

# Universidad de Sonora

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Braquiópodos

(Brachiopoda-Rhynchonelliformea) del  
Frasniano-Famenniano (Devónico) del área  
de San Pedro de la Cueva, Sonora, México:  
Bioestratigrafía y Sistemática

**Tesis Profesional**  
**Que para obtener el Título de**  
**Geólogo**

**Presenta:**  
**Beatriz Griselda Galvez Rivera**



Hermosillo, Sonora, Mayo, 2022

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



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

Hermosillo, Sonora, 27 de abril del 2022

**DR. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
P R E S E N T E.-

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para el registro y aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

**“Braquiópodos (Brachiopoda-Rhynchonelliformea) del Frasniano-Famenniano (Devónico) del área de San Pedro de la Cueva, Sonora, México: Bioestratigrafía y Sistemática”**

Lo anterior es con el fin de que la alumna: **Beatriz Griselda Galvez Rivera**, con **Expediente No. 217218305**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología,

Así mismo se integre como asesor al M.C. Héctor Arturo Noriega Ruíz, quien fungirá como asesor con el tema Sistemática y Paleogeografía de Provincias Faunísticas

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente escrito, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA**

  
\_\_\_\_\_  
M.C. ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ  
DIRECTORA

  
\_\_\_\_\_  
M.C. IVÁN ROSARIO ESPINOZA ENCINAS  
CO- DIRECTOR

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





"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora, México a 4 de mayo de 2022

**MC ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**  
**MC IVÁN ROSARIO ESPINOZA ENCINAS**  
**CO-DIRECTOR**  
**P R E S E N T E.-**

Por este conducto les comunico que ha sido aprobado el tema de Tesis propuesto por ustedes intitulado:

**"BRAQUIÓPODOS (BRACHIOPODA-RHYNCHONELLIFORMEA) DEL FRASNIANO-FAMENNIANO (DEVÓNICO) DEL ÁREA DE SAN PEDRO DE LA CUEVA, SONORA, MÉXICO: BIOESTRATIGRAFÍA Y SISTEMÁTICA".**

Lo anterior con el fin de que la alumna **Beatriz Griselda Gálvez Rivera**, con No. de Expediente **217218305**, pueda presentar su examen profesional para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

Presidente	Dr. Francisco Javier Cuen Romero
Secretario	MC Alejandra Montijo González
Vocal	MC Iván Rosario Espinoza Encinas
Vocal Invitado	MC Héctor Arturo Noriega Ruiz

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su atención a la presente, quedo de ustedes

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**

**DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**El saber de mis hijos  
hará mi Grandeza**  
**DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGÍA**

c.c.p. archivo



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

## NOMBRE DE LA TESIS

**"BRAQUIÓPODOS (BRACHIOPODA-RHYNCHONELLIFORMEA) DEL FRASNIANO-FAMENNIANO (DEVÓNICO) DEL ÁREA DE SAN PEDRO DE LA CUEVA, SONORA, MÉXICO: BIOESTRATIGRAFÍA Y SISTEMÁTICA"**

## NOMBRE DEL SUSTENTANTE

# BEATRIZ GRISELDA GÁLVEZ RIVERA

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

*Dr. Javier Cuen Romero*  
**DR. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO**

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

*Alejandra Montijo González*  
**MC ALEJANDRA MONTIJO GONZÁLEZ**

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

*Iván Rosario Espinoza Encinas*  
**MC IVÁN ROSARIO ESPINOZA ENCINAS**

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

*Héctor Arturo Noriega Ruíz*  
**MC HÉCTOR ARTURO NORIEGA RUÍZ**

ATENTAMENTE

"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"

*Francisco Javier Grijalva Noriega*  
**DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



El saber de mis hijos  
hará mi Grandeza  
**DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGÍA**

c.c.p. archivo

## **Dedicatoria**

*A mis padres,  
Gracias por su amor y sacrificio durante todos estos años, por confiar en mí y apoyarme siempre en cada una de mis metas y sueños.*

## **Agradecimientos**

Agradezco al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por la oportunidad de formar parte de él, por el compromiso de los maestros al brindarme los conocimientos fundamentales para mi formación académica.

A mi padres, Lupita y Deni por su gran amor y apoyo incondicional, por siempre estar presentes para brindarme palabras de aliento, espero algún día poder pagarles un poco de todo lo que me han dado.

A mi Directora de Tesis, M.C. Alejandra Montijo González por su confianza, apoyo, motivación y paciencia. Agradezco grandemente su dedicación y conocimientos brindados, que sin ello no fuera posible esta tesis.

A mi Codirector de Tesis, M.C. Iván Rosario Espinoza Encinas por brindarme su ayuda, entusiasmo, apoyo y tiempo en todo momento, gracias por el conocimiento brindado tanto en campo como en todo el desarrollo de esta tesis.

A mi Asesor y Sinodal, M.C. Héctor Arturo Noriega Ruíz por su gran ayuda, conocimientos de paleontología, consejos y comentarios durante el desarrollo de esta tesis. Al Dr. Francisco Javier Cuen Romero por su atenta revisión a esta tesis.

A los compañeros Daniela, Luis, Manuel y Miguel por su gran ayuda en el trabajo de campo. A cada uno de los amigos que hice a lo largo de toda la carrera, gracias por las aventuras y los bonitos momentos vividos.

Gracias a cada uno de los que creyó en mí, por su cariño, sus consejos, amistad, risas y eternas pláticas.

# Contenido

Resumen .....	9
I. Introducción .....	10
I.1. Objetivo general .....	11
I.2. Objetivo particular.....	11
II. Generalidades.....	12
II.1 Antecedentes y trabajos previos .....	12
II.2 Metodología .....	13
II.3 Fisiografía .....	14
II.4 Clima.....	14
II.5 Localización y vías de acceso .....	16
III. Marco Geológico .....	17
III.1 Geología Regional .....	17
III.1.2. Paleozoico.....	17
III.1.4 Cenozoico .....	21
III.1.5 Cuaternario .....	21
III.1.6 Rocas ígneas intrusivas.....	22
IV. Estratigrafía .....	24
IV.1 Formación El Pollo (Informal).....	24
V. Petrografía.....	29
VI. Paleontología sistemática .....	37
VII. Consideraciones paleogeográficas .....	45
VIII. Discusiones .....	46
IX.- Conclusiones .....	48
IX. Referencias bibliográficas .....	49



# Índice de figuras

Figura 1. Provincias fisiográficas de Sonora. Modificado de CONABIO (2012).....	14
Figura 2. Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas Escala 1:1 000 000, serie 1 (INEGI, 2009). .....	15
Figura 3. Mapa de localización del área de estudio.....	16
Figura 4. Mapa geológico regional (tomado de: SGM, 2010).....	23
Figura 5. Mapa geológico local modificado de SGM (2010).....	26
Figura 7. Columna estratigráfica de la sección "Peñascos Colorados". .....	27
Figura 8. Se observan cristales de calcita en forma granular en LN y NC.....	29
Figura 9. A) Biomicrita-Packstone se observan fragmentos de gasterópodos (G), equinodermos (E) y ostrácodos (O) en una matriz de micrita. B) fragmentos de gasterópodos (G) y fragmento de braquiópodo (B) en una matriz de micrita.....	30
Figura 10. A) Biomicrita-Wackestone, se observan fragmentos de equinodermos (E) y fragmentos de gasterópodos (G) en una matriz de micrita. B) fragmento de ostrácodo y poco aporte terrígeno. ....	31
Figura 11. Biomicrita-Wackestone, presenta ostrácodos (O), fragmento de braquiópodo (B) y fragmentos de equinodermos (E) en una matriz de micrita. B) Se observan fragmentos de gasterópodos, fragmentos de equinodermos (E) y pellets. ....	31
Figura 12. Caliza recristalizada. No presenta aloquímicos y el aporte terrígeno está representado por cuarzo monocristalino y policristalino.....	32
Figura 13. Boundstone. Corales solitarios y coloniales recristalizados. ....	32
Figura 14. Pelesparita-Grainstone. Presenta pellets en cementante de esparita. ....	33
Figura 15. A) Biomicrita-Packstone con aporte terrígeno representado por cuarzo monocristalino con LN. B) Se observan fragmentos de equinodermos en una matriz de micrita con NC. ....	33

Figura 16. A) Cuarzoarenita con LN. B) Cuarzo monocristalino con cementante de pedernal, sintaxial y pelicular de óxido con NC.....	34
Figura 18. A) Se observan fragmentos de equinodermos y ostrácodos en matriz de micrita. B) Presenta fragmentos de braquiópodos, fragmentos de equinodermos y material terrígeno. ....	35
Figura 19. Petrografía de Cerro La Aguja, San Pedro de la Cueva, Sonora .....	36
Figura 20. <i>Sartenaerus</i> sp. ....	38
Figura 21. <i>Composita</i> sp. cf. <i>C. subtilita</i> . ....	40
Figura 22. <i>Athyris</i> cf. <i>A. concentrica</i> .....	42
Figura 23. <i>Cyrtospirifer</i> cf. <i>C. verneuili</i> .....	43
Figura 24. <i>C. whitneyi</i> .....	44
Figura 25. Reconstrucción paleogeográfica entre Sonora y el cratón Norteamericano durante el Devónico. Modificado de Blakey, 2013.....	45

## Resumen

Se describe una sección litológica que aflora al noroeste del cerro La Aguja, en las inmediaciones del Arroyo La Pila, en San Pedro de la Cueva, Sonora, México. Esta secuencia está constituida por rocas detrítico-carbonatadas de edad Devónico Superior, la cual presenta un espesor de 229 metros. Se analizaron 32 láminas delgadas que corresponden a biomicrita-packstone, biomicrita-wackstone, caliza cristalina, boundstone, pelesparita-grainstone, biomicrita-packstone con aporte terrígeno, caliza dolomitizada y cuarzoarenita.

Esta secuencia se correlaciona con la formación El Pollo, del grupo Agua Verde, la cual está compuesta por rocas carbonatadas como calizas, calizas dolomitizadas, dolomías, caliza arenosa en capas delgadas a masivas y arenisca de grano medio a grueso con abundante pedernal.

El ambiente de depósito se interpreta como plataforma somera arrecifal a línea de costa, con cambios aleatorios en el nivel de energía de baja a alta, estimado a partir de los aloquímicos (corales, gasterópodos, equinodermos, braquiópodos y ostrácodos), presentes en las rocas carbonatadas, así como las rocas detríticas (areniscas de cuarzo).

Se reporta la presencia de braquiópodos *Sartenaerus* sp., *Composita* sp. cf. *C. subtilita*, *Athyris* cf. *A. concentrica*, *Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili*, *C. whitneyi* de edad Devónico Superior. El estudio de estos organismos permite establecer una afinidad bioestratigráfica con los depósitos existentes en la Sierra Agua Verde (Mátape, Sonora) y Norteamérica.

## **I. Introducción**

En México, los afloramientos del Paleozoico se encuentran cubiertos por una intensa secuencia de rocas de edad Mesozoico y Cenozoico; por lo tanto, son escasos (Buitrón *et al.* 2008). En el noroeste de México, existen localidades donde afloran secuencias sedimentarias continuas, las cuales incluyen una abundante biota fósil bien preservada; particularmente, los depósitos del Paleozoico en el estado de Sonora (López-Ramos, 1969; Buitrón *et al.* 2008).

Los estudios de secuencias sedimentarias del Paleozoico Superior en Sonora, relacionados con el análisis de contenido biótico, se han incrementado en las últimas décadas (Almazán-Vázquez *et al.*, 2007; Jiménez-López *et al.*, 2018; Navas-Parejo *et al.*, 2019). Estos trabajos en el estudio sistemático de grupos biológicos y en el análisis bioestratigráfico, los cuales constituyen un avance en el conocimiento de la fauna del Paleozoico en Sonora.

El registro estratigráfico del Paleozoico Superior en Sonora está constituido por las formaciones (informales), en orden ascendente: El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé, pertenecientes al grupo Agua Verde (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993), además de las formaciones Murciélagos, Caliza Martín, Escabrosa, Caliza El Tigre, Horquilla (López-Ramos, 1969).

En Sonora, las rocas sedimentarias del Devónico se distribuyen al centro y noreste del estado, y se caracterizan por poseer diversos grupos biológicos tales como corales, briozoarios braquiópodos, crinoideos, conodontos (Ochoa Granillo y Sosa León 1993; Navas-Parejo *et al.* 2019).

En la Sierra Agua Verde, cercana a la población de San Pedro de la Cueva, se ha reportado la presencia de foraminíferos, corales, briozoarios, braquiópodos y crinoideos en secuencias detríticas-carbonatadas del Paleozoico Superior, que corresponden al grupo Agua Verde (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993). Sin embargo, los reportes que incluyen una descripción sistemática de la fauna fósil, así como la interpretación de ambientes sedimentarios y consideraciones paleogeográficas son escasos y se encuentran limitados.

Este trabajo está enfocado en documentar e ilustrar las especies de braquiópodos encontradas en San Pedro de la Cueva, tomando en cuenta la clasificación sistemática para el Phylum Brachiopoda Duméril, 1806. Esto contribuirá a actualizar el registro de estos organismos en México.

### **I.1. Objetivo general**

Identificar y describir la sistemática de fauna de braquiópodos distribuida en una sección litológica, en el área de San Pedro de la Cueva, Sonora central.

### **I.2. Objetivo particular**

- Describir las características petrológicas y petrográficas de las secciones.
- Analizar la bioestratigrafía a detalle del área de estudio.
- Determinar el ambiente de depósito.
- Establecer una correlación regional con otros depósitos del cratón norteamericano.

## **II. Generalidades**

### **II.1 Antecedentes y trabajos previos**

El área de San Pedro de la Cueva ha sido objeto de numerosos estudios, enfocados principalmente al análisis bioestratigráfico y paleontológico del Carbonífero (Almazán-Vázquez *et al.* 2007; Buitrón *et al.* 2007; Buitrón-Sánchez *et al.* 2015; Jiménez-López *et al.* 2018; Villanueva-Olea *et al.* 2019). No obstante, los estudios sobre depósitos del Devónico son escasos, entre ellos:

Ochoa Granillo y Sosa León (1993), proponen informalmente el grupo Agua Verde donde incluyen una secuencia integrada por cinco formaciones informales (de la base a la cima): El Boquinete (Ordovícico), El Pollo (Devónico), Santiago (Mississípico), La Joya (Pensilvánico) y Tuntunudé (Pérmico).

El Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2008; 2010) elabora la carta San Pedro de la Cueva H12D34, escala 1:50,000, realizando visitas de reconocimiento geológico-minero a diversos sitios mineros localizados dentro de la carta. En este trabajo se describe e ilustra la presencia de rocas paleozoicas.

Ramos-Martínez (2016) realiza la descripción de dos secciones en el Cerro La Cueva, San Pedro de la Cueva. Una de las secciones está constituida por conglomerado y caliza fosilífera; mientras que la segunda se constituye por caliza con nódulos de pedernal, las cuales incluyen contenido fósil que pertenece a depósitos de plataforma somera durante el Devónico Superior.

Navas-Parejo *et al.* (2019) reportan por primera vez la presencia de conodontos famennianos (Devónico Superior) provenientes de una secuencia marina somera distribuida en el Cerro La Cueva, San Pedro de la Cueva, Sonora.

## II.2 Metodología

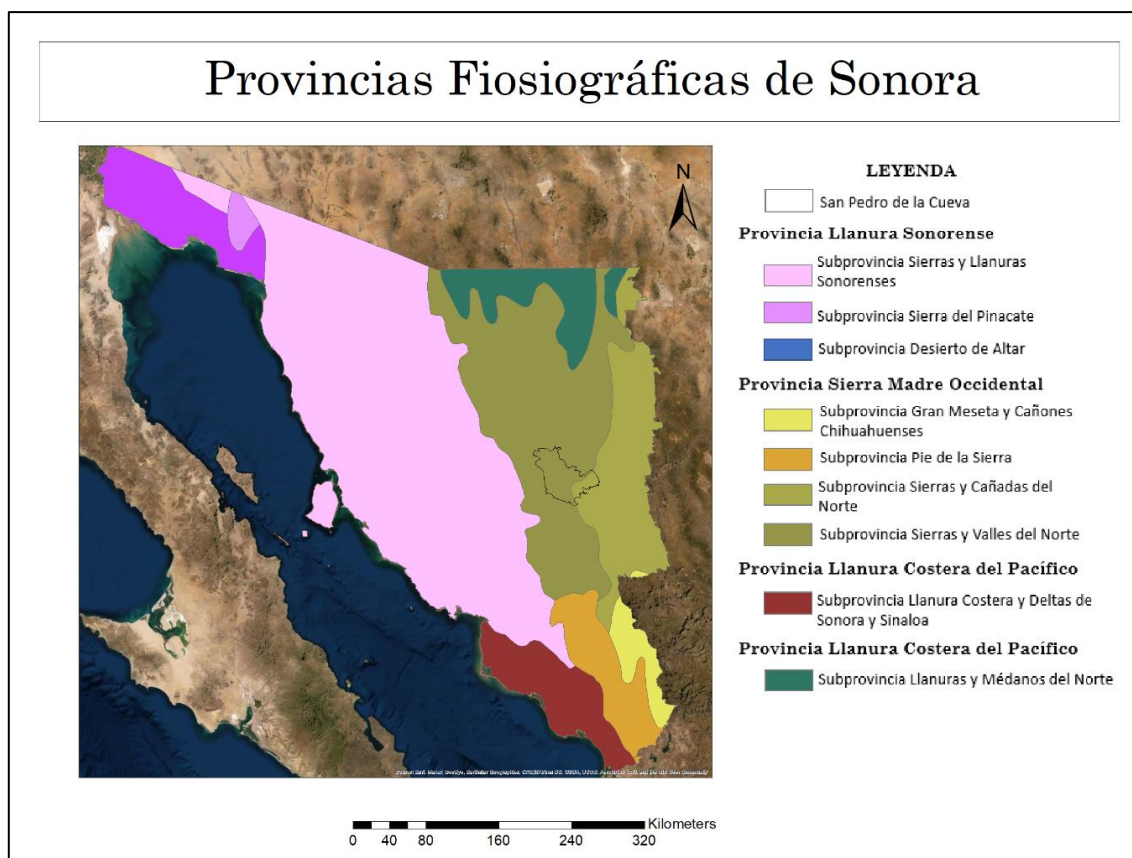
Para la elaboración del presente trabajo se realizaron diferentes etapas de desarrollo las cuales se describen a continuación:

- *Recopilación bibliográfica:* consistió en la recopilación de información bibliográfica relacionada al área de estudio y sus alrededores. La información fue resumida para un fácil manejo de los temas de interés.
- *Visitas al área de estudio:* En esta etapa se realizaron varias visitas al área de estudio, donde se llevó a cabo muestreo de rocas, elaboración de una sección litológica y recolección de fósiles para su posterior estudio.
- *Análisis paleontológico (braquiópodos):* el material paleontológico recolectado fue procesado para su identificación, basado a la diagnosis propuesta para cada taxón según su autor.
- *Análisis petrográfico:* Se realizaron láminas delgadas de las muestras de roca recolectadas, para posteriormente ser analizadas bajo un microscopio petrográfico, para llevar a cabo una descripción a detalle de la roca. Para la clasificación de rocas carbonatadas se utilizó la clasificación composicional de Folk (1972) y Dunham (1962) para textural, se complementó con la clasificación de Embry y Klovan (1972). Para la clasificación de rocas detríticas se utilizó la clasificación de Pettijhon (1973).
- *Integración de datos:* El material que se recolectó fue analizado para hacer una interpretación y obtener las conclusiones del presente trabajo.

## II.3 Fisiografía

En el estado de Sonora se identifican cuatro provincias fisiográficas, las cuales son: Provincia Llanura Sonorense, Provincia de la Llanura Costera del Pacífico, Provincia Sierra Madre Occidental y Provincia de Sierras y Llanuras del Norte. El área de estudio se encuentra dentro de la Provincia Sierra Madre Occidental.

Las subprovincias que corresponden a San Pedro de la Cueva son: Sierras y Valles del Norte (67.13%) y Sierras y Cañadas del Norte (32.87%) (INEGI, 2009) (Figura 1).



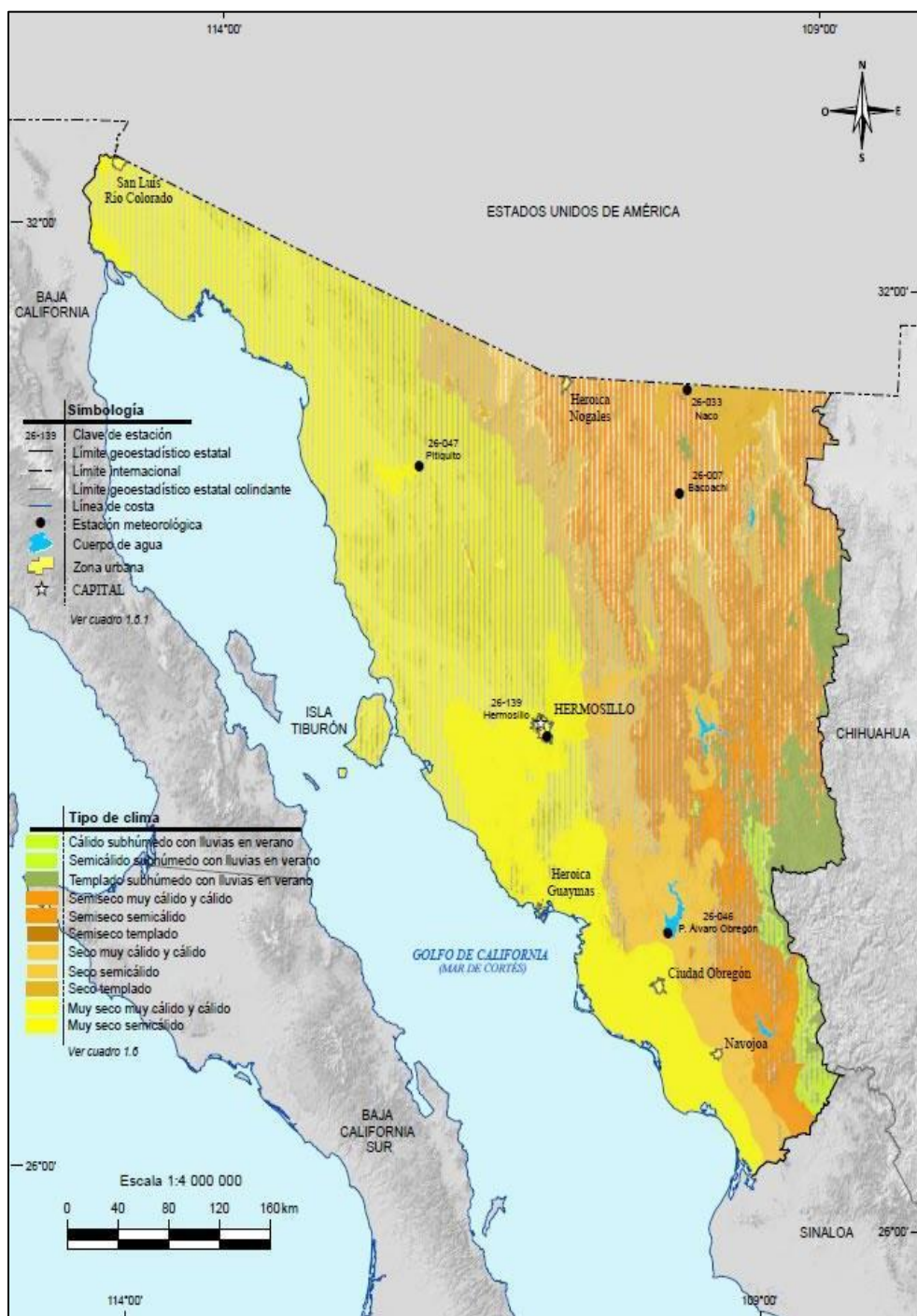
**Figura 1.** Provincias fisiográficas de Sonora. Modificado de CONABIO (2012).

## II.4 Clima

El área de estudio presenta temperaturas que oscilan entre 16 – 26° C mensualmente y una precipitación media anual que varía entre 500 – 700 mm. El clima predominante es semiseco semicálido (54.10%), el resto de los climas que presenta son seco muy cálido y cálido



(35.81%), semiseco templado (4.44%), semiseco muy cálido y cálido (3.62%) y templado subhúmedo con presencia de lluvia en verano (2.03%) (INEGI, 2009) (Figura 2).



**Figura 2.** Continuo Nacional del Conjunto de Datos Geográficos de la Carta de Climas Escala 1:1 000 000, serie 1 (INEGI, 2009).

## II.5 Localización y vías de acceso

El área de estudio se localiza en el municipio de San Pedro de la Cueva, Sonora, entre las coordenadas geográficas 29° 15' – 29° 30' de Latitud Norte y 109° 40' – 110° 00' de Longitud Oeste. La cabecera municipal se encuentra comunicada por la carretera estatal No. 20, en el tramo Hermosillo – Sahuaripa con dirección a Mazatán. En Mazatán se toma dirección al norte mediante un camino pavimentado a San Pedro de la Cueva, del cual se desprenden varios caminos de terracería comunicándolo con el Arroyo La Pila (Figura 3).

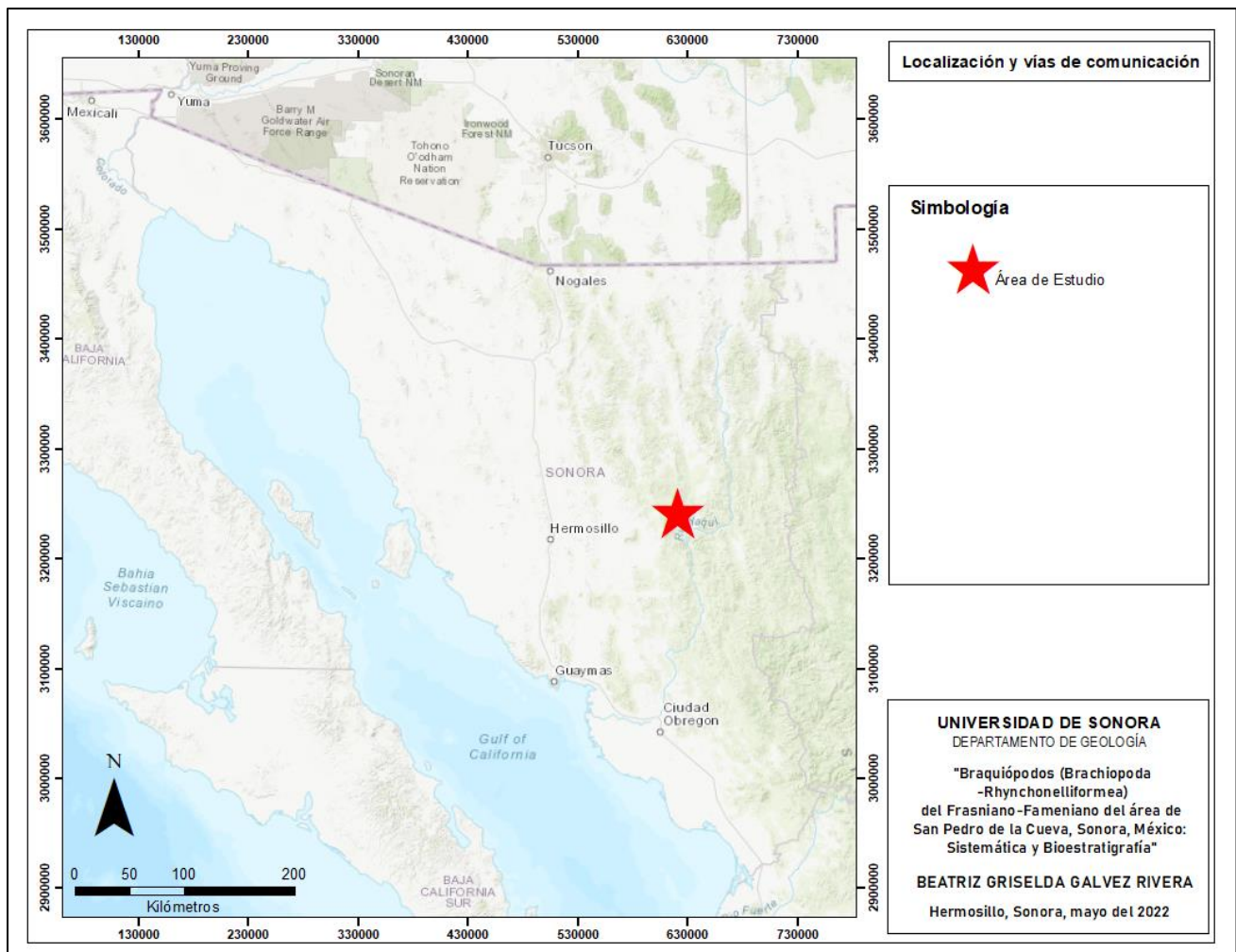


Figura 3. Mapa de localización del área de estudio.

### **III. Marco Geológico**

#### **III.1 Geología Regional**

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias, ígneas intrusivas y extrusivas (Figura 4), con edades, desde el Paleozoico hasta el reciente (SGM, 2008; 2010). A continuación, se mencionan las unidades litológicas presentes en el área de estudio:

##### **III.1.2. Paleozoico**

##### **Caliza-Arenisca (Pop Cz-Ar), Arenisca – Caliza (Pod Ar-Cz), Caliza-Arenisca (Pcp Cz-Ar), Grupo Agua Verde (informal)**

El grupo Agua Verde fue definido informalmente por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), constituido principalmente por una secuencia detrítica-carbonatada que incluye cinco formaciones informales, nombradas: El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé, de rango estratigráfico del Ordovícico al Pérmico.

El Servicio Geológico Mexicano (2008; 2010), divide el grupo Agua Verde (Pop Cz–Ar) en dos miembros; inferior y superior, representados por las unidades: la base (Pod Ar-Cz) compuesta por las formaciones El Boquinete y El Pollo, y la cima (Pcp Cz-Ar) integrada por las formaciones Santiago, La Joya y Tuntunudé.

##### **Unidad de la base (Pod Ar-Cz), formación El Boquinete y formación El Pollo (informal)**

**Formación El Boquinete (Informal)**, esta formación fue propuesta informalmente por Ochoa Granillo y Sosa León (1993) para definir a una secuencia compuesta de lutita calcárea, caliza arenosa, caliza con nódulos de pedernal, arenisca y ortocuarcita. Estos autores identificaron fauna fósil representada por braquiópodos *Liricamera* sp., y *Diparelasma* sp., del Ordovícico temprano, y corales *Paleophillum* sp., *Paleoalveolites* sp., y *Streptelasma* sp., del Ordovícico medio a tardío. Esta formación se le asigna una edad del Ordovícico temprano al tardío, depositada en un ambiente de plataforma somera (arrecifal) (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993), aflorando en la porción sureste del área de estudio.

**Formación El Pollo (Informal)**, es definida de manera informal por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), compuesta por estratos delgados a gruesos y masivos de caliza, caliza dolomitizada, dolomía y caliza arenosa en capas delgadas a masivas y arenisca con pedernal. En la base de esta formación se reportan corales, briozoarios y crinoides; particularmente, en las capas de dolomía se reportan corales tales como *Alveolites* sp., *Actinostroma* sp., y la secuencia de caliza incluye briozoarios, crinoides y gasterópodos. En la cima se presenta abundante biota representada por briozoarios (*Ampliospora* sp.) y corales (*Favosites* sp., *Alveolites* sp., *Syringopora* sp. y *Michelena* sp.), asignándose una edad de Devónico Medio a tardío (SGM, 2008). Se sugiere que esta unidad fue depositada en un ambiente plataforma somera arrecifal (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993). Esta formación aflora en la parte sureste del área de estudio.

**Unidad (Pcp Cz-Ar) formada por las formaciones Santiago, La Joya y Tuntunudé (Informal)**

**Formación Santiago (Informal)**, fue definida por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), describiendo una secuencia compuesta por caliza dolomitizada, caliza fosilífera, caliza arenosa y arenisca con nódulos y capas de pedernal, en estratos gruesos a masivos, reportando abundante fauna fósil representada por braquiópodos como *Brachytyrina* sp. y corales como *Amplexizaphrentis* sp. y *Syringopora* sp., asignándose una edad de Mississípico. Ochoa Granillo y Sosa León (1993) sugieren que esta unidad fue depositada en un ambiente marino somero con desarrollo de bancos calcáreos. Esta formación aflora en la parte sureste del área de estudio.

**Formación La Joya (Informal)**, definida informalmente por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), compuesta por intercalaciones de caliza, y lodolita calcárea y lentes arenosos, en estratos medianos a gruesos. La fauna fósil está representada por especies de corales como *Chaetetes* sp. y *Syringopora* sp., briozoarios como *Fenesstrillina* sp. y *Glyptopora* sp., los braquiópodos *Crurithyris* sp. y *Neospirifer* sp. y crinoides como *Lamprosterigma Erathense* sp. Con base en el contenido fosilífero, a esta secuencia se le asigna una edad de Pensilvánico, la cual se depositó en una plataforma somera. Esta unidad aflora en la parte sureste del área de estudio.

**Formación Tuntunudé (Informal)**, definida informalmente por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), compuesta de estratos de caliza intercalada con caliza arenosa, caliza limosa con nódulos de pedernal y arenisca. La fauna presente está representada por fusulínidos (*Schawegerina* sp.); *Globivalvulina* sp. y *Tuberitina* sp., en la parte superior por braquiópodos y crinoideos pobremente preservados. Con base en el contenido faunístico, le asignaron una edad de Pérmico temprano, depositada en un ambiente de plataforma somera. Esta secuencia aflora en la porción sur del área de estudio.

### **III.1.3 Mesozoico**

El mesozoico está representado rocas sedimentarias compuestas por arenisca y caliza, pertenecientes al Grupo Bisbee, del Jurásico Superior - Cretácico Inferior, y una secuencia volcanosedimentaria definida como Formación Tarahumara del Cretácico Superior - Paleógeno. A continuación, se describen las secuencias:

#### **Conglomerado polimíctico-Arenisca (JsKiCgp-Ar). Formación Conglomerado Glance**

Esta unidad corresponde a la base del Grupo Bisbee, Dumble (1900) las definió como capas Bisbee, posteriormente Ransome (1904) cambió el nombre de grupos y la dividió en cuatro formaciones: Conglomerado Glance, Morita, Caliza Mural y Cintura.

La unidad presenta una coloración gris a café rojiza en roca fresca y presenta un color blanco en roca intemperizada. Los clastos oscilan entre 2 a 20 cm, donde predominan clastos de 5 cm, de forma principalmente subredondeado (90%), mal clasificados, semimaduro, empaquetamiento grano soportado, una matriz arenosa-calcárea que constituye aproximadamente el 10%, compuesto por fragmentos de caliza principalmente, y en menor proporción arenisca, se clasifica como ortoconglomerado.

El Conglomerado Glance tiene una edad de Jurásico Superior a Cretácico Inferior (Bilodeau y Lindberg, 1983), la cual se depositó en ambientes transicionales como fluvial y marino somero, presentando aportes volcanoclásticos esporádicos (SGM, 2008). Esta formación aflora en la porción noreste del área de estudio.

### **Arenisca – Caliza (Ka(?) Ar-Cz), Arenisca – Lutita (Ka(?) Ar-Lu). Formación Cintura**

Fue definida por Ransome (1904), para una alternancia de capas de lutita de color café rojizo y arenisca roja a gris que ocasionalmente presentan capas de arenisca conglomerática. La unidad Arenisca – Caliza (Ka(?) Ar-Cz) presenta una coloración gris blanca y café, con estratificación cruzada. Los clastos presentan tamaño de arena de grano medio a grueso, bien clasificada, madura, empaquetamiento de grano sostenido, compuesta principalmente por cuarzo. Se clasifica como arenisca de cuarzo. En la cima se presenta una secuencia carbonatada de caliza con contenido fósil como fragmentos de corales, briozoarios, braquiópodos y pelecípodos, los cuales se encuentran mal preservados. Se le asigna una edad de Albiano medio-superior debido al periodo de sedimentación de la Formación Cintura (SGM, 2008). Esta unidad fue depositada en ambientes de planicie fluvial, deltaica y litoral (Scott y Warzeski, 1990). El afloramiento de la unidad se encuentra en la parte noreste del área de estudio.

En la base de la unidad (Ka (?) Ar-Lu) se encuentra un pórfido andesítico el cual presenta una intercalación de grauvacas y lutita carbonatada (SGM, 2008). Esta unidad aflora al sureste del área de estudio.

### **Andesita – Toba Andesítica (KsA-TA). Formación Tarahumara**

Definida por Dumble (1900) para una secuencia volcanosedimentaria. La base de la Formación Tarahumara está conformada por arcosa y toba andesítica, aglomerado de composición andesítico-dacítico, intercalado con conglomerado de clastos volcánicos (composición andesítica) y sedimentarios (arenisca y lutita). La parte media y la cima está compuesta por toba lítica. La formación ha sido datada en el río Yaqui en 90-70 Ma (McDowell *et al.*, 2001) y en la porción centro-oriental de Sonora se han obtenido edades más jóvenes, 54 y 66 Ma (Rodríguez-Castañeda, 2002; Calmus *et al.*, 2010). La unidad se encuentra aflorando en la parte este del área de estudio.

### **III.1.4 Cenozoico**

#### **Toba Andesítica – Toba Riolítica (Teo TA-TR), Toba riolítica – Riolita (ToTR-R) (Informal)**

La unidad está constituida por intercalaciones de toba andesítica-dacítica y toba riolítica. En la parte superior compuesta por extensos derrames de composición lávica. Básicamente la secuencia está conformada por toba riolítica y riolita. Demant *et al.* (1993), reportan una edad de 31 Ma para una andesita púrpura en el límite oriental del estado, aunque no reportan la localidad exacta. El SGM (2008) les asigna a estas rocas una edad de Eoceno - Oligoceno. Se encuentra aflorando en una pequeña porción de la parte norte y noreste del área.

#### **Conglomerado polimíctico – Arenisca (TmCgp – Ar). Formación Báucarit**

Dumble (1900) lo definió como Formación Báucarit; posteriormente, Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998). Litológicamente está constituido por conglomerado polimíctico de rocas volcánicas e intrusivas, con intercalaciones de arenisca y basalto principalmente. Se tiene una edad radiométrica de K/Ar de  $17$  a  $21 \pm 0.4$  Ma, lo cual la sitúa en el Mioceno. Aflora en la parte oeste del área.

#### **Riolita (TmR). Formación Lista Blanca**

Roldán-Quintana (2002) definió a la Formación Lista Blanca como una secuencia compuesta por rocas volcánicas félsicas y domos riódacíticos. Esta unidad corresponde a una edad de 10.4 Ma, esto basado en dataciones por K-Ar de latita (Morales-Montaña *et al.*, 1990; Bartilini *et al.*, 1994). Esta unidad aflora en la parte oeste del área de estudio.

### **III.1.5 Cuaternario**

#### **Conglomerado polimíctico – Arenisca (QptCgp-Ar). Grupo Sonora**

Forma parte del Grupo Sonora, definida por Grijalva-Noriega y Roldán-Quintana (1998), compuesta por conglomerado polimíctico semiconsolidado y consolidados con fragmentos de roca riolítica, andesítica, granítica, metamórfica y calcárea, contenidos en una matriz arenosa formando depósitos de talud y terrazas con espesores variables de 20 a 50 m. Por su posición estratigráfica, sobreyaciendo, discordantemente, al conglomerado de la Formación Báucarit (SGM, 2008). Se correlaciona en edad con los basaltos del campo volcánico

Moctezuma en donde se tienen edades de 0.53 y 1.7 Ma que indica una edad del Pleistoceno (Paz-Moreno *et al.*, 2003). Se presentan principalmente a los amplios valles y a los bordes de los elementos orográficos. Esta unidad aflora en la parte noroeste del área.

### **Aluvión (Qhoal)**

La unidad está constituida por depósitos no consolidados de grava, arena y limo (SGM, 2008), la cual aflora en el norte del área.

## **III.1.6 Rocas ígneas intrusivas**

### **Pórfido andesítico (TpaPA)**

El intrusivo (TpaPA), está constituido por un pórfido andesítico color gris verde en roca fresca a café rojiza en roca intemperizada, presenta textura fanerítica equigranular, se encuentra intensamente brechado y fracturado, silicificado, y foliación incipiente, exhibe una fuerte alteración hidrotermal con óxido y una ligera caolinización (SGM, 2008). Debido a las relaciones de campo se le asigna una edad de Paleoceno – Oligoceno (SGM, 2010). Aflora en la parte suroeste del área.



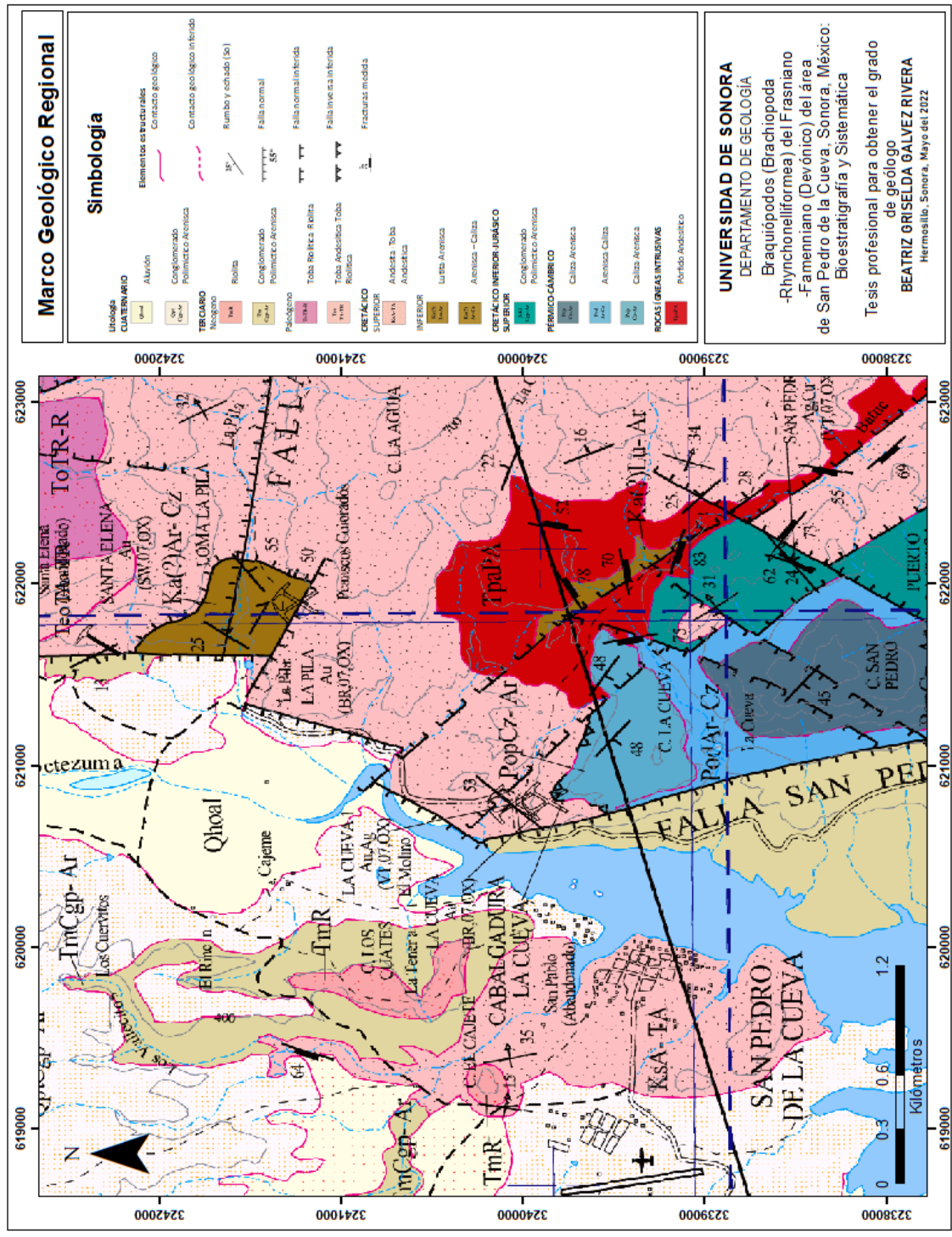


Figura 4. Mapa geológico regional (tomado de: SGM, 2010).

## **IV. Estratigrafía**

La sección estudiada comprende una secuencia detrítico-carbonatada del Devónico Superior, de 229 metros de espesor que aflora al noroeste del cerro La Aguja, en las inmediaciones del Arroyo La Pila, en San Pedro de la Cueva, Sonora (Figuras 5, 6 y 7).

### **IV.1 Formación El Pollo (Informal)**

**Definición.** Fue propuesta por Ochoa Granillo y Sosa León (1993), para describir a una secuencia de rocas carbonatadas compuesta por caliza, caliza dolomitizada, dolomía, caliza arenosa en capas delgadas a masivas y arenisca de grano medio a grueso con abundante pedernal, con un espesor de 206 metros, de edad Devónica, definida por en el cerro el Pollo en el poblado de Mátape, Sonora.

**Litología y espesor.** La base de esta secuencia está constituida por una brecha, de tamaño de grano que varía de 2 mm a 1.5 cm, de forma subangulosa a angulosa, mal clasificada, entramado puntual a longitudinal, empaquetamiento grano soportado, en un cemento calcáreo. Los componentes principales son fragmentos de rocas (calizas), con un espesor de 60 metros.

Continuando con una caliza recristalizada, de color gris claro tanto en roca fresca en superficie intemperizada, con un espesor de 12 metros.

Seguida de una caliza arrecifal, de color gris claro en estratos delgados a gruesos con abundante fauna: compuesta por briozoarios, corales (*Alveolites* sp., *Syringopora* sp.) y gasterópodos. El espesor es de 16 metros.

Sobreyaciendo a la anteriores se observa una caliza recristalizada, de color gris claro tanto en roca fresca con en superficie intemperizada, con un espesor de 10 metros.

Posteriormente se observa calizas de color gris claro, con abundantes fósiles no esquelético (pellet), con un espesor de 3 metros.

Continuando con una caliza recristalizada y dolomitizada, de color gris claro tanto en roca fresca con en superficie intemperizada, con un espesor de 80 metros.

Continuando con una caliza arenosa, de tamaño de grano de limo a arena fina, moderadamente clasificada, con abundantes fragmentos de equinodermos y aporte terrígeno, con un espesor de 12 metros.

Seguida de una alternancia de conglomerado y arenisca. Los conglomerados de tamaño de grano mayor a 2 mm, de forma subredondeada a redondeada, compuesta por fragmentos de cuarzoarenita en un cemento de pedernal. Las areniscas constituidas por cuarzo (95%), de color blanquizo tanto a la intemperie como en roca fresca, con un espesor de 25 metros.

En la cima de la columna estratigráfica se observa una caliza fosilífera de color gris rojizo compuesta por gran abundancia de fósiles principalmente braquiópodos (*Sartenaerus* sp., *Composita* cf. *C. subtilita* Hall, 1852, *Athyris* cf. *A. concéntrica* (von Buch, 1834) M' Coy, 1844, *Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili* (Murchison, 1840) Nalivkin en Fredericks, 1924, *C. whetneyi* (Hall, 1858) Cooper, 1944), ostrácodos, fragmentos de equinodermos y gasterópodos. Espesor de 11 metros.

**Distribución.** La unidad aflora al noroeste del cerro La Aguja.

**Relación estratigráfica.** El contacto inferior y superior es tectónico (fallamiento normal), con la Formación Tarahumara.

**Edad y correlación.** Debido a la presencia de la fauna de braquiópodos fósiles (*Sartenaerus* sp., *Composita* cf. *C. subtilita*, *Athyris* cf. *A. concentrica*, *Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili*, *C. whetneyi*) se asigna una edad de Frasniano - Famenniano (Devónico Superior). Con base al contenido fósil se correlaciona con la formación El Pollo del grupo Agua Verde definida por (Ochoa Granillo y Sosa León, 1993) en la Sierra Agua Verde, Sonora Central.

**Ambiente de Deposito.** Se considera que la secuencia se depositó en medio de plataforma somera-arrecifal.

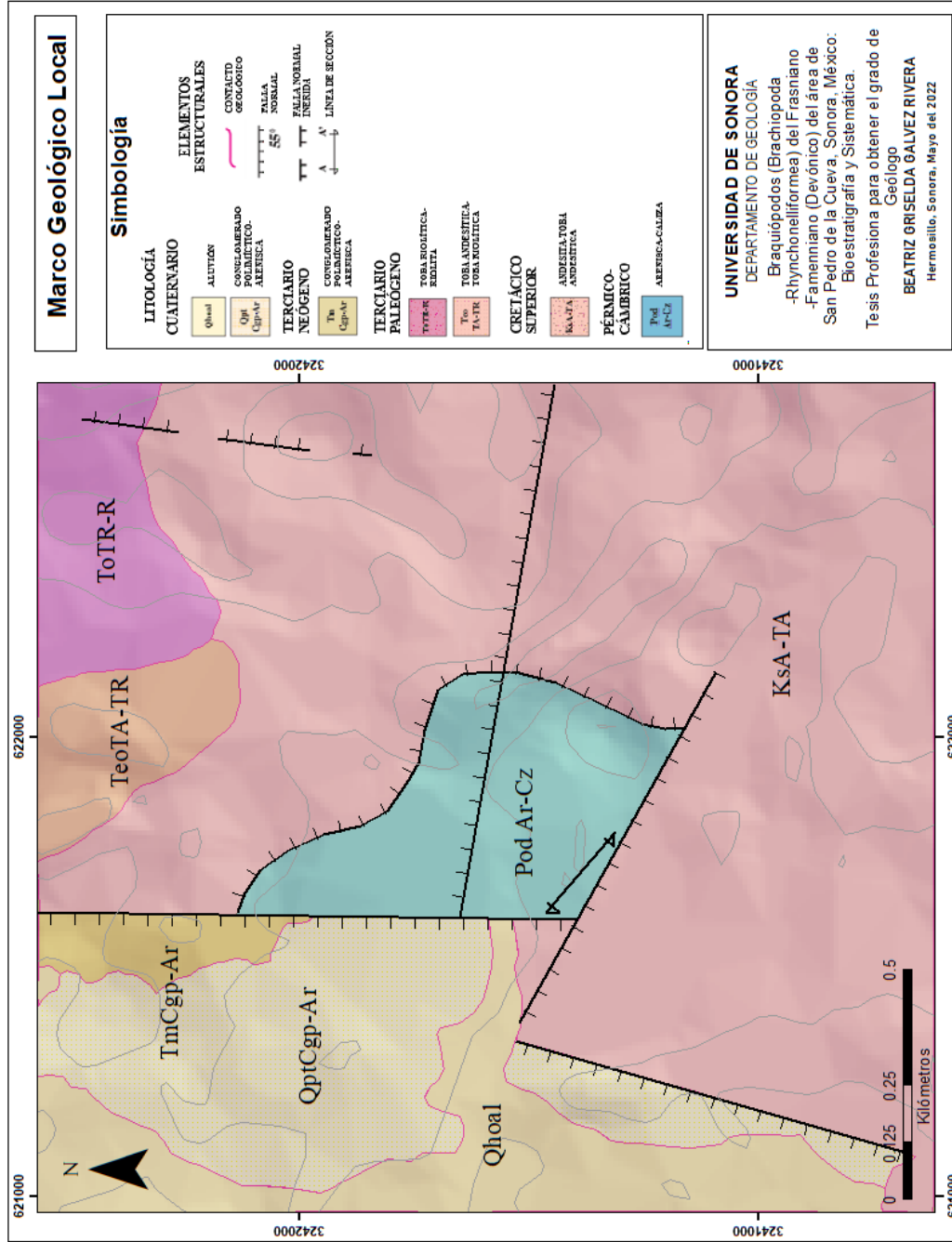


Figura 5. Mapa geológico local modificado de SGM (2010).

# Sección "Peñascos Colorados"

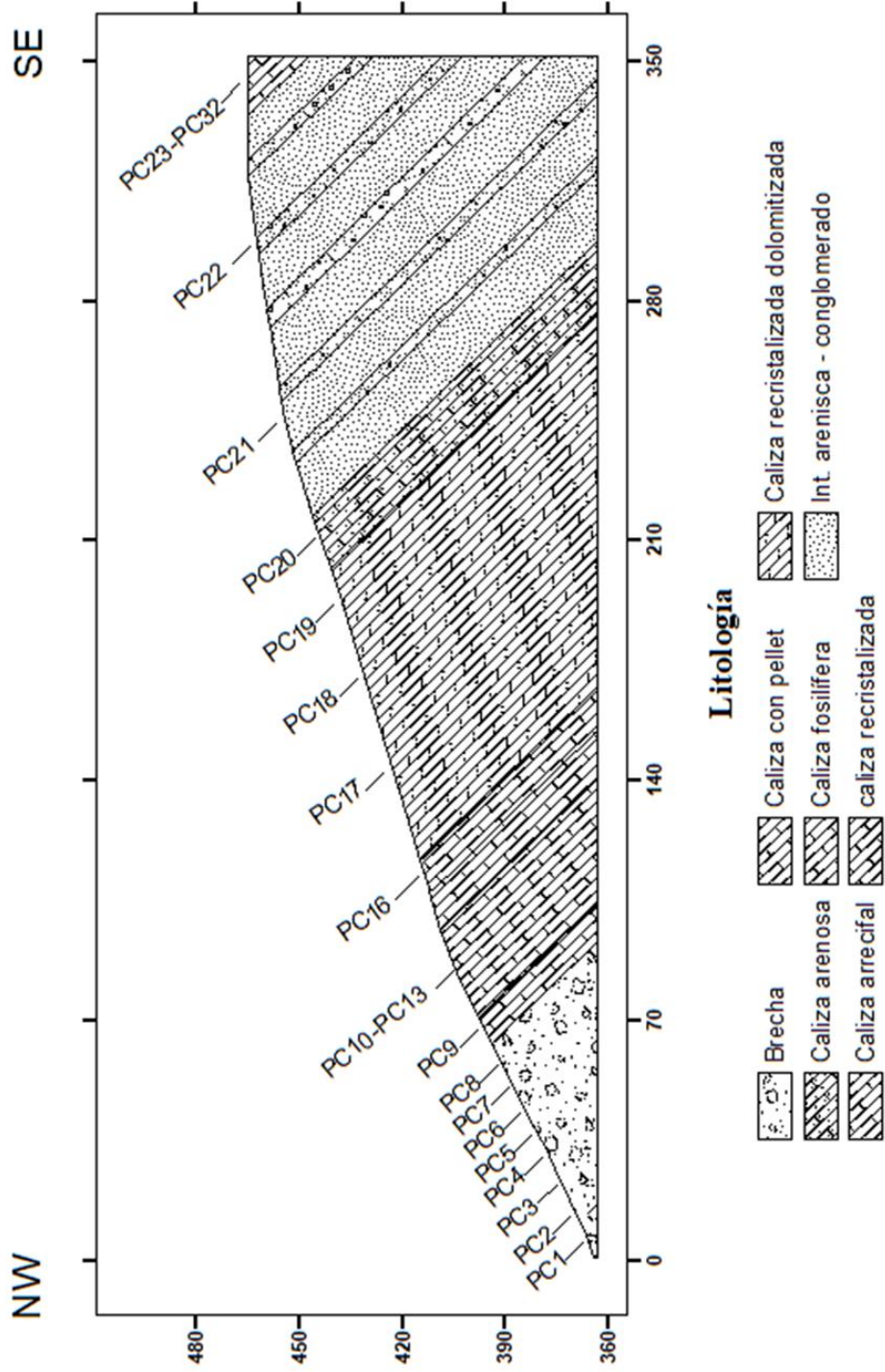


Figura 6. Perfil esquemático de la sección realizada en el Cerro La Aguja, en dirección NW-SE.

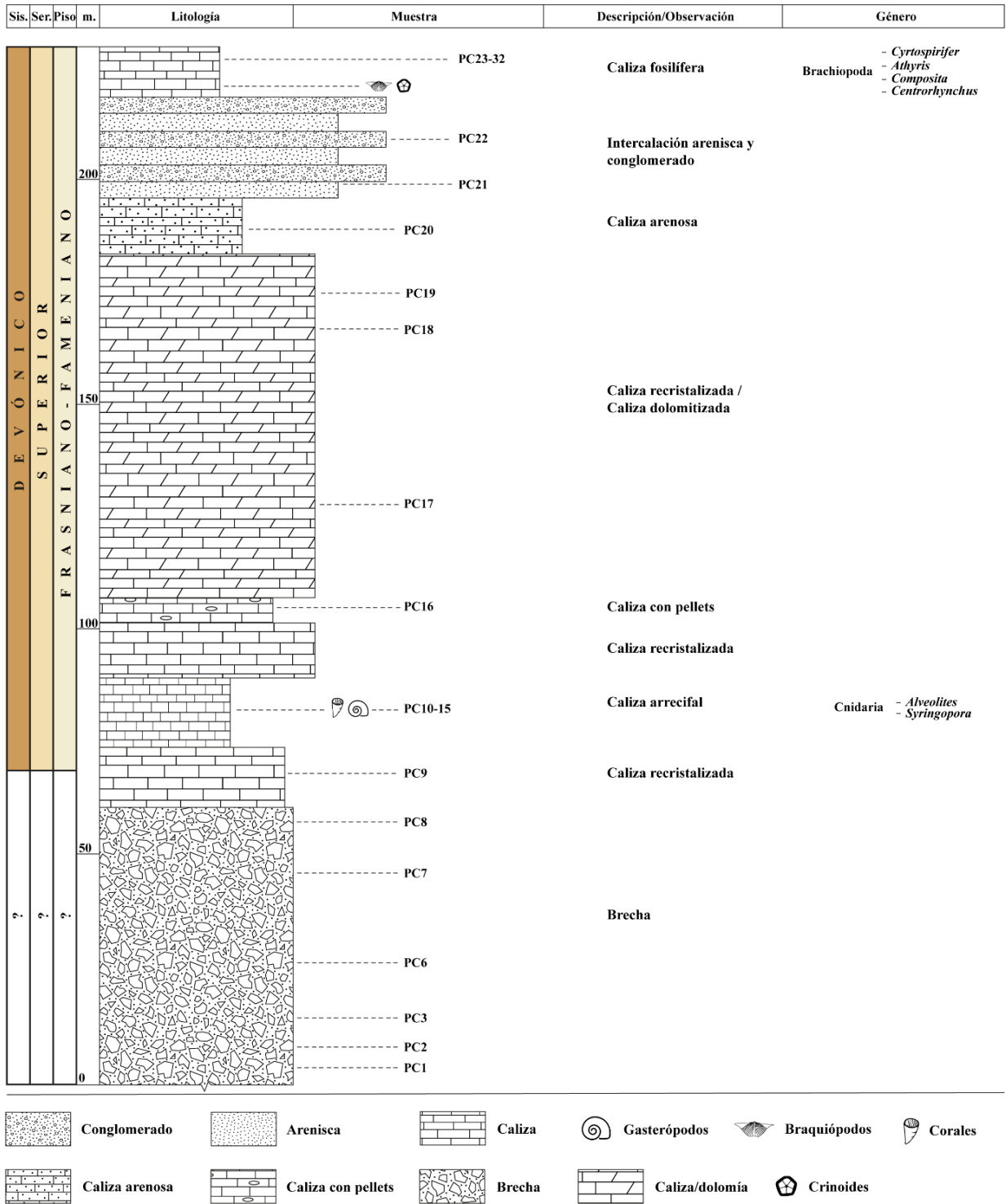


Figura 7. Columna estratigráfica de la sección “Peñascos Colorados”.

## V. Petrografía

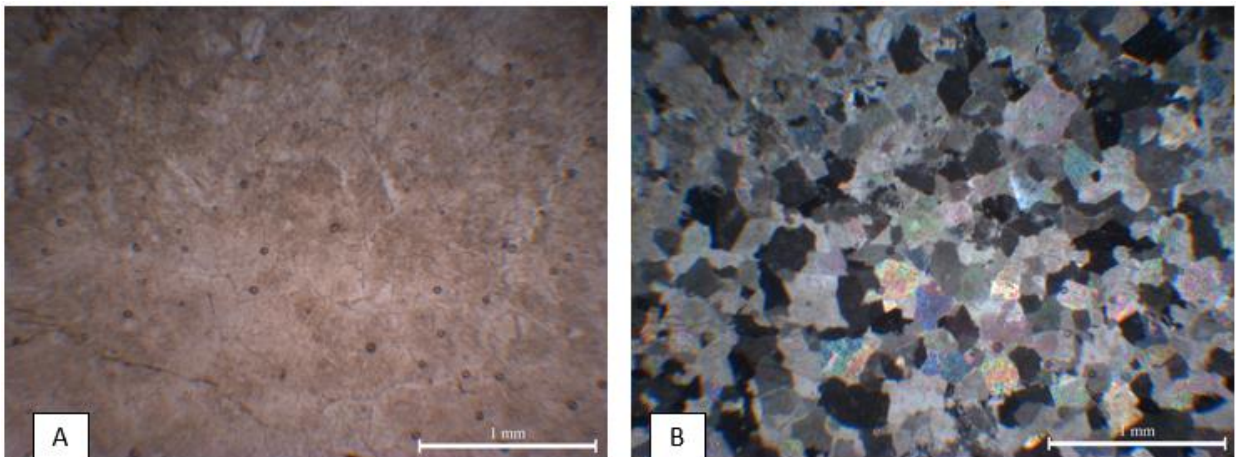
Para la clasificación de las muestras pertenecientes a la formación El Pollo ya mencionada se recurrió a las clasificaciones propuestas por los siguientes autores: Para las rocas carbonatadas se utilizó la clasificación de Folk composicional (1972) y Dunham textural (1962); complementando con la propuesta de Embry y Klovan (1972).

### Formación El Pollo (Informal)

Para esta formación se analizaron 32 láminas a las cuales se les tomaron 10 fotografías a cada una, correspondientes a biomicrita-Packstone, biomicrita-wackstone, caliza cristalina, boundstone, pelesparita-grainstone, biomicrita-packstone con aporte terrígeno, caliza dolomitizada, conglomerado y cuarzoarenita.

### Caliza Cristalina

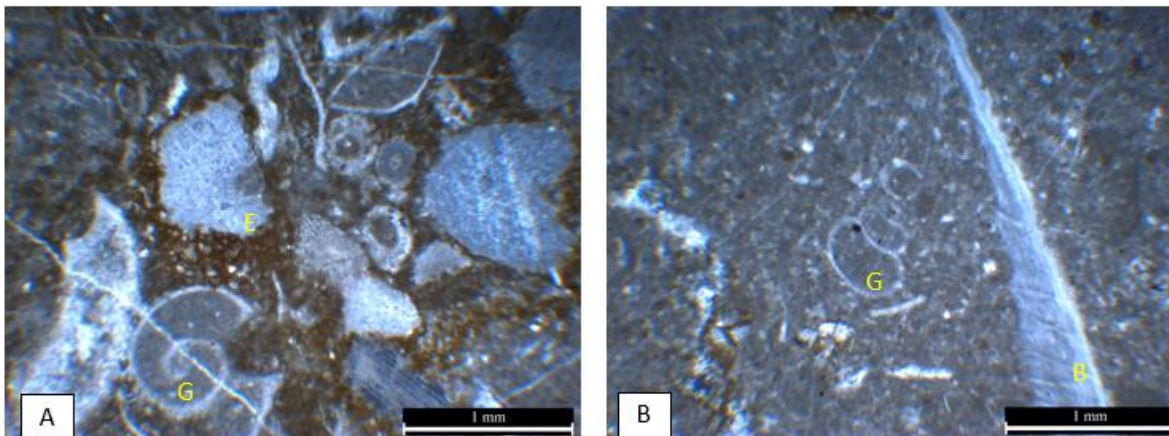
Presenta textura original no reconocible. Corresponde a la Muestra PC9. (Figura 8)



**Figura 8.** Se observan cristales de calcita en forma granular en LN y NC.

### **Biomicroita-Packestone**

Presenta textura matriz soportada, los ortoquímicos son microita (30%), los aloquímicos están representados por bioclastos como equinodermos (15%), ostrácodos (5%), gasterópodos (20%), pellet (20%) y fragmentos de braquiópodos (10%). Clasificado según Folk (1962) biomicroita, packestone según Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971) floatstone. Presenta vetillas rellenas de calcita. Corresponde a la Muestra PC10. (Figura 9).

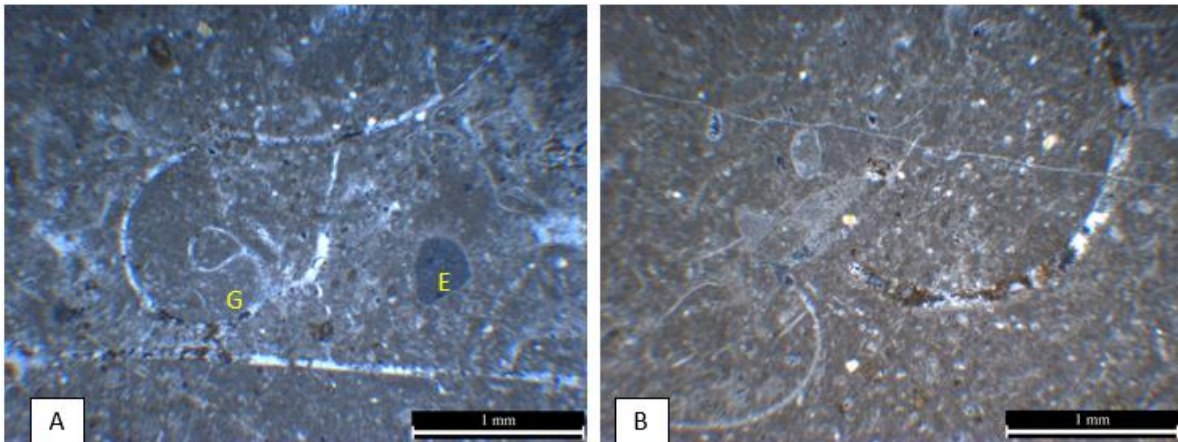


**Figura 9.** A) Biomicroita-Packestone se observan fragmentos de gasterópodos (G), equinodermos (E) y ostrácodos (O) en una matriz de microita. B) fragmentos de gasterópodos (G) y fragmento de braquiópodo (B) en una matriz de microita.

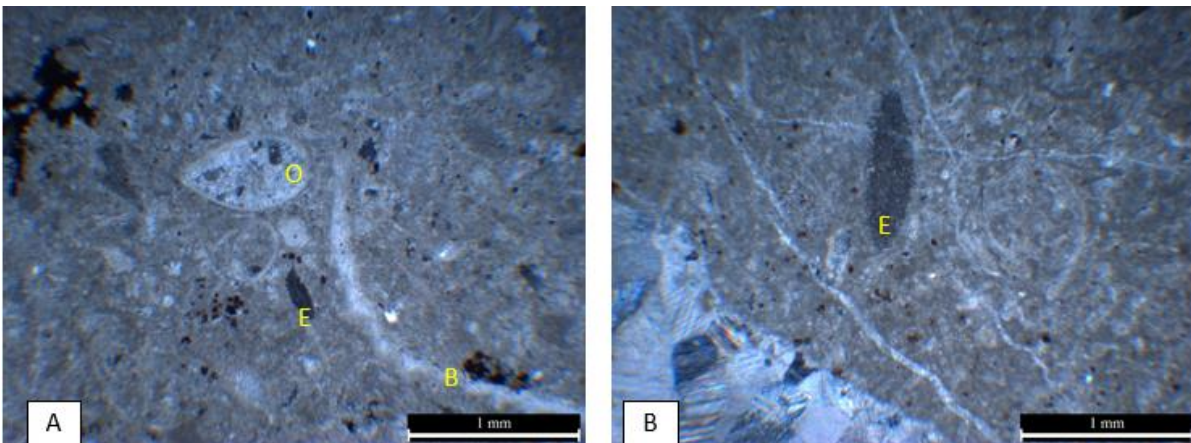
### **Biomicroita-Wackestone**

Textura matriz soportada, predominando los ortoquímicos por microita (50%), los aloquímicos que presenta son pellet (20%), equinodermos (15%), gasterópodos (4%), braquiópodos (4%) y ostrácodo (1%), briozoario (1%). Presenta aporte terrígeno (5%) representado por cuarzo monocristalino. Es clasificada como biomicroita (Folk, 1962), wackestone (Dunham, 1962) y floatstone (Embry y Klovan, 1971). Presenta óxido de Fe, estilolitos y vetillas de cuarzo. Está representada por las muestras PC11 y PC12 (Figura 10 y Figura 11).





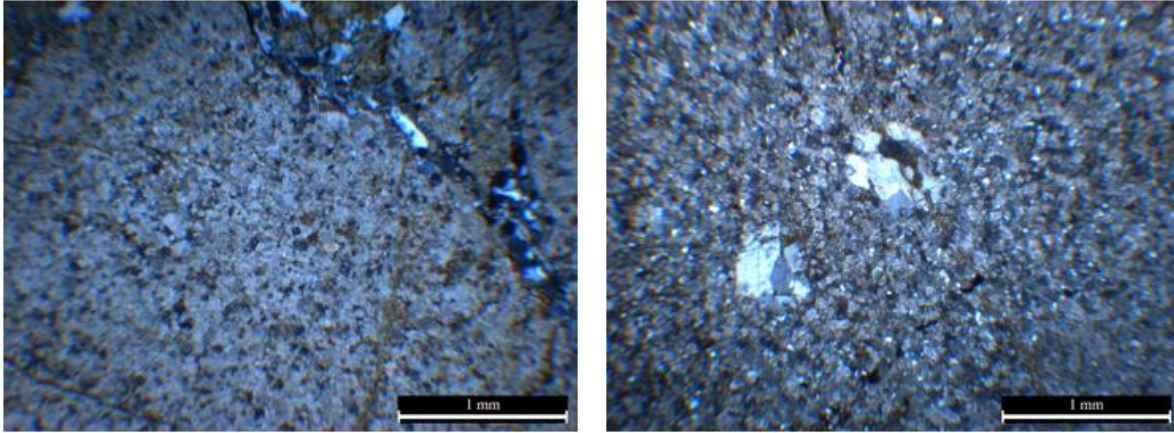
**Figura 10.** A) Biomicrita-Wackestone, se observan fragmentos de equinodermos (E) y fragmentos de gasterópodos (G) en una matriz de micrita. B) fragmento de ostrácodo y poco aporte terrígeno.



**Figura 11.** Biomicrita-Wackestone, presenta ostrácodos (O), fragmento de braquiópodo (B) y fragmentos de equinodermos (E) en una matriz de micrita. B) Se observan fragmentos de gasterópodos, fragmentos de equinodermos (E) y pellets.

### Caliza cristalina

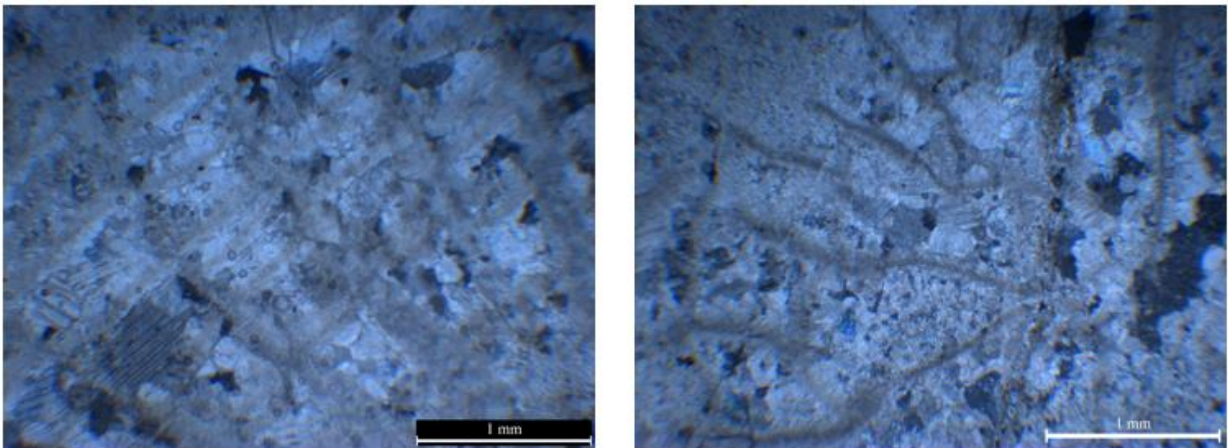
Textura cristalina, dolomitizada (95%), no presenta aloquímicos, con aporte terrígeno (5%) representado por cuarzo monocristalino y policristalino. Es clasificada como caliza cristalina (Dunham, 1962; Embry y Klovan, 1971). Está representada por las muestras PC13, PC17, PC18 y PC19 (Figura 12).



**Figura 12.** Caliza recristalizada. No presenta aloquímicos y el aporte terrígeno está representado por cuarzo monocristalino y policristalino.

### **Boundstone**

Textura cristalina, formada por corales arrecifales, soportada por un cementante tardío granular (tipo *blocky*). Presenta estilolitos. Está representada por las muestras PC14 y PC15 (Figura 13).

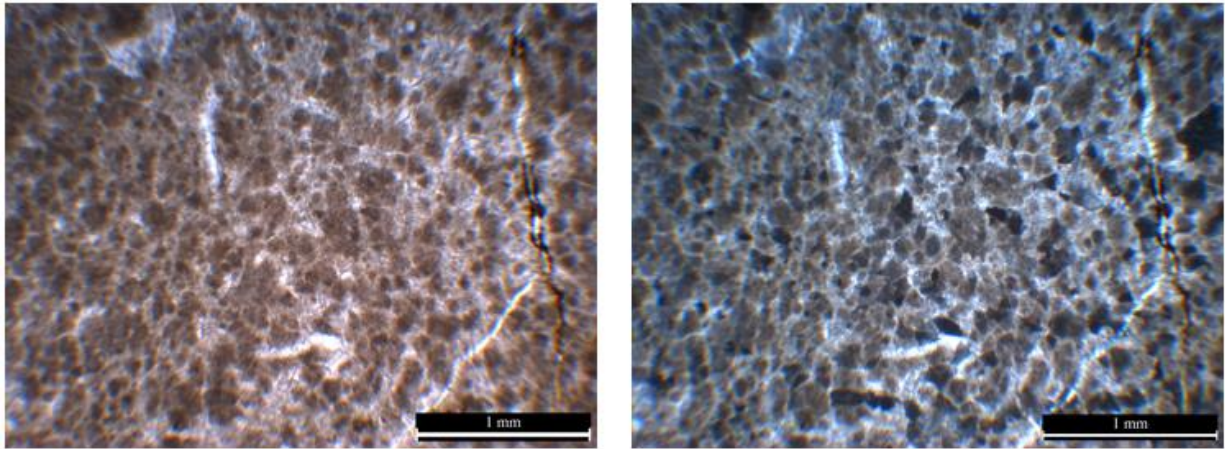


**Figura 13.** Boundstone. Corales solitarios y coloniales recristalizados.

### **Pelesparita-grainstone**

Presenta textura grano sostenida, ortoquímico compuesto por esparita (40%) y los aloquímicos representado por pellets (55%) y óxido de Fe (5%). Se clasifica según Folk

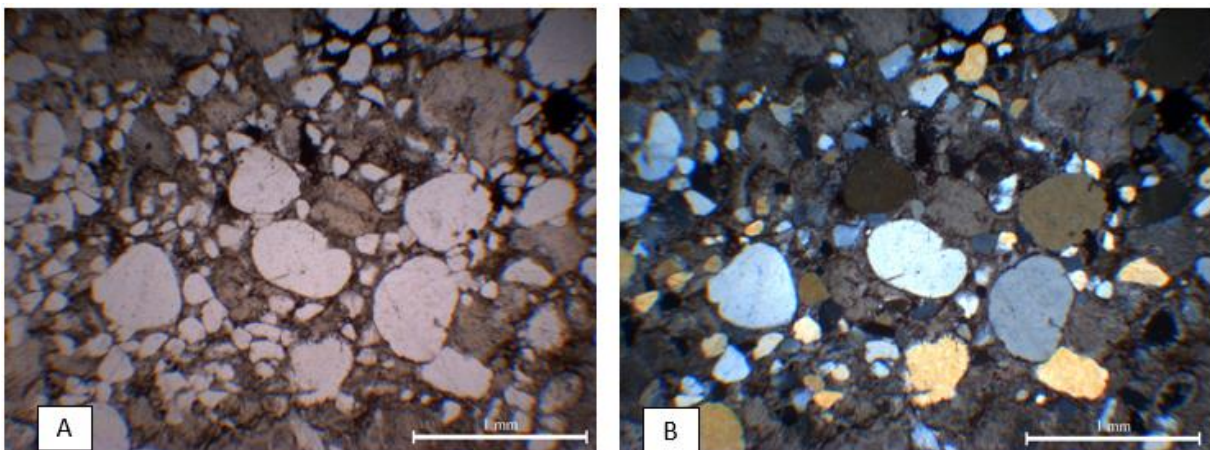
(1962) como pelesparita y Dunham (1962) como grainstone. Presenta estilolitos. Está representada por la muestra PC16 (Figura 14).



**Figura 14.** Pelesparita-Grainstone. Presenta pellets en cementante de esparita.

### **Biomicroita-Packstone con aporte terrígeno**

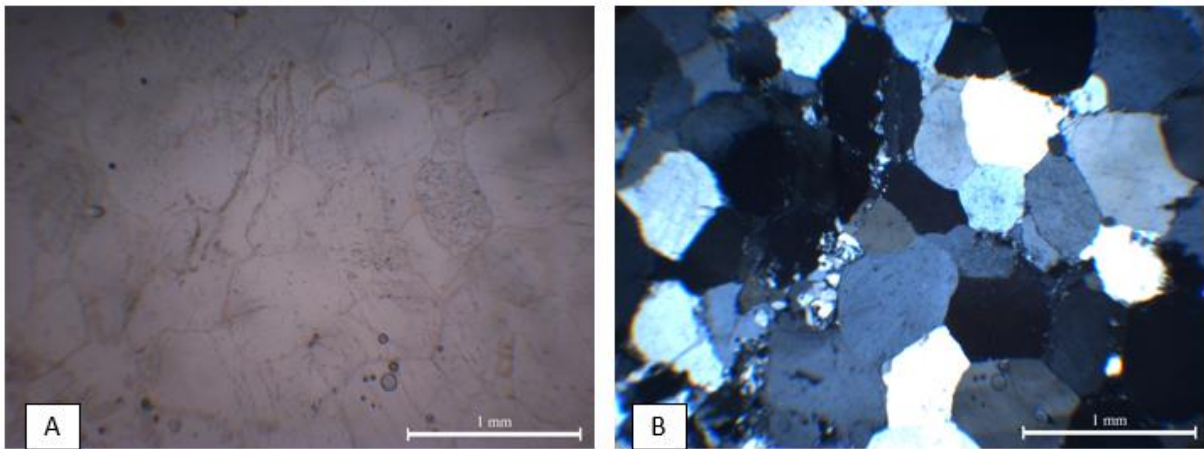
Presenta textura matriz soportada, los ortoquímicos son micrita (20%), los aloquímicos están representados por bioclastos como equinodermos (65%), se observa estilolitos, Presenta aporte terrígeno (15%) representado por cuarzo monocristalino y feldespatos, de forma redondeado. Clasificado según Folk (1962) como biomicroita y packstone según Dunham (1962). Corresponde a la Muestra PC20. (Figura 15).



**Figura 15.** A) Biomicroita-Packstone con aporte terrígeno representado por cuarzo monocristalino con LN. B) Se observan fragmentos de equinodermos en una matriz de micrita con NC.

## Cuarzoarenita

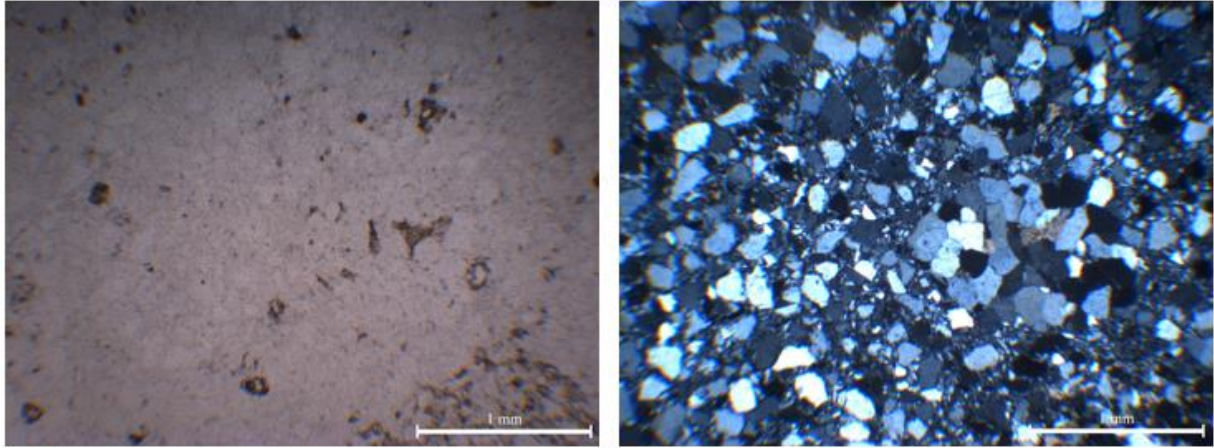
Compuesta por clastos de tamaño de grano grueso, presentan formas subangulosos a angulosos, se encuentra bien clasificado, el empaquetamiento es grano soportado, su contacto es longitudinal, con cementante de calcita, se considera texturalmente madura. Sus componentes principales: 95% de cuarzo monocristalino, 3% de feldespatos y 2% de fragmentos de roca (cuarzo policristalino). Según Pettijohn *et al.* (1973) se clasifica como una cuarzoarenita. Corresponde a la Muestra PC21. (Figura 16).



**Figura 16.** A) Cuarzoarenita con LN. B) Cuarzo monocristalino con cementante de pedernal, sintaxial y pelicular de óxido con NC.

## Conglomerado

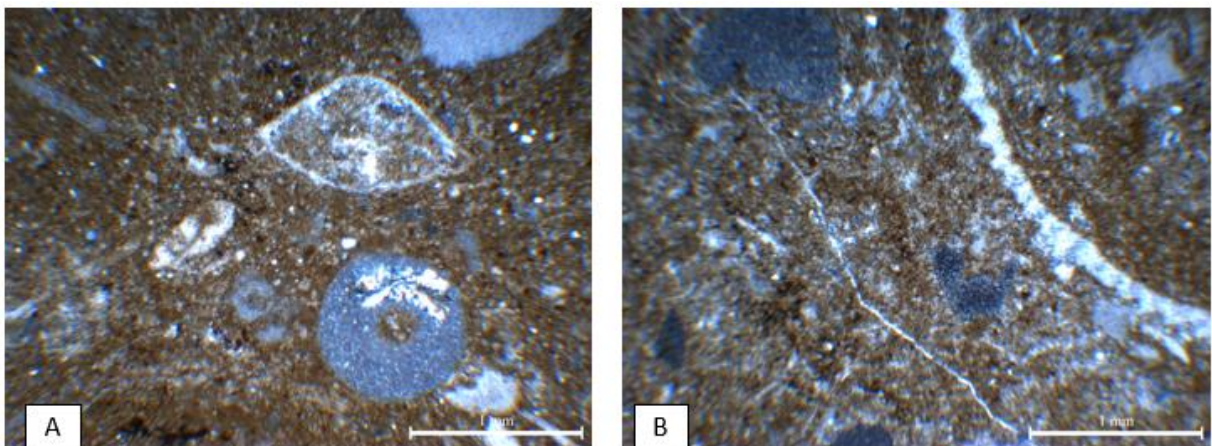
Compuesta por granos de tamaño mayor a 2 mm, presentan formas subredondeados a redondeados, se encuentran mal clasificados, el empaquetamiento es grano soportado, se encuentran en un cementante de sílice (pedernal). Sus componentes principales: fragmentos de rocas (arenisca de cuarzo). Según Pettijohn *et al.* (1973) se clasifica como un Ortoconglomerado monomíctico. Corresponde a la Muestra PC22. (Figura 17).



**Figura 17.** Conglomerado de fragmentos de roca (arenisca de cuarzo) en cementante de pedernal, LN y NC.

### **Biomicroita-Packestone**

Presenta textura matriz soportada, los ortoquímicos son microita (35%), los aloquímicos están representados por bioclastos como equinodermos (35%), ostrácodos (5%), pellet (10%) y fragmentos de braquiópodos (10 %). Presenta material terrígeno compuesto de cuarzo monocristalino (5%). Clasificado según Folk (1962) biomicroita, Packestone según Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971) floatstone. Corresponde a la Muestra PC23, PC24, PC25, PC26, PC27, C28, PC29, PC30, PC31, PC32 (Figura 18).



**Figura 18.** A) Se observan fragmentos de equinodermos y ostrácodos en matriz de microita. B) Presenta fragmentos de braquiópodos, fragmentos de equinodermos y material terrígeno.

Datos de petrográficos del cerro La Aguja (San Pedro de la Cueva, Sonora)													
Formación El Pollo (Informal)													
Número de muestra	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20	PC23	
Textura	Mudstone												
	Wackstone	✓	✓										
	Packstone										✓	✓	
	Grainstone					✓							
	Cristalina			✓			✓	✓	✓	✓			
	Floatstone												
	Rudstone												
	Framestone												
	Bounstone				✓	✓							
Dolomita								✓		✓	✓		
Siliciclásticos													
Aloquímicos	Intraclastos												
	Cortoides												
	Oolitas												
	Pelets	A				A					E	E	
	Agregados de granos												
	Briozoarios	R											
	Equinodermos	F	E				E				F	F	
	Braquiópodos	E	E								E	E	
	Corales				A	A							
	Gasterópodos	E											
	Ostrácodos	R	E								E	E	
	Otros												
Partículas de terrígenas		E	E	E	E						F		
Diagénesis	Cementante Temprano "A"	✓	✓										
	Cementante Tardío "B"					✓	✓						
	Neomorfismo	Coalescivo											
		Inversión											
		Recristalización		✓	✓	✓	✓						
	Estilolitas		✓			✓	✓						
	Porosidad												
	Dolomitización			✓				✓	✓	✓	✓		
	Dedolomitización												
Silicificación													
Minerales autigénicos													

**Figura 19.** Petrografía de Cerro La Aguja, San Pedro de la Cueva, Sonora.  
Abundancia de los componentes: ✓ Presencia, **A** Abundantes, **F** Frecuentes, **E** Escasos, **R** Raros, **T** Trazas.

## VI. Paleontología sistemática

Phylum Brachiopoda Duméril, 1806

Subphylum Rhynchonelliformea Williams et al., 1996

Clase Rhynchonellata Williams et al., 1996

Orden Rhynchonellida Kuhn, 1949

Superfamilia Rhynchotrematoidea Schuchert, 1913

Familia Trigonirhynchiidae Schmidt, 1965

Subfamilia Hemitoechiinae Savage, 1996

Género *Sartenaerus* (Sartenaer, 1970) Özdikmen, 2008

Especie tipo: *Camarotoechia baitalensis* Reed, 1922

*Sartenaerus* sp.

(Figura 20)

**Diagnosis.** Concha de contorno subpentagonal con valvas cubiertas por costillas simples y subangulares bien delimitadas que surgen en los picos (beaks); surco ventral y pliegue dorsal que surgen en los umbones, comisura anterior uniplicada y líneas concéntricas de crecimiento distintas. Comisura Concha gruesa, valva ventral relativamente plana con surco obsoleto mal definido, valva dorsal convexa. Pico suberecto; foramen circular.

**Distribución geográfica.** Se ha identificado la presencia del género *Sartenaerus* en depósitos de plataforma carbonatada de Irán, Afganistán, Turquía, Asia central (Cordillera de Pamir), Sur de China, oeste de Europa, Rusia, Norte América, y Australia (Williams *et al.*, 2002; Özdikmen, 2008; Ma *et al.*, 2009)

**Discusión.** El braquiópodo triconirrínquido *Sartenaerus* fue descrito por Özdikmen (2008) dentro de un análisis de nomenclatura para ocho nombres de grupos de género en

Brachiopoda. Aunque el género *Centrorhynchus* es utilizado frecuentemente como género tipo de la familia Centrorhynchidae en Acanthocephala. Özdikmen (2008) sugirió que *Centrorhynchus* Sartenaer, 1970 es un homónimo menor del género *Centrorhynchus* Luehe, 1911, por lo que se propuso *Sartenaerus* como nombre de reemplazo. Reed (1922) describió por primera vez *Sartenaerus baitalensis* del Famenniano de Pamir, Asia central; mientras que Abrahamyan (1957) reporta a la especie por primera vez en la Zona de *Cyrtospirifer orbelianus* del Famenniano inferior (Serobyán *et al.*, 2021).



**Figura 20.** *Sartenaerus* sp.



Orden Athyridida Boucot, Johnson, y Staton, 1964

Suborden Athyrididina Boucot, Johnson, y Staton, 1964

Superfamilia Athyridoidea Davidson, 1881

Familia Athyrididae Davidson, 1881

Subfamilia Spirigerellinae Grunt, 1965

Género *Composita* Brown, 1845

Especie tipo: *Spirifer ambiguus* Sowerby, 1822

*Composita* sp. cf. *C. subtilita* Hall, 1852

(Figura 21)

**Diagnosis.** Concha lisa de forma globular moderadamente a fuertemente biconvexa, más ancha cerca de la mitad de la longitud, relativamente oxidada. Líneas de crecimiento concéntricas bien marcadas e irregularmente espaciadas que se vuelven más prominentes hacia la parte anterior. La superficie exterior de las valvas es suave. Valva peduncular convexa en el ápice, perforada por foramen grande de forma ovalada en el pico de la valva. En la parte anterior, el pliegue dorsal y el surco ventral son notorios. Valva braquial ligeramente más convexa en la parte posterior, curveándose gradualmente desde la mitad de la longitud hasta los márgenes de la concha.

**Distribución geográfica.** Cosmopolita.

**Discusión.** El género *Composita* es considerado diferente de *Athyris* debido a la ornamentación de la superficie (Hall y Clarke, 1894). Además, las líneas de crecimiento en *Composita* son menos pronunciadas e imbricadas que en *Athyris*. Es posible que el género *Composita* se derivó de una forma del Devónico Superior del género *Athyris* (Grinnell y Andrews, 1964). Se ha documentado la presencia del género *Composita* en afloramientos del Famenniano (Devónico Superior) – Guadalupiano (Pérmico superior), aunque también se ha sugerido una primera aparición desde el Misisípico temprano (Grinnell y Andrews, 1964). Sin embargo, diversos conjuntos de *Composita* de diferentes localidades presentan

intergradación entre formas reconocibles en cualquier horizonte estratigráfico, por lo tanto, ha causado problemas considerables en la nomenclatura (Lutz-Garihan, 1976). Esto debido a que algunas especies tipológicas descritas corresponden a variantes morfológicas. En consecuencia, algunos autores han colocado todas las formas de intergraduación en una sola especie (Sutherland y Harlow, 1967), y otros morfotipos dentro de una especie (Lutz-Garihan, 1976).



**Figura 21.** *Composita* sp. cf. *C. subtilita*.

Subfamilia Athyridinae Davidson, 1881

Género *Athyris* M'Coy, 1844

Especie tipo: *Terebratula concentrica* von Buch, 1834

*Athyris* cf. *A. concentrica* (von Buch, 1834) M'Coy, 1844

(Figura 22)

**Diagnosis.** Concha subpentagonal redondeada, moderadamente dorsibiconvexa. Superficie de ambas valvas cubierta por numerosas líneas de crecimiento concéntricas. Valva ventral relativamente plana. Comisura anterior fuertemente uniplicada con un pliegue bien desarrollado y un surco angosto que se origina en el pico ventral. La línea de charnela moderadamente curvada. La valva dorsal más convexa que la ventral, con la superficie curvándose fuertemente desde el umbo hacia el margen cardinal, el pico dirigido ventralmente y sobre el deltirium.

**Distribución geográfica.** Cosmopolita.

**Discusión.** El nombre *Athyris* ha sido frecuentemente utilizado y es establecido como el género tipo del grupo familiar nominal Athyrididae, y al Suborden Athyrididina (Álvarez *et al.*, 1996); sin embargo, la falta de evidencia correspondientes a la especie tipo *Terebratula concentrica* von Buch (1834) ha causado controversia para establecer a la especie como tipo del género. Álvarez *et al.* (1996) sugieren que el concepto y la descripción original de *T. concentrica* corresponda a la especie tipo de *Athyris*, por lo que seleccionaron un neotipo para *T. concentrica* y describieron nuevamente la especie, basado en las descripciones de von Buch (1834).



**Figura 22.** *Athyris* cf. *A. concentrica*

Orden Spiriferida Waagen, 1883

Suborden Spiriferidina Waagen, 1883

Superfamilia Cyrtospiriferoidea Termier y Termier, 1949

Familia Cyrtospiriferidae Termier y Termier, 1949

Subfamilia Cyrtospiriferinae Termier y Termier, 1949

Género *Cyrtospirifer* Nalvkin in Frederiks, 1924

Especie tipo: *Spirifer verneuili* Murchison, 1840

*Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili* (Murchison, 1840) Nalivkin en Fredericks, 1924

(Figura 23)

**Diagnosis.** Concha vertibiconvexa, moderadamente transversales. Margen cardinal recto; interárea ventral alta, fuertemente curvada, apsaclinada; interárea dorsal linear. Comisura anterior uniplicada. Pliegue y surco definido, aunque no prominente. Ornamentación de costillas simples y redondeadas, separadas por surcos estrechos.

**Distribución geográfica.** Cosmopolita.

**Discusión.** Murchison (1840) estudió y describió material bien preservado procedente de Boulonnais, Francia y regiones de Bélgica, donde estableció que *Spirifer verneuili* era similar a *S. disjuncta*, aunque posteriormente *S. verneuili* fue asignado como especie tipo del género *Cyrtospirifer* Nalivkin en Fredericks, 1924. Algunos autores han considerado a *S. verneuili* como holotipo (Grabau, 1931; Paeckelmann, 1942; Brice, 1988), no obstante, recientes estudios han designado formalmente el holotipo de *verneuili* como el lectotipo de la especie (Sartenaer, 2017). Además, la confusión en designar a *Cyrtospirifer verneuili* y *Cyrtospirifer disjunctus* como la especie tipo de *Cyrtospirifer* ha originado sinonimias del género, entre los que destaca *Eurytatospirifer* Gatinaud, 1949. Sartenaer (2017) establece que estos criterios son irrelevantes, ya que las dos especies difieren en tamaño y forma de la concha, y en costación, por lo que es necesario realizar una redescipción y comparación exhaustiva de las dos especies, basado en los lectotipos seleccionados y materiales topotípicos adicionales.



**Figura 23.** *Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili*

*C. whitneyi* (Hall, 1858) Cooper, 1944

(Figura 24)

**Diagnosis.** Los caracteres principales para identificar a *C. whitneyi* corresponden a su pliegue estrecho y sus plicaturas primas simples; interárea ventral cóncava, el área varía y la concavidad es apsaclinada.

**Distribución geográfica.** *Cyrtospirifer whitneyi* es similar a *Cyrtospirifer archiaci* (= *Spirifer archiaci*), la cual fue descrita originalmente por Murchison *et al.* (1845) en Rusia. Asimismo, Lyashenko (1959) identificó la especie en estratos del Famenniano inferior en Rusia. Se ha documentado la presencia de *Cyrtospirifer whitneyi* en el Miembro Cerro Gordo de la Formación Lime Creek del Frasniano superior en Rockford, Iowa (Ma y Day, 2003). Ma y Day (2003) establecen una correlación regional con otros depósitos del Frasniano superior de Norte América, particularmente con el Miembro Jerome de la Formación Martin (Arizona), la Formación Sly Gap (Nuevo México), las formaciones Mount Hawk y Southesk (Alberta), y las formaciones Redknife, Kakisa, y Hay River (Territorios del Noroeste).

**Discusión.** *Cyrtospirifer whitneyi* muestra una amplia gama de variaciones fenotípicas en términos de la forma general de su caparazón (Ma y Day, 2003). La placa deltirial y las placas dentales de *C. whitneyi* del Frasniano medio tardío varían desde delgadas a gruesas; una variedad de especies del Frasniano, incluyendo *C. thalattodoxa* Crickmay, 1952, *C. verneuili*, *C. placitus* Stainbrook, 1945, *C. sinensis* (Grabau, 1931) y *C. syringothyriiformis* Paeckelmann, 1942, tienen una placa deltirial y placas dentales engrosadas (Ma y Day, 2007). La mayoría de las especies del género *Cyrtospirifer*, como *C. whitneyi*, *C. preshoensis* Greiner, 1957, *C. cf. C. thalattodoxa* y *C. placitus* se han identificado en Norte América (Ma y Day, 2007).

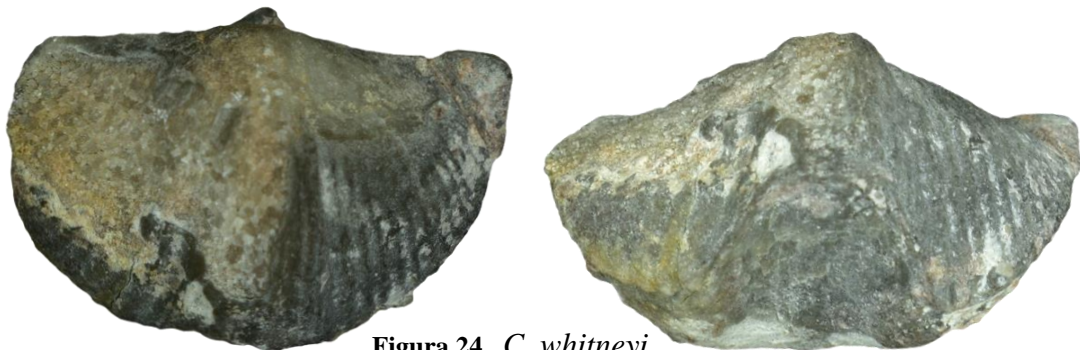


Figura 24. *C. whitneyi*

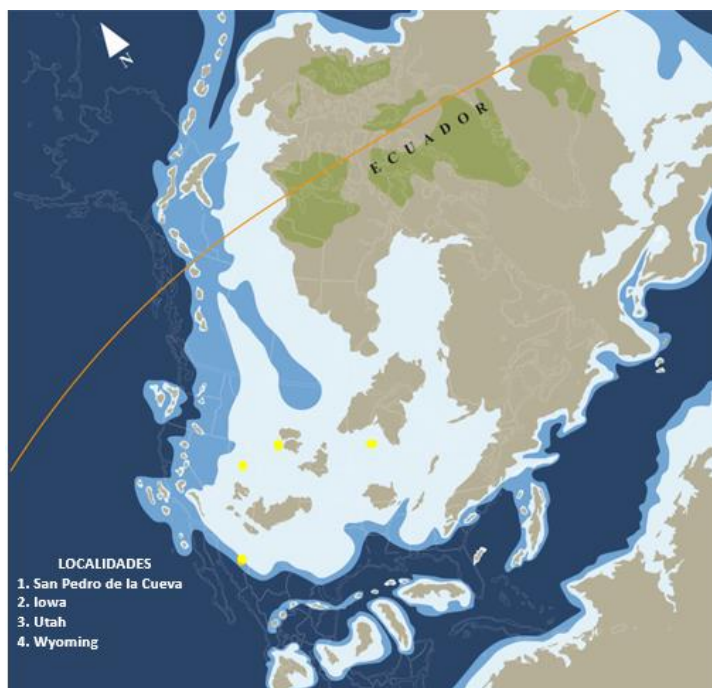
## VII. Consideraciones paleogeográficas

La fragmentación y dispersión del supercontinente Rodinia provocó la evolución geográfica, existen durante el Proterozoico, lo que originó diversos cratones: Laurentia, Báltica, Australiano, Africano, entre otros (Weil *et al.*, 1998).

El cratón Norteamericano (Laurentia) es uno de los continentes más grandes, conformado mayormente por América del Norte. Las rocas sedimentarias paleozoicas del noroeste de México se depositaron al sur de Laurussia (Laurentia), en el extremo más occidental del océano Reico. Una sección extensa de este margen sur se registra en el Estado de Sonora (Navas-Parejo, 2015).

En la Sierra Agua Verde se encuentra uno de los mejores afloramientos de la plataforma continental del Devónico Superior, en el centro-este de Sonora (Stewart *et al.*, 1999). El afloramiento está conformado por caliza, cuarzita y arenisca, con un espesor de 420 m.

La distribución paleogeográfica de braquiópodos del Subphylum Rhynchonelliformea en Norteamérica es correlacionable con los existentes en el Estado de Sonora (Figura 25).



**Figura 25.** Reconstrucción paleogeográfica entre Sonora y el cratón Norteamericano durante el Devónico. Modificado de Blakey, 2013.

## VIII. Discusiones

En Sonora, el Silúrico y Devónico Inferior se encuentra representado por escasos afloramientos, así como también una biota pobremente identificada (Poole y Amaya-Martínez, 2000; Stewart y Poole, 2002; Cuen-Romero *et al.*, 2020). Sin embargo, es posible reconocer asociaciones fósiles bien preservados, particularmente géneros de braquiópodos *Rhynchonelliformea* del Devónico.

El género *Composita* corresponde a uno de los géneros de mayor abundancia y alcance de braquiópodos del Paleozoico tardío en Norteamérica (Grinnell y Andrews, 1964). Es posible reconocer una variedad de características morfológicas particulares dentro del género, tales como formas emarginadas, trilobuladas, ovadas, gibosas y pentagonales; sin embargo, su forma relativamente simple no parece variar marcadamente a lo largo de su rango estratigráfico (Grinnell y Andrews, 1964).

En Norteamérica, *C. subtilita* se encuentra en potentes capas de lutita calcárea y caliza fosilífera, la cual incluye abundantes braquiópodos y moluscos (Lutz-Garihan, 1976). Se ha sugerido que tales secuencias se depositaron en un ambiente marino más salobre que de un ambiente con salinidad normal, o posiblemente incluso ligeramente hipersalina (caliza con presencia de algas), no obstante, se determinó que la distribución de *C. subtilita* está relacionada con condiciones de salinidad normal y el escaso suministro de sedimentos (Lutz-Garihan, 1976). En Sonora, se ha identificado la presencia de *Composita* sp. cf. *C. subtilita* dentro de una asociación de braquiópodos del Paleozoico tardío de la sierra Agua Verde (Jiménez-López *et al.*, 2018); el ejemplar reconocido presenta afinidad con algunas especies del Misisípico de Wyoming y Utah. Además, se sugiere que *Composita* sp. cf. *C. subtilita* y la asociación biótica de la sierra Agua Verde, la cual incluye esponjas, corales, briozoos, vermes y otros braquiópodos, corresponden a un ambiente de plataforma somera a moderada con aporte de material terrígeno, de salinidad normal en condiciones tropicales (Jiménez-López *et al.*, 2018).

Los braquiópodos del Orden Athyridida desempeñaron un papel fundamental en la composición de comunidades bentónicas desde finales del Ordovícico hasta finales del Triásico (Copper y Gourvenec, 1996; Grunt y Racki, 1998). El análisis de su distribución estratigráfica demuestra la ciclicidad en el desarrollo del grupo, que se correlaciona con



cambios paleogeográficos y eustáticos relevantes (Grunt, 1989). Durante el Devónico tardío, se presentó la extinción masiva del Frasniano-Famenniano (F-F) lo cual ocasionó una gran disminución en la diversidad de los athyrididos. Estos braquiópodos athyrididos sobrevivieron con éxito a las fluctuaciones eustáticas y térmicas, y a los eventos hipóxicos en la crisis o Evento de Kellwasser, así como a las condiciones de agua regresivas y progresivamente más frías comunes durante el Famenniano (Walliser, 1996), y se recuperaron como resultado de pulsos transgresivos. Por lo tanto, los conjuntos del Famenniano son especialmente distintivos en la composición taxonómica, a pesar de la tendencia continua hacia la reducción general de la diversidad (Grunt y Racki, 1998).

Por otro lado, los braquiópodos cyrtospiriferidos de las subfamilias Cyrtospiriferinae y Cyrtiopsinae son elementos importantes de las faunas sobrevivientes y de recuperación posteriores a la extinción de Famenniano que migraron e irradiaron rápidamente para ocupar nichos desocupados por clados extintos de braquiópodos de Frasniano tardío (Ma y Day, 2007).

## **IX.- Conclusiones**

Se realizó por primera vez una sección al noroeste del cerro La Aguja, San Pedro de la Cueva, Sonora, México, con la cual es posible concluir algunos aspectos sobre la estratigrafía, cartografía y paleontología del área de estudio.

Se describen por primera vez cinco especies de braquiópodos, los cuales corresponden a *Sartenaerus* sp., *Composita* sp. cf. *C. subtilita*, *Athyris* cf. *A. concentrica*, *Cyrtospirifer* cf. *C. verneuili*, *C. whitneyi*, del Devónico Superior, siendo una fauna asociada a localidades del Devónico Superior de diversas regiones de Estados Unidos.

Desde el punto de vista estratigráfico, mediante la litología presente, se realizó una correlación con la formación El Pollo perteneciente al grupo Agua Verde, compuesta por caliza, caliza dolomitizada, dolomía, caliza arenosa en capas delgadas a masivas y arenisca de grano medio a grueso con abundante pedernal, con un espesor de 206 metros.

Se propone un cambio en la cartografía de la carta San Pedro de la Cueva H12-D34 escala 1:50 000, modificando la edad de la localidad estudiada, previamente asignada, de Cretácico Inferior reasignándolo al Devónico.

## IX. Referencias bibliográficas

- Abrahamyan, M. S., (1957). Brachiopods of Upper Famennian and Etroeungt Deposits of SW Armenia. Akademy Nauk Armyan SSR, Institut Geologii Nauk, Erevan, 142 pp. (in Russian).
- Almazán-Vázquez, E., Buitrón-Sánchez, B. E., Vachard, D., Mendoza-Madera, C., & Gómez-Espinosa, C. (2007). The late Atokan (Moscovian, Pennsylvanian) chaetetid accumulations of Sierra Agua Verde, Sonora (NW Mexico): composition, facies and palaeoenvironmental signals. *Geological Society, London, Special Publications*, 275(1), 189-200.
- Álvarez, F., 1996. *Meristella* Hall, 1859 (Brachiopoda): proposed designation of *Atryapa laevis* Vanuxem, 842 as the type species. *Bulletin of Zoological Nomenclature* 53, 182-183.
- Bartolini, C., Damon, P.E., Shafiqullah, M., Morales-Montaña, M., (1994), Geochronologic contribution to the Tertiary sedimentary–volcanic sequences (Báucarit Formation) in Sonora, México: *Geofísica Internacional*, 33, 67–77.
- Benton, M.J. y Harper, D.A.T. (2009). *Introduction to paleobiology and the fossil record*. Blackwell Publishing, Oxford, 592 p.
- Bilodeau, W. L., & Lindberg, F. A. (1983). Early Cretaceous tectonics and sedimentation in southern Arizona, southwestern New Mexico, and northern Sonora, Mexico. *Rocky Mountain Section (SEPM)*.
- Blakey, R. C. (2013). Using paleogeographic maps to portray Phanerozoic geologic and paleotectonic history of western North America. *AAPG Bulletin*, 97(1), 146.
- Boucot, A. J., Johnson, J. G., & Staton, R. D. (1964). On some atrypoid, retzioid, and athyridoid Brachiopoda. *Journal of Paleontology*, 805-822.
- Brice, D. 1988. Brachiopodes du Dévonien de Ferques (Boulonnais-France). In D. Brice (ed.), *Le Dévonien de Ferques. Bas-Boulonnais (n. France)*. *Biostratigraphie du Paléozoïque*, 7:323–395.
- Brown, Thomas. 1845. *Illustrations of the fossil conchology of Great Britain and Ireland, with descriptions and localities of all species, parts 24–28*. Maclachlan and Stuwart, Smith, Elder. Edinburgh & London. p. 117–136.
- Brusca, R. C., & Brusca, G. J. (2005). *Invertebrados (No. Sirsi) i9788448602468*. México^ eD. FDF: McGraw-Hill Interamericana.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Chacón-Wences, O., Vachard, D., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C., & Sour-Tovar, F. (2015). Pennsylvanian biota of the Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico: biostratigraphic and paleogeographic considerations. *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(2), 521-527.
- Buitrón-Sánchez, B. E., Gómez-Espinosa, C., Almazán-Vázquez, E., & Vachard, D. (2007). A late Atokan regional encrinite (early late Moscovian, Middle Pennsylvanian) in the Sierra Agua Verde, Sonora state, NW Mexico. *Geological Society, London, Special Publications*, 275(1), 201-209.

- Calmus, T., Amaya-Martínez, R., Roldán-Quintana, J., (2010). Libroto guía de la excursión GeoLarámide, 4-5 de marzo, 26 pp.
- Cooper, G. A., (1944). Phylum Brachiopoda. In H. W. Shimer & R. R. Schrock, Index Fossils of North America. Wiley & Sons. New York. p. 277–365, pl. 105–143.
- Copper, P., & Gourvenec, R., (1996). Evolution of the spire-bearing brachiopods (Ordovician–Jurassic). En Paul Copper & J. Jin, eds., Brachiopods: Proceedings of the Third International Brachiopod Congress, Sudbury, Ontario, Canada, 2–5 September 1995. A. A. Balkema. Rotterdam. p. 81–88.
- Crickmay, C. H. (1952b). Nomenclature of certain Devonian brachiopods. Author, Imperial Oil Limited, Calgary, Alberta, 2 p.
- Cuen-Romero, F. J., Reyes-Montoya, D. R., & Noriega-Ruiz, H. A. (2020). El Paleozoico inferior de Sonora, México: 120 años de investigación paleontológica. *Paleontología Mexicana*, 9(1), 1-15.
- Davidson, T., (1881). On genera and species of spiral-bearing Brachiopoda from specimens developed by Rev. Norman Glass: with notes on the results obtained by Mr. George Maw from extensive washings of the Wenlock and Ludlow shales of Shropshire: *Geological Magazine*, v. 8, p. 1–13.
- Demant, A., Cochemé, J. J., Montigny, R., Joron, J. (1993), The Tertiary Yécora Caldera, Sonora, México. III simposio de geología de Sonora y áreas adyacentes. p. 173-184.
- Dumble, E. T. (1900). Notes on the geology of Sonora. México: American Institute of Mining Engineers Transactions, 29, 122-152.
- Duméril, A.M.C., (1806). *Zoologie Analytique ou Méthode Naturelle de Classification des Animaux: XXIV*, Allais (París). Pp3. 344.
- Dunham, R.J. (1962) Classification of Carbonate Rocks according to Deposotional Texture. *American Association of Petroleum Geologist*, 1, 108-121.
- Embry, A. F., & Klovan, J. E. (1972). Absolute water depth limits of Late Devonian paleoecological zones. *Geologische Rundschau*, 61(2), 672-686.
- Folk, R.L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. *Amer. Ass. Petrol Geol. Mem.* 1, 62-84.
- Gantinaud, G. (1949). Contributions à l'étude des Brachiopodes Spiriferidae. I.—Exposé d'une nouvelle méthode d'étude de la morphologie externe des Spiriferidae a sinus plissé. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, série 2, 21(1):153–159; (2):300–307; (3):408–413; (4):487–492.
- Grabau, A. W. (1931–1933). Devonian Brachiopoda of China, I: Devonian Brachiopoda from Yunnan and other districts in South China. *China Geological Survey, Palaeontologia Sinica*, series B, 3, Fascicle 3, 545 p.
- Greiner, H., (1957). “Spirifer disjunctus”: Its evolution and paleoecology in the Catskill delta. *Peabody Museum of Natural History (Yale University) Bulletin*, 11, 75 p.

- Grijalva, N.F. & Roldán Q.J. (1998). An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(2), 145-156.
- Grinnell, R. S., & G. W. Andrews. 1964. Morphologic studies of the brachiopod genus *Composita*. *Journal of Paleontology* 38:227-248.
- Grunt, T. A., & Racki, G. (1998). Late Frasnian Athyridida [Brachiopoda] from Poland and the Late Devonian biotic turnover. *Acta Palaeontologica Polonica*, 43(2).
- Grunt, T. A., (1965). Nadsemeistvo Athyridasea [Superfamily Athyridacea]. In V. E. Ruzhencev & T. G. Sarycheva, eds., *Razvitie i smena morskikh organizmov na rubezhe paleozoiia i mesozoiia* [Evolution and change of marine organisms at the Paleozoic-Mesozoic boundary]. Akademiia Nauk SSSR, *Trudy Paleontologicheskogo Instituta* 108:237–253.
- Grunt, T. A., (1989). Otriad Atiridida (evoliutsionnaia morfologiia i istoricheskoe razvitie) [Order Athyridida (evolutionary morphology and phylogeny)]. *Akademiia Nauk SSSR, Trudy Paleontologicheskogo Instituta* 238:1–141.
- Hall, J., & Clarke, J. M., (1894), An Introduction to the study of the genera of Paleozoic Brachiopoda: New York Geol. Survey, v. 8, pt. 2, 394 p., 84 pls. - & Whitfield, R. P., 1877, Paleontology: U. S. Geol. Exploration of the Fortieth Parallel, v. 4, pt. 2, p. 197-302, pls. 1-7.
- Hall, J., (1852). *Palaeontology of New York*, vol. 2. Containing descriptions of the organic remains of the lower middle division of the New-York system (equivalent in part to the middle Silurian rocks of Europe). C. van Benthuysen. Albany. 362 p., 104 pl.
- Hall, J., (1858). Report on the geological survey of the state of Iowa; embracing the results of investigations made during portions of the years 1855–1857. In J. Hall & J. D. Whitney, eds., *Palaeontology*, vol. 1, part 2. Published by authority of the legislature of Iowa. Des Moines. p. 473–724, pl. 1–29.
- Jiménez-López, J. C., Sour-Tovar, F., Buitrón-Sánchez, B. E., & Palafox-Reyes, J. J. (2018). Braquiópodos del Paleozoico tardío de la sierra Agua Verde, Sonora; implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 89(3), 637-650.
- Kuhn, O., (1949). *Lehrbuch der Palaeozoologie*. Stuttgart: E. Schweizerbart. Pp.326.
- López-Ramos, E. (1969). Rocas Paleozoicas Marinas de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 15-44.
- Luehe, M., (1911). *Acanthocephala: register der Acanthocephalan und parasitischen Plattwürmer, geordnet nach ihren Wirten: Süßwasserfauna Deutschlands eine Exkursionsfauna*, v. 16, p. 1–116.
- Lutz-Garihan, A. B. (1976). *Composita Subtilita* (Brachiopoda) in the Wreford Megacyclothem (Lower Permian) in Nebraska, Kansas, and Oklahoma.
- Lyashenko, A.I. [Lâsenko, A.I.] (1959). Atlas brahiopod i stratigrafiâ devonskih otloženij central'nyh oblastej Russkoj Platformy. 451 pp. Gostoptehizdat, Moskva.
- M'Coy, F., (1844). A Synopsis of the Characters of the Carboniferous Limestone Fossils of Ireland. Williams & Norgate. London. 207 p., 34 fig., 29 pl.

- Ma, X. P., Liao, W., & Wang, D. (2009). The Devonian System of China, with a discussion on sea-level change in South China. Geological Society, London, Special Publications, 314(1), 241-262.
- Ma, X. P., & Day, J., 2003. Revision of North American and selected Eurasian Late Devonian (Frasnian) species of *Cyrtospirifer* and *Regelia* (Brachiopoda). *Journal of Paleontology*, 77:267–292.
- Ma, X., & Day, J. (2007). Morphology and revision of late Devonian (early Famennian) *Cyrtospirifer* (Brachiopoda) and related genera from South China and North America. *Journal of Paleontology*, 81(2), 286-311.
- McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., Connelly, J.N., (2001), Duration of Late Cretaceous–early Tertiary magmatism in east–central Sonora, Mexico: *Bulletin of the Geological Society of America*, 113, 521–531.
- Morales-Montaña, M., Bartolini C., Shafiqullah, M. (1090). K-Ar Dating, Stratigraphy and Extensional Deformation of Sierra Lista Blanca, Central Sonora, México. Geological Society of America. Abstracts Whit Programs. Vol. 22 Num. 7, A-364.
- Murchison, R. I., (1840). Sur les roches dévoniennes [type particulier de l’Old Red Sandstone des géologues anglais] qui se trouvent dans le Boulonnais. *Société Géologique de France, Bulletin* 11:229–256.
- Murchison, R. I., de Verneuil, É, & de Keyserling, A. (1845). *Géologie de la Russie d’Europe des Montagnes de l’Oural. Paleontologie*, 2, 1-511.
- Nalivkin en Frederiks, G. N. (1924). On Upper Carboniferous spiriferids from the Urals. *Izvestiâ Geologičeskogo Komiteta*, 38(1919), 295-324.
- Navas-Parejo, P., Martínez, O. R., Palafox, J. J., & Valencia-Moreno, M. (2019). Late Famennian conodonts from the Cerro la Cueva, Sonora, NW Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 91, 108-115.
- Navas-Parejo, P., & Königshof, P., (2015). Devonian and Carboniferous shallow-water successions from Sonora (NW Mexico) and their importance in global event studies. *IGCP596–SDS Symposium Serie 1, Vol. 16, P109-110*.
- Ochoa Granillo y Sosa León (1993), *Geología y estratigrafía de la sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico*. Tesis de licenciatura, universidad de sonora, México. 57 p.
- Özdikmen, H. (2008). Nomenclatural changes for eight genus group names in Brachiopoda. *Munis Entomology & Zoology*, 3(1), 345-354.
- Paeckelmann, W., (1942). Beiträge zur Kenntnis devonischer Spiriferen. *Abhandlungen des Reichsamts für Bodenforschung*, 197, 1-188.
- Paz-Moreno, F.A., Demant, A., Cochemé, J-J., Dostal, J., Montigny, R., (2003). The Quaternary Moctezuma volcanic field: a tholeiitic to alkalic volcanic episode in the central Sonoran Basin and Range Province, México, en Johnson, S.E., Paterson, S.R., Fletcher, J.M., Girty, G.H., Kimbrough, D.L., Martín-Barajas, A. (eds.), *Tectonic evolution of northwestern México and southwestern USA: Geological Society of America, Special Paper 374*, 439-455.

- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R., (1973). *San and sandstone*. Springer Verlag, Berlin, 618 p.
- Poole, F. G., & Amaya-Martínez, R. (2000). The Sonora Orogen in the Barita de Sonora mine area east of Mazatán, central Sonora.
- Ramos Martínez, O. I. (2016). Estudio bioestratigráfico de conodontos del devónico del cerro la cueva, San Pedro de la Cueva, Sonora, México (centro de Sonora).
- Ransome, F. L. (1904). The geology and ore deposits of the Bisbee quadrangle, Arizona: US Geol. Survey Prof. Paper, 21(168), 29.
- Reed, F.R.C., (1922), Devonian fossils from Chitral and the Pamirs: *Memoirs of the Geological Survey of India: Palaeontologica Indica, New Series*, v. 6, p. 1–134.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., (2002), Tectónica cretácica y terciaria en la margen suroeste del Alto de Cananea, Sonora nortecentral: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, disertación doctoral, 217 p.
- Roldán-Quintana J.; (2002). Caracterización Geológico-Geoquímica y Evolución del Arco Magmático Mesozoico-Terciario entre San Carlos y Maycoba, Sur de Sonora. U.N.A.M., Tesis Doctoral, 185 p.
- Sartenaer, P., (1970), Nouveaux genres Rhynchonellides (Brachiopodes) du Paléozoïque: *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique*, v. 46, p. 1–32.
- Savage, N.M., (1996), Classification of Paleozoic rhynchonellid brachiopods, in Copper, P., and Jin, J., eds., *Proceedings of the Third International Brachiopod Congress*: Rotterdam, A.A. Balkema, p. 60–249.
- Schmidt, H., (1965). Neue Befunde an Paläozoischen Rhynchonellacea (Brachiopoda). *Senckenbergiana lethaea* 46(1):1–25, 1 pl.
- Schuchert, C., (1913). Class 2. Brachiopoda. En K. A. von Zittel, *Text-book of Palaeontology*, vol. 1, part 1, 2nd ed., translated and edited by Charles R. Eastman. MacMillan & Co., Ltd. London. p. 355–420, fig. 526–636.
- Scott, R. W., and Warzeski, E. R., (1990), An Aptian – Albian Shelf Ramp, *Arizona Geological Society Digest*, Vol.20, P 71-79.
- Serobyán, V., Danelian, T., Crônier, C., Grigoryan, A., & Mottequin, B. (2021). Lower Famennian (Upper Devonian) rhynchonellide and athyride brachiopods from the South Armenian Block. *Journal of Paleontology*, 95(3), 527-552.
- Servicio Geológico Mexicano (2008). Informe técnico carta geológico-minera y Geoquímica San Pedro de la Cueva H12-D34. Escala 1:50 000. 78 p.
- Sowerby, J., (1821–1822). *The Mineral Conchology of Great Britain*, vol. 4. Published by the author. London. p. 1–114, pl. 307–383.
- Stainbrook, M. A. (1945). Brachiopoda of the Independence Shale of Iowa. *Geological Society of America Memoir*, 14, 74 p.

- Stewart, J. H., & Poole, F. G. (2002). Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico (pp. 1-50). US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Mamet, B.L., and Morales-Ramírez, J.M., (1999), Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in sierra Agua Verde, Sonora, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 16, p. 35–62.
- Sutherland, P. K., & Harlow, F. H. (1967). Late Pennsylvanian brachiopods from north-central New Mexico. *Journal of Paleontology*, 1065-1089.
- Termier, H., & Termier, G., (1949). Position systématique et biologie des Conulaires. *Revue Scientifique*, 86:711–722.
- Villanueva-Olea, R., Barragán, R., Palafox-Reyes, J. J., Jiménez-López, J. C., & Buitrón-Sánchez, B. E. (2019). Microfacies and stable isotope analyses from the Carboniferous of the La Joya section in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 71(3), 585-607.
- von Buch, F. L. (1834). Über Terebrateln, mit einem Versuch, sie zu classificiren und zu beschreiben. *Königl. Akademie der Wissenschaften*.
- Waagen, W. H. (1883). Salt Range fossils, 1. Productus-Limestone fossils. *Palaeontologia Indica*, 1, 391-546.
- Walliser, O. H. (1996). Global events in the Devonian and Carboniferous. In *Global events and event stratigraphy in the Phanerozoic*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 225-250.
- Weil, A. B., Van der Voo, R., Mac Niocaill, C., & Meert, J. G. (1998). The Proterozoic supercontinent Rodinia: paleomagnetically derived reconstructions for 1100 to 800 Ma. *Earth and Planetary science letters*, 154(1-4), p. 13-24.
- Williams, P., Gibbons, D., Margules, C., Rebelo, A., Humphries, C., & Pressey, R. (1996). A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds. *Conservation Biology*, 10(1), 155-174.
- Williams, A., Carlson, S. J. y Brunton, C. H. C. (2002). *Treatise on invertebrate Paleontology. Part H. Brachiopod (Revised). Rhynchonelliformea (Part)*. Boulder, Kansas: The Geological Society of America/ The University of Kansas Press.
- Williams, A., Rowell, A. J., & Moore, R. C. (1965). Brachiopod morphology. *Treatise on invertebrate paleontology*, part H, RC Moore, ed., Geological Society of America and University of Cansas Press, New York and Lawrence, 57, 138 p.