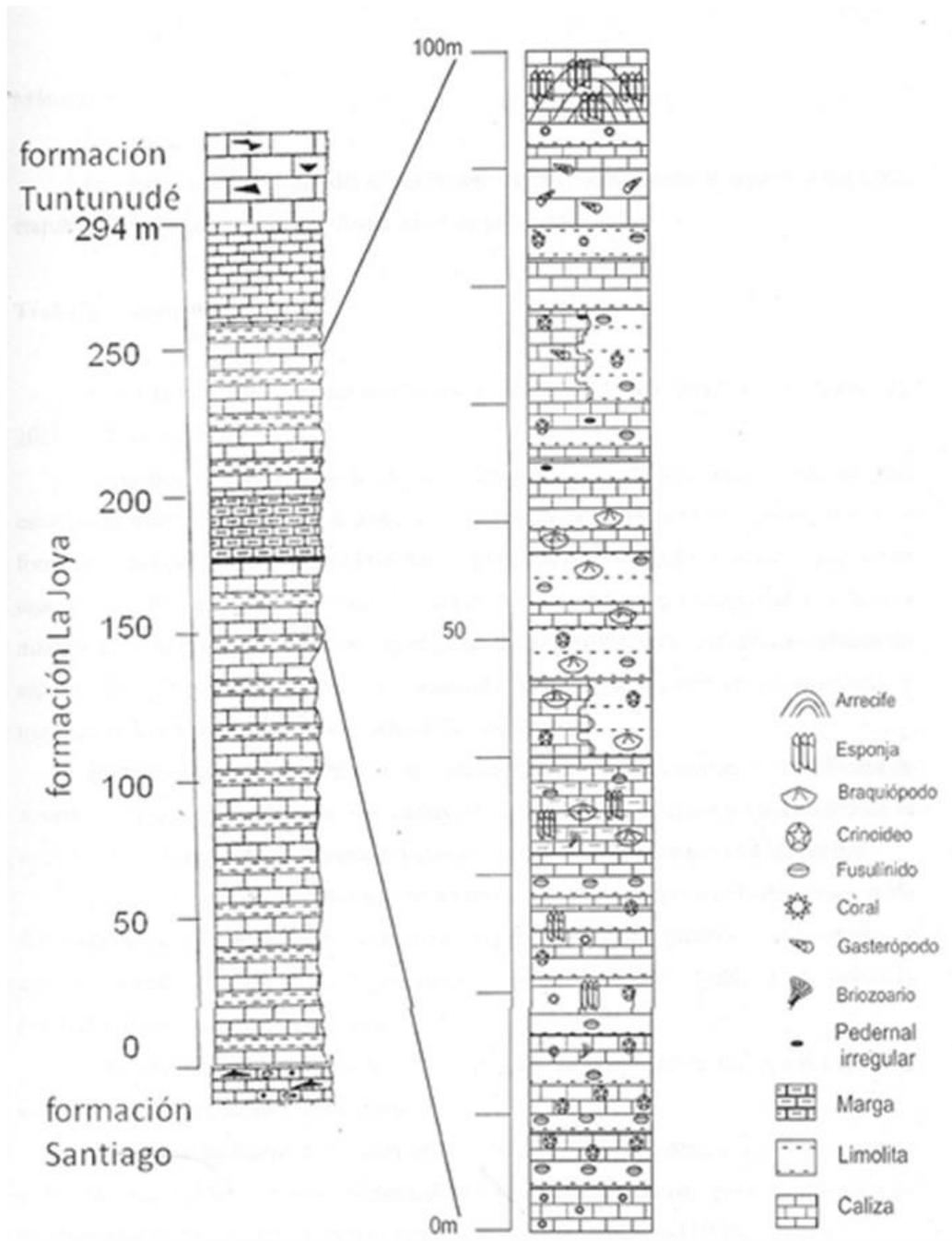


Figura 8. Columna estratigráfica en el arroyo La Joya de la Formación La Joya en la Sierra Agua Verde (Tomado de Ochoa y Sosa, 1993).

## EL PALEOZOICO DE LA REGIÓN NOR-ORIENTE DE SONORA.

El Paleozoico para esta región presenta facies de plataforma y varía en edad del Cámbrico Medio al Pérmico Temprano, con hiatos entre el Cámbrico Tardío al Devónico Temprano. En el área de Agua Prieta se inicia la deposición de la Cuenca Bolsa y Formación Abrigo del Cámbrico Medio al Tardío. Posteriormente, continúa la secuencia representada por las formaciones Martín Escabrosa, Horquilla y Grupo Naco del Devónico Medio al Pérmico Temprano, estudiadas por Ransome (1904), Taliaferro (1933) y Viveros (1965). En la Sierra de Teras, Imlay (1933) y Tovar (1968) estudiaron una secuencia calcárea del Misisípico Medio al Pérmico Temprano.

### **CERROS EL TULE**

Los cerros El Tule se localizan en la región noreste del Estado de Sonora, particularmente el rancho El Tule que se ubica a 35 km al NNE de la ciudad de Cananea con coordenadas latitud  $31^{\circ}17'$  y longitud  $110^{\circ}16'$  (Figura 9).



Figura 9. Vista panorámica de Cerros El Tule (Tomada de Sevilla, 2014).

La serie sedimentaria está predominantemente constituida por horizontes carbonatados sobre capas arcillosas con un espesor de 360 m, que representa la porción superior. En las calizas se hallaron numerosas columnas y placas articulares de crinoides de las especies *Lamprosterigma erathense* Moore y Jeffords, *Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocaudex jucundus* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocrista martini* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum laeve* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968, *Cycloscapus laevis* Moore y Jeffords, 1968, *Baryschir anosus* Moore y Jeffords, 1968, *Pentadirica rothi* Moore y Jeffords, 1968 y *Cyclocaudex costatus* Moore y Jeffords. Las rocas sedimentarias tienen una edad que varía desde finales del Misisípico hasta el Pérmico Inferior. El conjunto fósil se caracteriza por su contenido de escasas esponjas coralinas (*Chaetetes*), abundantes braquiópodos espiriféridos y productidos y escasos terebratulidos y escasos gasterópodos, abundantes columnas y placas columnares de crinoides. En algunos horizontes carbonatados se hallan fusulínidos como *Badeina* y *Triticites primarius* que indican una edad del Virgiliano (Figura 10).

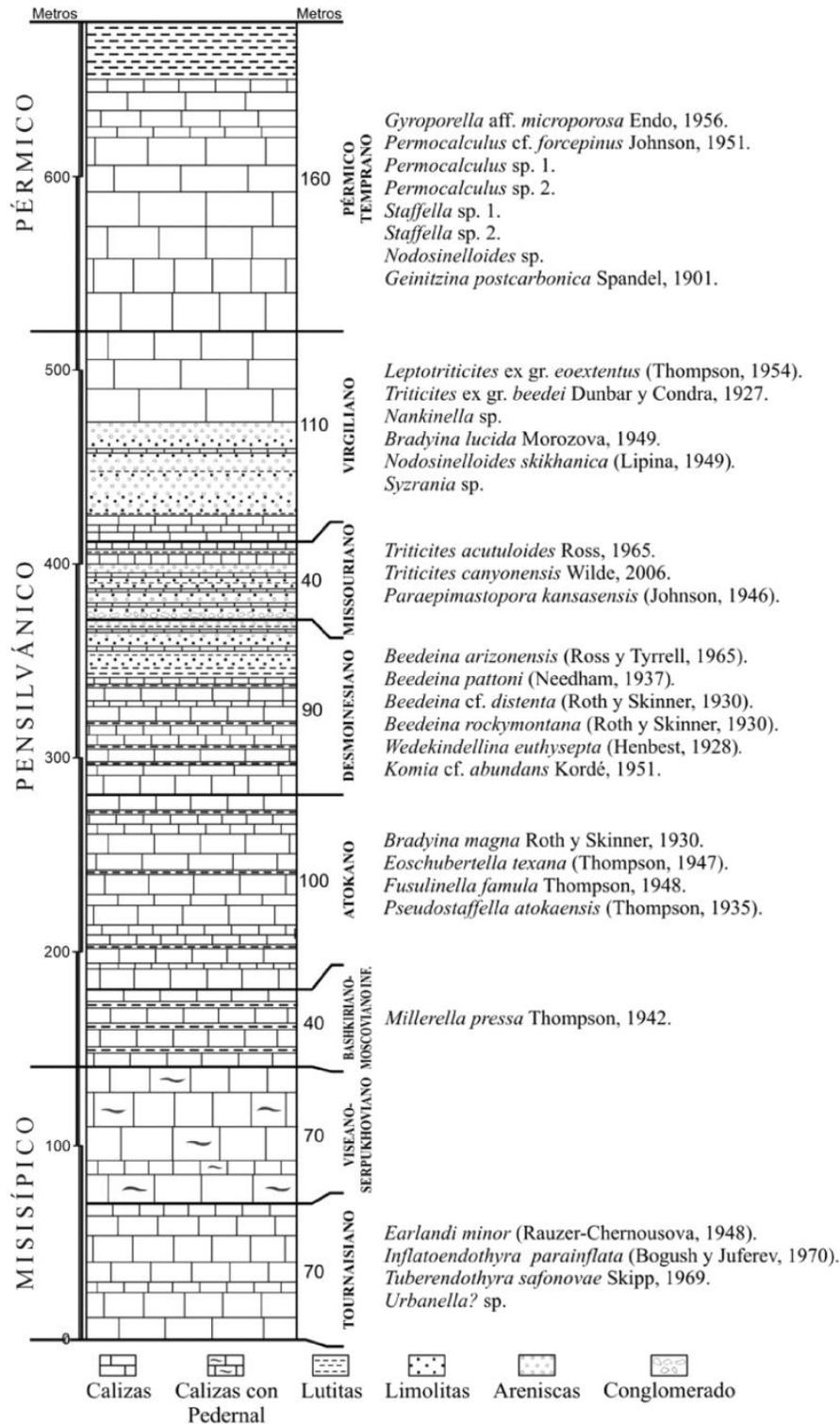


Figura 10. Columna estratigráfica de Los Cerros El Tule (Tomada de Buitrón *et al.*, 2012)

## SIERRALAS MESTEÑAS

En la región nororiental de los Cerros Las Mesteñas con coordenadas 31° 01'30" de longitud oeste, se encuentra expuesta una columna estratigráfica de 1600 metros de rocas (Figura 11).

La región en donde se encuentran Los Cerros Las Mesteñas está formada principalmente por sierras entre las cuales se localizan amplios valles paralelos con orientación norte-sur. La altitud de los sistemas montañosos decrece hacia el sur, de tal forma que en la sierra Los Ajos, al este de Cananea, Sonora, se localiza la mayor altitud, con 2 620 m; al norte de Mazocahui gran parte de las elevaciones exceden los 1, 000 msnm, mientras que al sur de esta población la mayoría de las cimas quedan por abajo de esa altitud.

En la sierra dominan las rocas volcánicas ácidas, sin embargo, un cuerpo ígneo intrusivo aflora desde la sierra Los Locos hasta Mazatán y Nácori Grande, pasando por Mazocahui. En los valles abundan los materiales sedimentarios continentales (conglomerados del Neógeno); en los ubicados al occidente fluyen los ríos San Miguel de Horcasitas y Sonora; el Moctezuma y el Bavispe, ambos afluentes del Yaqui, corren por los valles orientales.

En la caliza masiva y arcillosa se recolectaron numerosas placas articulares y columnas de crinoides de las morfoespecies *Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocaudex plenus* Moore y Jeffords, 1968, *Cyclocrista martini* Moore y Jeffords, 1968, *Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968 y *Heterostelechus texanus* (Moore y Jeffords, 1968).

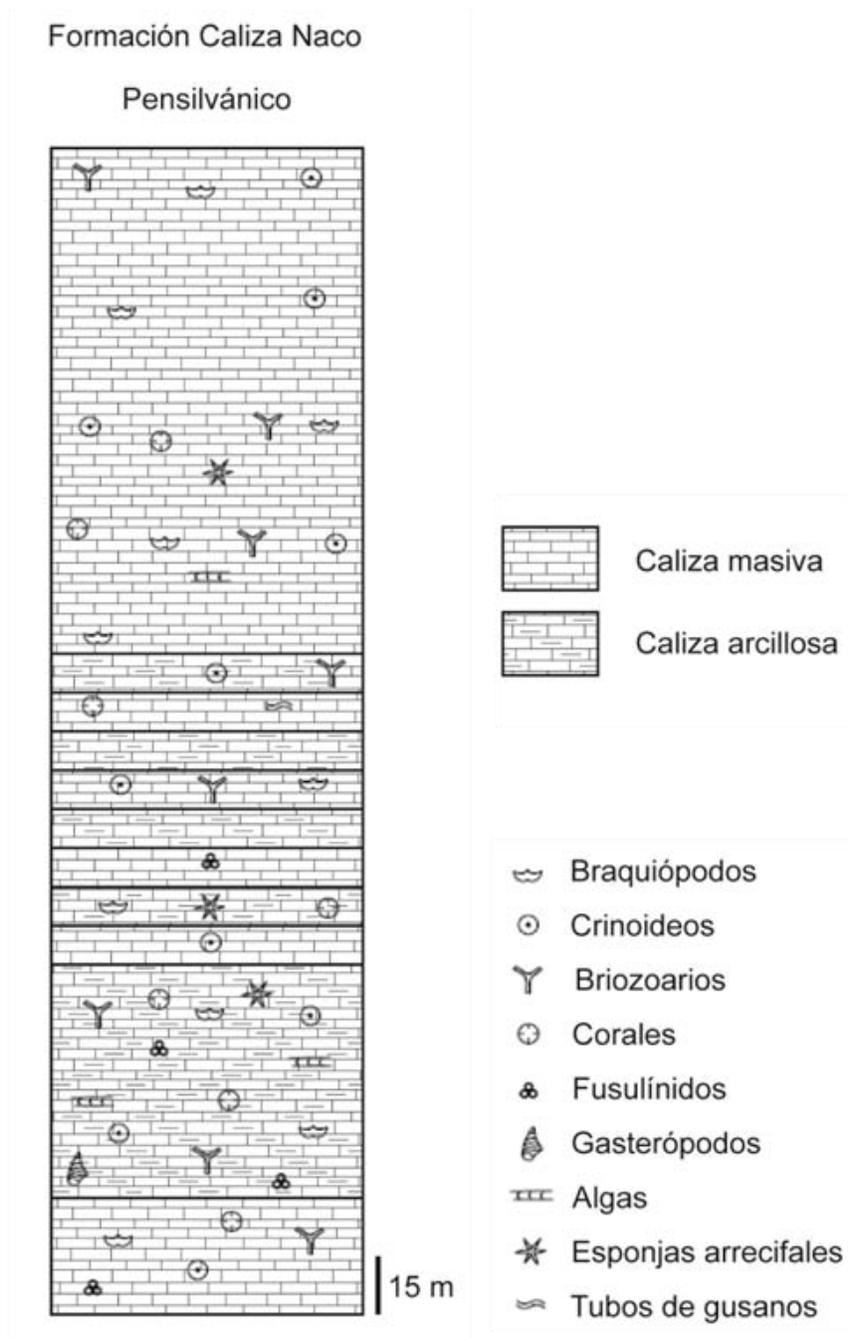


Figura 11. Columna estratigráfica de la Sierra Las Mesteñas

## **CARACTERÍSTICAS DEL PHYLUM ECHINODERMATA**

Los equinodermos son invertebrados celomados, deuterostomados, con la piel cubierta por espinas. El grupo comprende en la actualidad aproximadamente 6000 especies, agrupadas en cinco clases: Crinoidea, Holoturoidea, Echinoidea, Asteroidea y Ophiuroidea. Hay además muchos grupos extintos que desaparecieron antes del final del Paleozoico (Machaeridea, Homostelea, Stylophora, Homiostelea, Eocrinoidea, Paracrinoidea, Cystoidea, Parablastoidea, Blastoidea, Edrioblastoidea, Edrioasteroidea, Cyclocystoidea, Helicoplacoidea, Ophiocystioidea).

Los equinodermos son solitarios, marinos, bentónicos con excepción de algunos crinoides que pueden ser epiplanctónicos y nectónicos y las pelagoholoturias que son planctónicas. En la actualidad se han recolectado en los estuarios de los ríos, y en las lagunas con salinidad variable (Laguna Madre de Texas). Este fenómeno se interpreta como una tendencia adaptativa muy reciente, pues no se han encontrado fósiles del grupo asociados a faunas dulceacuícolas.

Tres rasgos fundamentales caracterizan a los equinodermos:

### ***I. SIMETRÍA RADIAL SECUNDARIA EN EL ESTADIO ADULTO***

Se manifiesta principalmente en la disposición del sistema ambulacral formado por cinco radios o ambulacros alternando con cinco inter radios o interambulacros, todos ellos dispuestos alrededor de la boca. Cuando los ambulacros están arreglados según meridianos, la forma del equinodermos es globular o cilíndrica como sucede en los equinoideos y holoturoideos, pero si los ambulacros se desarrollan más que los interambulacros la forma que resulta es la de una estrella típica, como sucede en los asteroideos. La simetría radial en el estadio adulto es una adquisición secundaria, ya que las diferentes larvas (dipleurula, auriculariabipinaria y pluteus) de las que proceden los equinodermos presentan una primitiva simetría bilateral; dicha simetría se desarrolla a expensas del lado izquierdo del hidrocele, que experimenta un giro situándose en un plano horizontal en lugar del plano vertical inicial, con el desplazamiento de la boca hasta la cara superior en que se encuentra el ano, formándose así cinco radios equidistantes, con la consecuente atrofia del lado

derecho y como resultado es la simetría radial secundaria que presentan los equinodermos actuales y la mayoría de los fósiles.

## ***II. PRESENCIA DE ENDOESQUELETO DE ORIGEN MESODÉRMICO***

Consiste en un conjunto de placas, espinas, espículas o cualquier osículo de calcita cristalina (estereoma) depositada en una red mesenquimatoso orgánica (estroma) formada por tejido no celular amorfo o fibroso con células conectivas y numerosas fibras nucleadas. La presencia del estereoma en los equinodermos le confiere cierta unidad al grupo ya que tiene cualidades distintivas que consisten en una microestructura y propiedades cristalográficas particulares, en que cada elemento se comporta como un cristal de calcita, fácilmente distinguible al microscopio aún en fragmentos muy pequeños, debido a la exfoliación espática romboédrica que caracteriza a este mineral. El esqueleto está cubierto por el ectodermo que en los organismos actuales presenta coloraciones vistosas.

La mayoría de los equinodermos actuales presentan esqueletos formados por placas, espinas y espículas (equinoideos, ofiuroideos y asteroideos) con excepción de los holoturoideos, cuyo esqueleto consiste únicamente en pequeñas espículas calcáreas, ampliamente distribuidas en las capas superficiales de la dermis. También hay evidencia de espinas en los grupos extintos. Las espinas tienen varias funciones entre ellas la de protección, locomoción, producción de corrientes, para cavar galerías y de protección a las formas juveniles.

## ***II. LA POSESIÓN DE SISTEMA VASCULAR ACUÍFERO***

Se llama comúnmente sistema Ambulacral o hidrocele que es único entre los invertebrados y consiste en un conjunto de canales que terminan en una serie de tubos eréctiles derivados del celoma, llamados pies ambulacrales por donde circula el agua de mar. Las funciones del sistema Ambulacral son variadas entre ellas, la locomoción, respiración, capturas de presas para la alimentación, creación de corrientes, como órganos sensoriales, entre otras funciones.

El Phylum Echinodermata comprende cuatro subphyla: Homalozoa que incluye las clases Homiostelea, Homostelea, Stylophora, éstas tres llamadas en conjunto Carpoideos y

posiblemente los Machaeridia, todos ellos extintos del Paleozoico. El Crinozoa que comprende las clases Crinoidea, Cystoidea, Edriblastoidea, Eocrinoidea, Prablastoidea, Paracrinoidea y Lepidocystoidea. El tercer Subphylum es el de los Asterozoa que comprende una sola clase la Steleroidea. El último Subphylum corresponde a los Echinozoa que comprende las clases Cyclocystoidea, Echinoidea, Echinocystoidea, Helicoplacoidea, Holoturoidea, Ophiocystoidea y Camptostromatoidea.

Los fósiles estudiados corresponden a placas sueltas y algunos fragmentos de las columnas de crinoides que se clasifican en el Subphylum Crinozoa y en la Clase Crinoidea.

### **SUBPHYLUM CRINOZOA**

El Subphylum se caracteriza por la presencia de simetría radial, pentámera, con teca globoide o piriforme provista de apéndices llamados braquiolas, cuya función es la de capturar alimento. Los Crinozoa viven fijos al fondo del mar por la parte aboral ya sea directamente o por medio de un pedúnculo que desarrollan. Todas las clases son extintas del Paleozoico con excepción de los Crinoides que continuaron hasta la actualidad. Antiguamente se les clasificaba dentro del Subphylum Pelmatozoa, pero se descartó esta categoría taxonómica porque se basa exclusivamente en un carácter evolutivo de adaptación ecológica, que aparece indistintamente en diversos grupos. El Subphylum Crinozoa comprende ocho clases: Blastoidea, Crinoidea, Cystoidea, Edriblastoidea, Eocrinoidea, Parablastoidea, Paracrinoidea y Lepidocystoidea.

### **CLASE CRINOIDEA (Miller, 1821)**

Es un grupo grande diversificado y bien caracterizado dentro de los Pelmatozoarios. Comenzaron en el Ordovícico y los hay en la actualidad, aun cuando su mayor desarrollo ocurrió en el Paleozoico, extinguiéndose la mayor parte a fines de esa era. Son habitantes de aguas profundas (batiales) y de zonas arrecifales, miden desde unos cuantos centímetros hasta 18 metros en algunas especies fósiles; presentan pedúnculo con el que se fijan formando “verdaderos jardines marinos” aun cuando hay formas libres como las estrellas plumosas. El pedúnculo de los crinoides está formado por discos calcáreos de contorno circular, pentagonal o poligonal en cuya superficie hay estrías que permiten un perfecto acoplamiento entre dos placas y así sucesivamente para formar la columna o tallo con

número variable de placas; la parte central del pedúnculo es hueca y en ella se alojan órganos vitales. El organismo está protegido por una teca, formada por dos partes el cáliz y el tegmen. El cáliz está constituido por placas calcáreas poligonales o rectangulares.

Las partes desarticuladas de los esqueletos de los crinoides son extremadamente abundantes como fósiles. En muchas formaciones estos restos fragmentarios son dominantes componentes de los depósitos y en adición su variabilidad morfológica es ilimitada. La abundancia de este material fósil significa, primero que las poblaciones de muchas clases de crinoides en las faunas marinas del pasado geológico fueron enormemente grandes y segundo que los tallos de los crinoides se desarticulaban fácilmente post mortem (Moore y Jeffords, 1968; Hess, et al., 1999).

Los crinoides fueron habitantes de mares someros durante sucesivas épocas y periodos y la historia de la Tierra, está testificada por el gran volumen de sus restos fragmentarios sobre todo en el Paleozoico a través de 250 millones de años hasta la gran extinción de finales del Paleozoico con el casi 95 % de la fauna y flora.

La desintegración de las partes esqueléticas es debida principalmente a la fragilidad de la epidermis que reviste a las estructuras que forman el endoesqueleto de los crinoides. Elementos individuales: brazos, teca y tallos están articulados por ligamentos, tejido muscular y por la epidermis que los rodea, todas estas conexiones consisten de sustancias orgánicas que se desintegran después de la muerte.

Las delicadas placas de las tecas del estadio post larvario de los crinoides y las columnas (tallos) ligeramente calcificados y también en los estadios del crecimiento de los adultos no están fuertemente unidas, consecuentemente la conservación de los especímenes completos con tallos, tecas y brazos son relativamente raros. Esta conservación está relacionada con las condiciones del enterramiento en el sedimento no afectado por la mecánica marina.

Es bien conocido que las características morfológicas de las columnas (tallos) son importantes en la identificación de géneros y especies con valor estratigráfico sobre todo en el Paleozoico. Estas placas presentan una ornamentación característica que permitió su clasificación a nivel específico. Los rasgos ornamentales consisten en estrías relativamente

salientes llamadas cúlmenes y surcos formados entre los cúlmenes nombrados crenulaciones, en la parte central existe un hueco de tamaño variable de forma circular, pentagonal o petaloide llamado lumen a su alrededor puede haber un reborde o perilumen. Entre el lumen y el crenulario puede presentarse una superficie lisa llamada areola, (Figura 12). Los Crinoidea se clasifican en cuatro Subclases: Flexibilia, Camerata, Articulata e Inadunata.

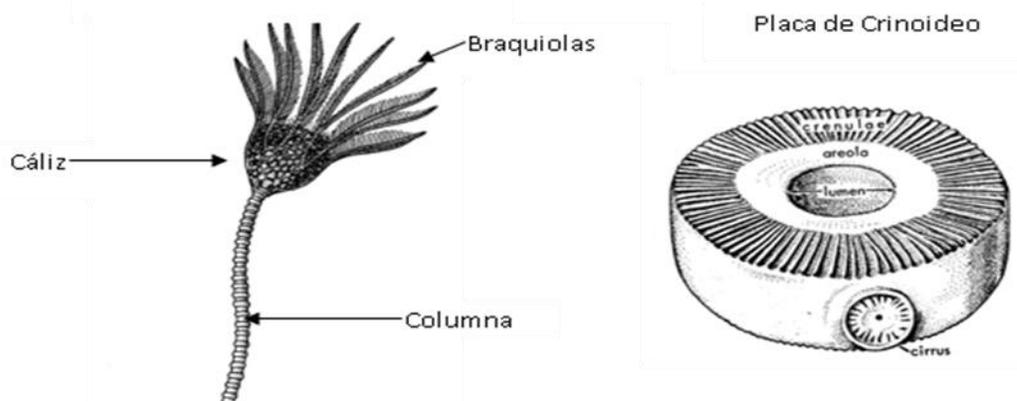


Figura 12. Esquema de un crinoide con columna y teca, y de una placa articular  
(Modificado de Hess, *et al.*, 1999)

### **Subclase Flexibilia. Ordovícico Medio-Pérmico Superior**

Son crinoides dicíclicos paleozoicos cuyo cáliz está formado por placas unidas por ligamentos dejando huecos entre sí, el tégmen es flexible y presenta la boca y los surcos ambulacrales externos, los brazos no presentan pínulas y están unidos al tégmen por medio de placas interbraquiales, son libres con la punta enrollada hacia adentro.

### **Subclase Camerata. Ordovícico Inferior-Pérmico Superior.**

Son crinoides monocíclicos o dicíclicos con las placas del cáliz firmemente unidas, el tégmen forma una cúpula que cubre la boca y los surcos ambulacrales. Estos organismos se extinguen a fines del Paleozoico.

### **Subclase Inadunata. Ordovícico Inferior-Pérmico Superior, Triásico Medio.**

Comprende crinoides con el cáliz pequeño, monocíclico o dicíclico formado por placas basales y radiales, presentan cinco brazos libres ya que las placas braquiales no forman parte del cáliz, la boca y los surcos ambulacrales son externos. El inter radio anal está muy desarrollado formando a veces un saco anal tan largo como los brazos. Son exclusivamente del Paleozoico. Columnas en sección transversal ampliamente circulares en el contorno, pero pueden ser pentagonales o subcirculares, pero no elípticas, algunas divididas longitudinalmente en secciones pentagonales. Alcance estratigráfico. Ordovícico Inferior-Triásico.

Los crinoides bentónicos fueron exitosos durante el Paleozoico Tardío, inclusive sus fragmentos que consisten en columnas y placas articulares son comunes en todo el mundo y, en algunos casos, representan los principales fósiles macrobentónicos en los estratos de muchas localidades (Gluchowski 2002).

No obstante, que en la mayoría de los afloramientos del Paleozoico Superior de México se encuentran placas articulares aisladas de crinoides, se consideran como fósiles índice pues muestran características distintivas en lapsos de tiempo geológico cortos y una distribución paleogeográfica amplia en el mundo y principalmente en Norteamérica.

Las descripciones sistemáticas de los géneros y especies de crinoides del Misisípico y Pensilvánico de las cuatro localidades estudiadas del Estado de Sonora se basaron en caracteres observados en restos desarticulados de las columnas. Se siguió la clasificación en subclases para grupos parataxonómicos como Pentameri, Elliptici y Cyclici propuestos por Moore y Jeffords (1968)

#### **Subclase Articulata. Triásico inferior-Reciente**

Comprende crinoides dicíclicos o pseudomonocíclicos, el cáliz es pequeño, formado por placas, basales y radiales que tienen superficies estriadas formando verdaderas articulaciones. Los brazos son libres numerosos y largos provistos de pinnulas. Presentan la abertura bucal y los surcos ambulacrales externos, la mayoría tiene pedúnculo aunque algunas formas fósiles y recientes carecen de él. Su alcance estratigráfico es Mesozoico-Reciente.

## RESULTADOS

### PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA DE LOS CRINOIDES (Según Moore y Jeffords, 1968)

Se identificaron por primera vez, dos especies del Misisípico de Sierra Las Trincheras y se revisaron nueve especies del Pensilvánico de Sierra Agua Verde. Las Mesteñas y Cerros El Tule. Los ejemplares fósiles estudiados se encuentran depositados en la Colección Paleontológica “*Emilio Almazán Vázquez*” del Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora, con siglas USON de Universidad de Sonora y DG Departamento de Geología con números de Catálogo del USDG23-USDG34.

PHYLUM ECHINODERMATA

CLASE CRINOIDEA (Miller, 1821)

SUBCLASE INCIERTA\*

ORDEN INCIERTA\*

\* *Nota. Por tratarse de placas aisladas de las columnas de los crinoides, no es posible su clasificación en algunas de las subclases establecidas en la Sistemática Tradicional del phylum Echinodermata, pues no se observa la morfología de la teca o corona y solamente de las placas articulares aisladas; cuando se carece de esta información se considera como clase y orden "Incierta" (Moore y Jeffords, 1968).*

[GRUPO CYCLICI]

Familia Rhodocrinitidae Bassler, 1938

Género *Gilbertocrinus* Phillips, 1836

*Gilbertocrinus aequalis* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.a)

*Gilbertocrinus aequalis* Moore y Jeffords, 1968, p. 39, lám. 3, figs. 5a, b.

**Descripción.** La columna tiene los lados rectos, sin división en noditaxis. La faceta articular presenta el crenulario con numerosos cúlmenes muy cortos y gruesos, las crénulas son del mismo grosor, la areola es amplia, el lumen ocupa un espacio muy pequeño y el perilúmen es estrecho.

**Distribución geográfica.** Sierra Las Trincheras, Sonora, México. Kentucky, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Misisípico; Kentucky, **EUA:** New Province Shale, Borden Group, Misisípico Inferior (Osageano). (Moore y Jeffords, 1968 p.39).

Familia Cyclosmischidae Moore y Jeffords, 1968

Género *Rhysocamax* Moore y Jeffords, 1968

*Rhysocamax cristata* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.b)

*Rhysocamax cristata* Moore y Jeffords, 1968, p. 60, lám. 12, figs. 3,4.

**Descripción.** La columna es de tamaño mediano, con el perfil de las placas articulares ligeramente anguloso en la parte media y suturas fuertemente crenuladas. Las placas articulares con el lumen circular pequeño, el crenulario formado por crénulas rectas gruesas y simples que se extienden hasta la periferia del lumen.

**Distribución geográfica.** Sierra Las Trincheras, Sonora, México. Iowa, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** (Misisípico). Iowa, **EUA:** Burlington Limestone, Misisípico Inferior (Osageano), (Moore y Jeffords, 1968 p.60).

Familia Pentacauliscidae Moore y Jeffords, 1968.

Género *Pentadirica* Moore y Jeffords, 1968.

Especie *Pentadiricasimplicis* Moore y Jeffords, 1968.

(Figura 13.c)

*Pentadiricasimplicis* Moore y Jeffords, 1968, p. 55, lám. 9, fig.11. (Descripción).

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sonora, México; Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Formación La Joya, Pensilvánico Superior (Virgiliano). Texas, **EUA:** Mingus Shale, Strawn Group, Pensilvánico Medio (Desmoinesiano). (Moore y Jeffords, 1968 p.55).

Género *Pentagonopternix* Moore y Jeffords, 1968

*Pentagonopternix insculptus* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.d)

*Pentagonopternix insculptus* Moore y Jeffords, 1968, p. 55, lám. 9, figs. 10a-b (Descripción), Vachard, 1997, p. 361; Buitrón *et al.*, 2005, p. 151.

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Formación La Joya, Pensilvánico Superior (Virgiliano). Texas, **EUA:** Chaffin Limestone, Cisco Group, Pensilvánico Superior (Virgiliano), (Moore y Jeffords, 1968 p.55).

El Tule Mesteñas

Familia Cyclomischidae Moore y Jeffords, 1968

*Cylindrocauliscus fiski* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.e)

*Cylindrocauliscus fiski* Moore y Jeffords, 1968, p. 62, lám.14, figs. 5a, b (Descripción).

**Distribución geográfica.** Sierra Mesteñas y Cerros El Tule, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Mesteñas y Cerros El Tule, Pensilvánico Medio ( ). Texas, **EUA:** Chaffin Limestone, Cisco Group, Pensilvánico Superior (Virgiliano). (Moore y Jeffords, 1968 p.62).

Familia Floricyclidae Moore y Jeffords, 1968

Género *Lamprosterigma* Moore y Jeffords, 1968

*Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.f)

*Lamprosterigma mirificum* Moore y Jeffords, 1968, p. 79, lám. 25, fig. 10 (Descripción); Buitrón, 1977, p. 149, fig. 2 c, d, e, y g; Fig. a, b, c, y d. Buitrón *et al.*, 2005, p. 151

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sierra Mesteñas, Sierra El Tule, Sonora. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Agua Verde, Formación la Joya, Pensilvánico Superior (Virgiliano), Sierra Mesteñas y Cerros El Tule, Pensilvánico Medio. Kansas, **EUA:** Pensilvánico Medio (Desmoinesiano) Cherokee Group, Cabaniss Formation. Kansas. (Moore y Jeffords, 1968 p.79).

Familia Leptocarphiidae Moore y Jeffords, 1968

Género *Cyclocrista* Moore y Jeffords, 1968

*Cyclocrista martini* Miller, 1968

(Figura 13.g)

*Cyclocrista martini* Miller, 1968, p. 80, lám. 26, figs. 1-6; (Descripción). Buitrón *et al.*, 2005, p. 151.

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sierra Mesteñas y Cerros El Tule, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Agua Verde, Formación La Joya y Cerros El Tule, Texas, **EUA:** WaylandShale, Graham Formation, Cisco Group, Pensilvánico Superior (Virgiliano). (Moore y Jeffords, 1968 p.80).

Género *Preptopremnum* Moore y Jeffords, 1968

*Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.h)

*Preptopremnum rugosum* Moore y Jeffords, 1968, p. 81, lám. 27, figs. 1-9; (Descripción), Arellano, 1998, p. 11; Esquivel *et al.*, 2000, p. 1188, cuadro; Buitrón *et al.*, 2005, p. 151

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sierra Mesteñas y Cerros El Tule, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Agua Verde, Formación La Joya Sierra Mesteñas y Cerros El Tule. Texas, **EUA:** Chaffin Limestone Member, Thrifty Formation y Gunsight Limestone y Wayland Shale Member de Graham Formation, Cisco Group Pensilvánico Superior (Virgiliano). (Moore y Jeffords, 1968 p.81).

*Preptopremnum laeve* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.i)

*Preptopremnum laeve* Moore y Jeffords, 1968, p. 81, lám. 27, figs. 11a, b; (Descripción). Buitrón *et al.*, 2005, p. 151.

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sierra Mesteñas, Cerros El Tule, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Agua Verde formación La Joya Sierra Mesteñas y Cerros El Tule. Texas, **EUA:** Stawn Group, Mingus Shale, Pensilvánico Medio (Desmoneisiano), (Moore y Jeffords, 1968 p.81).

Género *Heterosteichus* Miller, 1968 p. 81

*Heterosteichus keithi* Moore y Jeffords

(Figura 13.j)

*Heterosteichus keithi* Miller, 1968, p. 82, lám. 28, figs. 8-10; (Descripción). Buitrón *et al.*, 1987, p. 134, figs. 8-9, Esquivel *et al.*, 2000, p. 1188 cuadro; Buitrón *et al.*, 2005, p. 151

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sierra Las Mesteñas, Cerros El Tule, Sonora, México. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Las Mesteñas. Texas, **EUA:** Graham Formation, Cisco Group y Wayland Shale Member, Gunsight Limestone Member, Pensilvánico Superior (Virgiliano). (Miller, 1968).

Género *Cycloscapus* Moore y Jeffords, 1968

*Cycloscapus laevis* Moore y Jeffords, 1968

(Figura 13.k)

*Cycloscapus laevis* Moore y Jeffords, 1968, p. 83, lám. 27, figs. 15a, b (Descripción completa), Buitrón *et al.*, 2005, p. 151

**Distribución geográfica.** Sierra Agua Verde, Sonora. Texas, EUA.

**Alcance estratigráfico.** Sonora, **México:** Sierra Agua Verde, Formación La Joya. Texas, **EUA:** Mingus Shale, Strawn Group, Pensilvánico Medio (Desmoneisiano). (Moore y Jeffords, 1968 p.83).

## CONSIDERACIONES ESTRATIGRÁFICAS

En la región noreste-centro del estado de Sonora están expuestas diferentes secuencias del Paleozoico, que comprenden los periodos del Cámbrico, Ordovícico, Devónico, Silúrico (escasamente representado), Misisípico, Pensilvánico y Pérmico. Particularmente, el contenido de macrofósiles en las rocas sedimentarias que constituyen las secuencias del Cámbrico, Misisípico y el Pensilvánico es abundante, reduciéndose significativamente en los sedimentos del Pérmico.

La asociación biótica del Paleozoico Tardío de las regiones estudiadas está conformada por algas, foraminíferos-fusulínidos, corales, briozoarios, braquiópodos, gasterópodos, trilobites y crinoides, de gran importancia estratigráfica, paleoecológica y paleogeográfica.

La amplia distribución de los taxa implica una gran diversidad de biota marina en las provincias en las que coexistieron, que incluye regiones del noroeste (Sonora, Chihuahua, Tamaulipas) del centro (Hidalgo y Puebla) y sur de México (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) y de Estados Unidos de Norteamérica (Texas, Kentucky, Kansas y Iowa). Asimismo, sugiere que los depósitos se generaron en aguas tropicales someras (Buitrón et al, 2008.).

Particularmente en Sonora, la Sierra Las Trincheras presenta estratos con morfoespecies del Misisípico Inferior (Osageano) como *Gilbertocrinus aequalis* y *Rhysocamax cristata*, que fueron descritas por primera vez por Moore y Jeffords (1968) para Kentucky y Iowa, EUA y en esta ocasión se citan por primera vez para México.

Las rocas sedimentarias paleozoicas de las localidades de Sierra Agua Verde, Sierras Las Mesteñas y Cerros El Tule contienen una diversa y rica fauna de crinoides que fosilizaron parcialmente y consisten en abundantes placas articulares aisladas y fragmentos de las columnas con gran valor estratigráfico. En estas rocas se identificaron, las morfoespecies: *Pentadirica simplicis*, *Pentagonopternix inscultus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Cyclocrista martini*, *Lamprosterigma mirificum*, *Preptopremnum rugosum*, *Preptopremnum laeve*, *Heterostelechus keithi* y *Cycloscapus laevis* que corresponden al Pensilvánico Superior

(Virgiliano regional, denominado para Norteamérica) y Pensilvánico Superior (Gzheliano, denominado para Europa del Este). (Figura 14).

Estas morfoespecies fueron descritas inicialmente por Moore y Jeffords (1968) para formaciones del Pensilvánico Medio (Piso Desmoneisiano denominado para Norteamérica) y Pensilvánico Medio (Piso Moscoviano denominado para Europa del Este) y del Pensilvánico Superior (Piso Virgiliano) de Texas, EUA(Figura 14).

SISTEMA	SUB SISTEMA	SERIE GLOBAL	PISO GLOBAL EUROPA DEL ESTE	PISO REGIONAL NORTE AMÉRICA	PISO GLOBAL EUROPA DEL ESTE		
CARBONÍFERO	PENSLVÁLIANO	SUPERIOR	GZHELIANO	VIRGILIANO	AUTORIANO INFERIOR		
			KASIMOVINO	MISSOURIANO	STEPHANIANO		
		MEDIO	MOSCOVIANO	DESMOIDESIANO	WESTPHALIANO	SILESIANO	
			BASHKIRIANO	ATOKANO			
			MORROWANO	NAMURIANO			
		MISÍSIPICO	SUPERIOR	SERPUKHOVIANO	CHESTERIANO		VISEANO
			MEDIO	VISEANO	MERAMECIANO		
	OSAGEANO			TOURNAISIANO			
	INFERIOR		TOURNACIANO		KINDERHOOKIANO		DINANTIANO

Figura 14. Cuadro estratigráfico de la nomenclatura del Carbonífero (Heckel y Clayton, 2006).

## CONCLUSIONES

Se estudiaron los crinoides fósiles y sus consideraciones estratigráficas procedentes de varias localidades del Paleozoico Superior de Sonora, entre ellas: Sierra Las Trincheras (Misisípico), Sierra Agua Verde (Pensilvánico), Cerros El Tule (Pensilvánico) y Sierra Las Mesteñas (Pensilvánico).

Para la localidad de Las Mesteñas se reportan fósiles de las morfoespecies *Gilbertocrinus aequalis* y *Rhysocamax cristata* pertenecientes al Misisípico.

Se reportan para la Sierra de Agua Verde las morfoespecies de crinoides *Pentadirica simplicis*, *Pentagonopterix inscultus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Lamprosterigma mirificum*, *Preptopremnum rugosum*, *Preptopremnum laeve*, *Heterosteichus keithi* y *Cycloscapus laevis*, las cuales han sido citadas por Moore y Jeffords (1968) para el Pensilvánico de Kansas y Iowa, EUA.

El análisis de la distribución de las especies permitió establecer relaciones paleogeográficas con componentes de la biota del Carbonífero de Texas y Kansas en los Estados Unidos de Norteamérica, pertenecientes a la provincia del Cratón Norteamericano.

La tanatocenosis es típica del bentos de mares tropicales someros.

En las calizas de los Cerros El Tule se recolectaron placas articulares de crinoides de las morfoespecies *Cyclocrista martini*, *Heterosteichus keithi*, *Lamprosterigma mirificum*, *Preptopremnum laeve* y *Preptopremnum rugosum* citadas anteriormente por Moore y Jeffords (1968).

En las calizas de Sierra Las Mesteñas se recolectaron los crinoides de las morfoespecies *Cylindrocauliscus fiskiy* y *Heterosteichus keithi*.

## ILUSTRACIONES DE LOS EJEMPLARES

Figura. 13.a. Placa articular de *Gilbertocrinus aequalis* (2X). (Mesteñas-Misisípico)

Figura 13.b. Placa articular de *Rhysocamax cristata* (2.5X). (Mesteñas-Misisípico)

Figura 13.c. Placa articular de *Pentadirica simplicis* (4.2X). (Agua Verde-Pensilvánico)

Figura 13.d. Placa articular de *Pentagonopternix insculptus* (10X). (Agua Verde-Pensilvánico)

Figura 13.e. Placa articular de *Cylindrocauliscus fiski* (7X). (Agua Verde-Pensilvánico, El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.f. Placa articular de *Lamprosterigma mirificum* (3X). (Agua Verde-Pensilvánico, El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.g. Placa articular de *Cyclorista martini* (3X). (El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.h. Placa articular de *Pteropremnum rugosum* (5X). (Agua Verde-Pensilvánico, El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.i. Placa articular de *Pteropremnum laeve* (9X). (Agua Verde-Pensilvánico, El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.j. Placa articular de *Heterosteichus keithi* (5X). (Agua Verde-Pensilvánico, El Tule-Pensilvánico)

Figura 13.k. Placa articular de *Cycloscapus laevis* (6X). (Agua Verde-Pensilvánico)

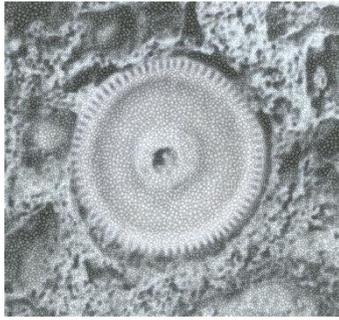


Fig 13.a. *Gilbertocrinus aequalis* (2X)



Fig 13.b. *Rhysocamax cristata* (2.5X)



Fig 13.c. *Pentadirica simplicis* (4.2X)



Fig 13.d. *Pentagonopternixins culptus*  
(10X)



Fig 13.e. *Cylindrocauliscus fiski* (7X)



Fig 13.f. *Lamprosterig mamirificum* (3X)

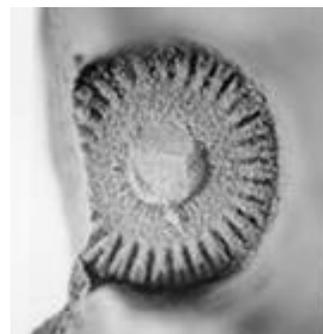


Fig 13.g. *Cyclorista martini* (3X)

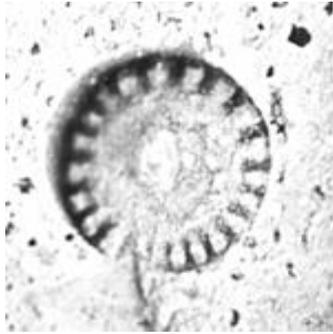


Fig 13.h. *Pteropremnum rugosum* (5X)



Fig 13.i. *Pteropremnum leave* (9X)



Fig 13.j. *Heterosteichus keithi* (5X)

Fig 13.k. *Cycloscapus laevis* (6X)

**BIBLIOGRAFIA CITADA**

- Almazán, V. E. 1989. El Cámbrico-Ordovícico de Arivechi del Estado de Sonora. UNAM. Instituto de Geología, Revista no. 8, p. 58-66.
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D., Mendoza-Madera, C. and Gómez-Espinosa C., 2007. The late Atokan (Moscovian, Pennsylvanian) chaetetidaccumulations of Sierra Agua Verde, Sonora (NW Mexico), composition, facies and paleoenvironmental 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 Megaseam in the tectonic evolution of Northern Sonora. GSA. Annual Meeting Guidebooktrip 27, p. 59-68.
- Arellano-Gil, J., Vachard, D., Yussim, S. y Flores de Dios, A. 1998. Aspectos Estratigráficos, Estructurales y Paleogeográficos del Pérmico Inferior al Jurásico Inferior en Pemuxco, Estado de Hidalgo, México. Revista mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 15, núm. 1, p. 9-13.
- Buitrón B.E., 1977. Invertebrados (Crinoidea y Bivalvia) del Pensilvánico de Chiapas. UNAM, Inst. Geología Revista, vol. 1, Núm. 2, p. 144-150
- Buitrón B. E., Patiño, J., y Moreno A., 1987. Crinoides del Paleozoico Tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo. Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, vol. 1, núm. 1, p. 125-136.
- Buitrón B. E., Arellano, J. y Flores de Dios, A., 1998. Crinoides del Pensilvánico del Cañón de la Peregrina, Estado de Tamaulipas, México. 1ª Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, 21 al 25 de septiembre 184 p.

- Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Ochoa, G. A. y Vachard D., 2003 a Chaetetes, corales tabulados del Pensilvánico de Sonora. Semana Cultural de Geología XXVIII Aniversario Resúmenes, p. 15.
- Buitrón, B. E., Almazán, V. E., Vachard D. y Mendoza M. C., 2003.b Crinoides del Pérmico Temprano del Cerro Los Monos, Caborca, Sonora. Semana Cultural de Geología XXVIII Aniversario Resúmenes, p. 15-16.
- Buitrón, B.E. Almazán, V. E. y Vachard, D, 2004, Benthic invertebrates, of Carboniferous-Permian age, from Sonora: Their paleogeographic implications. 32 nd. 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, B. E., Almazán, V. E., Vachard D., Gómez E. C. 2006. Carboniferous Crinoids from México and their biogeographic significance. Kölner Forum für Geologie und Paläontologie Carboniferous Conference Cologne Program and Abstracts p. 16
- 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, B. E., Almazán-Vázquez, E. y Gómez Espinosa, C. Paleontología General. Invertebrados. Editorial Facultad de Ingeniería, UNAM, México, Segunda Edición, 2010, 317 p. ISBN 978-607-02-1356-4
- 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. Arellano, A. and Johnson, J. 1952. Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, NW, Sonora. Smithsonian Misc. Coll 119, p. 1-35.
- Cooper, G. Arellano, A., Stoyanov, A. and Lochman, C., 1952. Cambrian Stratigraphy near Caborca. Son. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología., Boletín 58, p. 259.
- Cooper G.A. Dunbar C.O., Duncan, H, Miller, A.K., and Knigh, J. B., 1953. Permian fauna at El Antimonio, Western Sonora, Mexico. Smithsonian Miscellaneous Collections, vo. 119, no. 2, p. 1-111.
- Darrah, W. C. 1960. Principles of Paleobotany. The Ronald Press Company. New York, 295 p.
- Debrenne, F. 1987. Archaeocyatha from México. GEOBIOS 20, p. 267-273.
- Debrenne, F. Gandin A., and Rowland, S. 1989. Lower Cambrian Bioconstruction in NW, Sonora. GEOBIOS 22, p. 137-195.
- Dickinson, W., 1981. Plate tectonic evolution of the southern Cordillera Arizona. G. S. Digest, v. 14, p. 113-135.
- Esquivel-Macías C. Ausich, W.I., Buitrón, B.E. and Flores de Dios, A. 2000, Pennsylvanian and Mississippian pluricolumnal assemblages (Class Crinoidea) from Southern Mexico and new occurrence of a column with a tetralobate lumen. Journal of Paleontology vol 74, no. 6, p. 1187-1190.
- Flores de Dios, A., Buitrón, B. E., 1982, Revisión y aportes a la estratigrafía de la Montaña de Guerrero: Universidad de Guerrero, Serie Técnico-Científica 12, 28 p.
- 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, tesis profesional. 141p.
- 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, 1982. Bioestratigrafía de la Sierra del Tule NW, Sonora. VI Convención. Geológica Nacional, Resúmenes p. 40-41.
- González León C. 1986. Estratigrafía del Paleozoico de la Sierra El Tule, noroeste de Sonora, UNAM, Inst. Geología, Revista, vol. 6, núm. 2, p. 117-135.
- 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.
- Heckel, P.H. and Clayton, G., 2006b, The Carboniferous System. Use of the new official names for the subsystems, series, and stages: *Geologica Acta*, v. 4, p. 403-407
- Hess, H, Ausich, W.I. Brett C.E., & Simms, M.J. 1999. Fossil Crinoids. Cambridge University Press, 275 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 Fisiográfica. Hoja Madera H-129, Escala 1:1000 000.
- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) 1999, Carta Topográfica. San José Batúc H12D44, Escala 1:1000 000.

- Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) 1999, Carta Geológica. Hoja Madera H-129, Escala 1:250 000.
- King, R. 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental, México. GSA, Bull 50, p. 1623-1722.
- King, R., 1940. Paleozoic Stratigraphic of Mexico. VIII Amer. Sci. Congr. Washington, 4, p. 109-119.
- Konishi, K., Wray, J., 1961, *Eugonophyllum*, a new Pennsylvanian and Permian Algal Genus, *Journal of Paleontology*, v 35, núm 4, 659-665 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.
- Mac Menamin, N. M., 1985. Basal Cambrian small shelly fossils from La Ciénega Fm. NW, Sonora. *Jour. Paleon.* 59, p. 1414-1425.
- Mac Menamin, N. M, 1987. Lower Cambrian trilobites Zonation and correlation of the Puerto Blanco Fm, Sonora. *Journal of Paleontology* 4, p. 738-749.
- 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.
- 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, E., 1968. *Mooreanteriswaylandensis* Miller, new species. In R. C Moore and R: M: Jeffords. Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts and their columns. University of Kansas, Paleontological contribution. Echinodermata, Article 9, 86 p.

- Miller, and M., Stevens, C. 1992. Late Paleozoic Paleogeography and tectonic evolution of the Western USA Cordillera. GSA, v. G-3, p. 57-105.
- Minjarez, J. I. y Torres, L. E. 1987. Geología del área de Bacanora-Arivechi. Hacia un esquema de evolución Geológico-Jurásica, Sonora USON, Tesis Profesional, 187 p.
- Moore R.C. (editor) 1967. Treatise on Invertebrate Paleontology. Echinodermata 1.1, 1-2. Sociedad Geológica Americana y Universidad de Kansas p. 1-650.
- Moore R. C and Jeffords R, 1968. Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts and their columns. University of Kansas, Paleontological contribution. Echinodermata, Article 9, 86 p.
- Noll, J.H. 1981. Geology of the Picacho Colorado area, Northern Sierra de Cobachi, Central Sonora, México. Thesis of Northern Arizona University 165p.
- 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.
- Peiffer, R., Echevarría, A. Salas, G. and Rangin, C. 1980. Sur la presence de l'Ordoviciensuperieur a graptolites dans le nord-ouest du Mexique. CRA, SciParis 290, p. 13-16.
- Peiffer F. 1988. Biostratigrafic Study of Paleozoic rocks of Northeastern and Central Sonora, Francia, 80p. Inédita.
- 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.
- Pérez-Ramos, O. 2002. Permian fusulinids from Cobachi, central Sonora, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.19, núm.1, p. 25-37.

- 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.
- Poole, F. y Madrid, R. 1988. Allochthonous Paleozoic eugeosinclinal rocks of the Barita de Sonora Mine. II Symposium sobre la Geología y Minería del Estado de Sonora. UNAM, Inst. Geol. Exc. Libro Guía, p. 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. Stewart, J., y Amaya, R., 1995. Ordovician carbonate shelf rocks of Sonora. Ordovician Odyssey, p. 280-284.
- Ross, C. A., 1962, Fusulinids from the Leonard Formation (Permian) western Glass Mountains, Texas. Contributions Cushman foundation foraminiferal research, vol. 13, p. 1-21.
- Ross, C. A. and 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 and Speed, R. C, 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Special paper 278. 153p.
- Skinner, J. W. and Wilde, G. L. 1954. New early Pennsylvanian fusulinids from Texas, Journal of Paleontology, 28, 796-803.
- Stewart, W. 1983. Paleobotany and the evolution of plants. Cambridge University Press, 1983, 405 p.
- Stewart, J. 1982. Regional relation of Proterozoic and Lower Cambrian rocks in the Western USA and northern Mexico. GSA Ann. Meeting p. 171-186.

- Stewart, J. McMenamin, M. A. S., Morales-Ramírez, J.M, 1984. Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, México. Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies and regional relations. U.S. Geological Survey Professional Paper 1309p.
- 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.
- Stewart, J., Poole, F. G., Harris, A. G., Repetski, J. E., Wardlaw, B. R., Mamet, B. L. y J. M. Morales-Ramírez, 1999, Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 16 (1): 35-62.
- Stewart, J. and Poole, F.G, 2002. Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, México. U.S. Geological Survey Open file Report 02-
- Taylor, N., Taylor, E. L., Krings, M. 2009. PALEOBOTANY. The Biology and Evolution of Fossil Plants, 1230 p.
- Vachard, D., Flores de Dios, A., Buitrón, B. E., M. Grajales-Nishimura, Biostratigraphie par fusulines des calcaires carbonifères et permians de San Salvador Patlanoaya (Puebla, Mexique), Geobios 33 (1) (2000) 5–33.
- Vachard, D., Vidaurre-Lemus, M., Fourcade, E., Requena, J., New Early Permian fusulinid assemblage from Guatemala, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 33 (1) (2000) 789–796.

- Vachard, D., Flores de Dios, A., Pantoja, J., Buitrón, B., Arellano J., Grajales M., Les fusulines du Mexique, une revue biostratigraphique et paléogéographique, *Geobios* 33 (6) (2000) 655–679.
- Vega, G. R. y Araux, S. E., 1985, Geología y yacimientos minerales de la Sierra de la Campanera Municipio de Bacanora, Sonora Central. UNISON, Tesis Profesional, 167 p. Velasco, P. & B.E. Buitrón. 1992. Algunos crinoides (Echinodermata-Crinoidea) del Misisípico- Pensilvánico de San Salvador Patlanoaya, Estado de Puebla. *Rev. Soc. Mex. Paleont.* 5: 71-81.
- 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.
- WEBSTER, G. D. AND K. J. HOUCK. 1998. Middle Pennsylvanian, late Atokan–early Desmoinesian echinoderms from an intermontane basin, the Central Colorado trough. *Journal of Paleontology*, 72: 1054–1072.
- Wilde, G.L., Pennsylvanian-Permian fusulinaceans of the Big Hatchet Mountains, New Mexico, *New Mex. Mus. Nat. Hist. Sci.* 38 (2006) 1-311.