



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

“Bioestratigrafía de conodontos del Paleozoico superior en el área del Puerto del Orégano (Sonora Central)”

TESIS

Que para obtener el grado de:

Licenciado en Geología

PRESENTA:

AMILCAR ADRIÁN CASARRUBIAS LÓPEZ



Hermosillo, Sonora, junio de 2015

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



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

17 de Mayo del 2015

DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE SONORA
PRESENTE.-

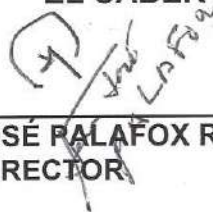
Por este conducto y de la manera más atenta, nos permitimos someter a su consideración, para su aprobación, siguiente tema de tesis intitulado:

**"Bioestratigrafía de conodontos del Paleozoico Superior en el área del
Puerto del Orégano (Sonora Central)"**

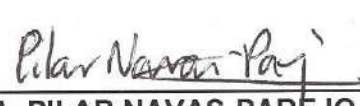
Esto es en fin de que **AMILCAR ADRIÁN CASARRUBIAS LÓPEZ**, con **Expediente No. 209202756** pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología

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

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"


DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES
DIRECTOR




DRA. PILAR NAVAS-PAREJO GARCIA
CO- DIRECTORA

C.c.p. Archivo.

El saber de mis hijos
hará mi grandeza
DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

19 de Mayo del 2015

DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES
DIRECTOR DE TESIS
DRA. PILAR NAVAS-PAREJO GARCIA
CO-DIRECTORA DE TESIS
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:

**"Bioestratigrafía de conodontos del Paleozoico Superior en el área del
Puerto del Orégano (Sonora Central)"**

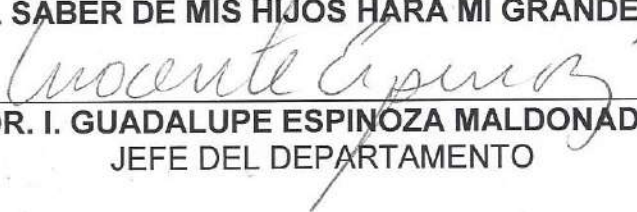
Esto es en fin de que **AMILCAR ADRIÁN CASARRUBIAS LÓPEZ** con
Expediente No. 209202756, pueda presentar su examen profesional, para la
obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo le comunico que
han sido asignados los siguientes Sinodales:

M.C. JOSE ALFREDO OCHOA GRANILLO
M.C IVAN ROSARIO ESPINOZA ENCINAS
DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES
DRA. PILAR NAVAS-PAREJO GARCIA

PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL
VOCAL

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

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"


DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS:

**"Bioestratigrafía de conodontos del Paleozoico Superior en el área del
Puerto del Orégano (Sonora Central)"**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

AMILCAR ADRIÁN CASARRUBIAS LÓPEZ

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

M.C. JOSE ALFREDO OCHOA GRANILLO

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

M.C. IVAN ROSARIO ESPINOZA ENCINAS

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

DR. JUAN JOSÉ PALAFOX REYES

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

DRA. PILAR NAVAS-PAREJO GARCIA

ATENTAMENTE

"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

DR. I. GUADALUPE ESPINOZA MALDONADO
JEFE DEL DEPARTAMENTO



El saber de mis hijos
hará mi grandeza
**DEPARTAMENTO
DE GEOLOGIA**

C.c.p. Archivo.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos PAPIIT IN108614 (DGAPA-UNAM) y F-PROMEP-37/Rev-03 SEP-23-006 12516.

Se agradece al Departamento de Geología y al Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora y a la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México por facilitar el uso de equipo y de las instalaciones.

Se agradece de manera especial a mi Director de Tesis, el Dr. Juan José Palafox Reyes por su gran motivación para hacer posible realizar esta tesis, por su gran apoyo en esta tesis y aprendizaje transmitido.

Agradecimiento especial a mi Co-Directora, la Dra. Pilar Navas- Parejo García por todo el apoyo, motivación, aprendizaje transmitido, por hacer posible los resultados de esta tesis, por su asesoría y disposición y paciencia en el proceso de esta tesis.

Se agradece a la Dra. Uxue Villanueva por su disponibilidad en el uso del laboratorio.

Se agradece también al Dr. Hannes Loeser por el uso del estereomicroscopio.

Agradecimiento también al Dr. Francisco Brown Bojórquez por la ayuda prestada en el uso del microscopio electrónico de barrido del Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.

A la M.C. Alejandra Montijo por ayudarme a fotografiar las láminas en el microscopio óptico y su asesoría.

A M.C. Iván Espinoza y M.C. Alfredo Ocho Granillo por sus revisiones y comentarios.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la carrera que de una manera me ayudaron en el estudio o trabajo de esta tesis.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivo de tesis	4
2. METODOLOGÍA	5
2.1 Trabajo de campo	5
2.2 Trabajo de laboratorio	6
2.2.1 Protocolo para la recuperación de elementos conodontales	6
2.3 Trabajo de gabinete	10
3. GENERALIDADES DE LOS CONODONTOS	12
4. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO	14
4.1 Localización y acceso	14
4.2 Fisiografía y Geomorfología	16

4.3 Suelo	19
4.4 Clima	19
4.5 Vegetación	20
5. ANTECEDENTE BIBLIOGRÁFICOS	21
6. CONTEXTO GEOLÓGICO	23
7. ESTRATIGRAFÍA PALEOZOICA	25
7.1 Unidad cámbrica (?) clástica	26
7.2 Unidad Cuarcita Pirinola	26
7.3 Formación las Norias	26
7.4 Unidad devónica	27
7.5 Unidad misisípica	29
7.6 Unidad pérmica	29
8. RESULTADOS	32
8.1 Sección estudiada: Puerto del Orégano	32
8.2 Estratigrafía y microfacies	33
8.3 Bioestratigrafía de conodontos	43

9.Discusión	47
10 CONCLUSIONES	49
11. BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología para la recuperación de elementos conodontales	9
Figura 2. Mapa del estado de Sonora con localización del área de estudio	15
Figura 3. Regiones fisiográficas del estado de Sonora	18
Figura 4. Mapa geológico del área de estudio	31
Figura 5. Vista de campo de sección estudiada	32
Figura 6. Lámina delgada muestra PO-2	34
Figura 7. Lámina delgada muestra PO-2 con <i>Palaeoberesella</i> sp.	35
Figura 8. Lámina delgada muestra PO-5	37
Figura 9. <i>Syringopora</i> sp. en posición de vida	38
Figura 10. Lámina delgada muestra PO-8	40

Figura 11. Lámina delgada muestra PO-9	41
Figura 12. Columna estratigráfica de la sección	42
Figura 13. Esquema de un elemento P ₁ de <i>Taphrognathus varians</i>	43
Figura 14. Conodontos del Misisípico del Puerto del Orégano	44
Figura 15. Distribución temporal de <i>Taphrognathus varians</i>	46

RESUMEN

Se presenta una descripción estratigráfica de una sección en el área del Puerto del Orégano, en la parte norte de la Sierra San Juan de Dios, al este del municipio de Hermosillo, Sonora. La sección está constituida a la base por niveles de calizas grises recristalizadas y brechas calcáreas. A continuación aparecen areniscas calcáreas con crinoides y corales solitarios. A estos estratos le suprayacen calizas oscuras con corales. Hacia el techo afloran calizas ricas en wollastonita, con pedernal y abundantes crinoides. En la cima se presentan calizas masivas rojizas con intercalaciones de calizas arenosas que han liberado varios ejemplares de conodontos de la especie *Taphrognathus varians*. El alcance bioestratigráfico de esta especie en Norte América corresponde al Misisípico medio, y es característica de ambientes de plataforma somera.

ABSTRACT

A stratigraphic description of a section made in the Puerto del Orégano area, to the North of the Sierra de San Juan de Dios, to the East of Hermosillo, Sonora. The lower part of the studied section is made up of recrystallized grey limestones and calcareous breccias. Continuing with calcareous sandstones with crinoids and solitary corals. These strata are overlying by dark limestones with corals. To the top of the section limestones rich in wollastonite, with chert and abundant crinoids crop out. The section ends with reddish massive limestones with sandy limestone intercalations, which have released several conodont specimens of the species *Taphrognathus varians*. The biostratigraphic range of this species in North America corresponds to the Middle Mississippian and it is characteristic of shallow-water platform environments.

1.INTRODUCCIÓN

Las rocas del Paleozoico del centro de Sonora tienen edades que van desde el Cámbrico hasta el Pérmico medio (Stewart y Poole, 2002 y referencias ahí citadas). Estas rocas indican tanto ambientes de depósito de cuenca hacia el sur (denominados en la literatura antigua como eugeoclinales), como ambientes de plataforma somera (llamados miogeoclinales en la literatura antigua) en la parte norte de Sonora central y hacia el NW del estado (Poole *et al.*, 2005). La importancia de las rocas del Paleozoico de Sonora radica en su posición durante esta era, ya que se situaban en el margen sur de Laurentia y registraron el cierre del océano Reico y la acreción con Gondwana (Poole *et al.*, 2005).

Según Poole *et al.* (2005), una de las características geológicas más importantes del Paleozoico de Sonora es la presencia del alóctono, que incluye los depósitos de cuenca profunda, cabalgando sobre los depósitos de plataforma somera. Este evento sucedió durante el Pérmico tardío, siguiendo al depósito del flysch Mina México más joven (Pérmico medio), en lo que corresponde con la parte occidental del cinturón orogénico Ouachita-Marathon (Poole *et al.*, 2005 y referencias ahí citadas).

El área del Puerto del Orégano está ubicada al ENE de Hermosillo (Fig. 2). Esta área solo ha sido estudiada en detalle por Peiffer-Rangin (1988). El área del Rancho Las Norias, situado a 3 km al oeste (Fig. 4), fue recientemente estudiada por Page *et al.* (2003), quienes reinterpretaron su estratigrafía. Los depósitos paleozoicos que ahí afloran comprenden rocas

que formaron parte de una secuencia carbonatada de plataforma continental del margen sur de Laurencia (Page *et al.*, 2003).

1.1. Objetivo de Tesis

El objetivo de esta tesis es contribuir al conocimiento de la estratigrafía de las secuencias de plataforma del Carbonífero de Sonora Central por medio de estudios de microfacies y de bioestratigrafía de conodontos. Con esta información se correlaciona también el área de estudio con otras zonas equivalentes y mejor conocidas del Carbonífero de Sonora central.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en las siguientes etapas:

2.1. Trabajo de Campo

El trabajo de campo consistió en medir la sección mediante el método del bastón de Jacob. Este método consiste en medir una sección tomando rumbo y echado de un estrato que muestre su estratificación bien expuesta, la generación de la sección lleva un rumbo perpendicular a la estratificación. De este modo se permite hacer una sección medida muy precisa siempre que no existan estructuras que cambien la inclinación de los estratos.

La sección tiene un espesor de 200.2 m en la cual se tomaron 9 muestras de mano para posteriormente realizar láminas delgadas para el estudio y clasificación de las microfacies. Además se tomaron 7 muestras para estudios bioestratigráficos de conodontos. Las muestras para conodontos fueron tomadas en el afloramiento partiendo fragmentos pequeños de 3 a 5 cm de diámetro hasta juntar aproximadamente 1.5 kg. Las muestras para láminas delgadas fueron tomadas en los mismos niveles y también en otros niveles que presentaban características litológicas distintivas.

2.2. Trabajo de laboratorio

La disolución de calizas para obtener conodontos se llevó a cabo en el laboratorio de Química y Micropaleontología de la Estación Regional del Noroeste (Instituto de Geología, UNAM). El residuo recuperado fue revisado con estereomicroscopio tanto en la Estación Regional del Noroeste (Instituto de Geología-UNAM) como en el Departamento de Geología (Universidad de Sonora), para finalmente separar los elementos conodontales y clasificar los que se encuentren mejor conservados. Posteriormente estos elementos se fotografiaron usando el microscopio electrónico de barrido del Departamento de Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.

2.2.1. Protocolo para la recuperación de elementos conodontales

La recuperación de los elementos conodontales se llevó a cabo siguiendo el protocolo para la disolución de calizas mediante ácido acético tamponado con acetato cálcico (modificado de Jeppsson *et al.*, 1999). Para ello se ocupan los siguientes materiales: ácido acético glacial, acetato cálcico, recipientes de uno y dos litros, recipientes de polietileno de doce litros de capacidad, redecilla de plástico, juego de tamices con luz de malla de 0.6 mm y 0.125 mm, cápsulas de porcelana y azul de metileno. Con estos materiales se realiza el siguiente procedimiento:

1.- Fragmentación de muestras y pesado

Si no se ha hecho al tomar las muestras en el campo, se debe de romper la muestra en fragmentos de entre 3 y 5 cm de diámetro. En una balanza se pesan entre 1 y 1.250 kg (Fig. 1.A), que es la cantidad que se debe procesar en una investigación preliminar.

2.- Disolución

Para separar los elementos conodontales de la roca carbonatada que los contiene se necesita disolverla. Por esto se introducen los fragmentos en una redcilla de plástico y se sumerge en la disolución que se habrá preparado en un recipiente de polietileno que tenga la capacidad de 12 litros (Fig. 1.B). Por cada kilogramo de muestra se deben preparar 10 litros de disolución, la cual está compuesta por 7.4 litros de agua, 600 mililitros de ácido acético glacial y 2 litros de acetato de calcio. El acetato de calcio se obtiene reciclándolo de las disoluciones previas de calizas con ácido acético, ya que es el producto que se genera tras la disolución del carbonato de calcio con ácido acético. Como los elementos conodontales están compuestos de fosfato de calcio, resisten el ataque del ácido, mientras que el carbonato de calcio de las rocas se disuelve. La muestra se debe dejar en disolución una semana.

Siempre queda muestra sin disolver que se guarda para las disoluciones posteriores. Quitamos la disolución de acetato cálcico, conservándola en un recipiente de polietileno cerrado. En el fondo del recipiente de 12 litros en el que se disolvió la muestra queda un residuo que se debe de conservar para ser lavado y tamizado. Este residuo es el que contiene los elementos conodontales.

3.- Lavado y tamizado

Para recoger los elementos conodontales se tamiza el residuo utilizando los dos tamices de 0.6 mm y 0.125 mm (Fig. 1.C). Este par se debe superponer y se pone bajo un chorro de agua con el que se va lavando la muestra. El agua arrastra la fracción más fina que escapa a través del tamiz inferior, la fracción más gruesa tampoco es de interés y se queda retenida en el tamiz superior. Los elementos conodontales quedan retenidos en el tamiz inferior junto con todas las partículas minerales con tamaños comprendidos entre los dos tamaños de luz de malla de los tamices utilizados.

El residuo que queda en el tamiz tras el lavado de la muestra se recoge en las cápsulas de porcelana dejándose secar al aire (Fig. 1.D). Una vez seco se guarda en pequeños botes de plástico para su estudio posterior. Los tamices se deben de sumergir en una disolución de azul de metileno (Fig. 1.E) para tintar las posibles partículas que queden, después se lavan con abundante agua y se limpian con una pistola de aire comprimido.

4.- Selección de elementos conodontales y clasificación

Una vez seco el residuo recolectado del tamiz de interés, se pasa a revisar el material en un microscopio estereoscópico con la finalidad de identificar los elementos conodontales (Fig. 1.F). El residuo del tamiz se debe colocar cuidadosamente en una bandeja con cuadrícula de

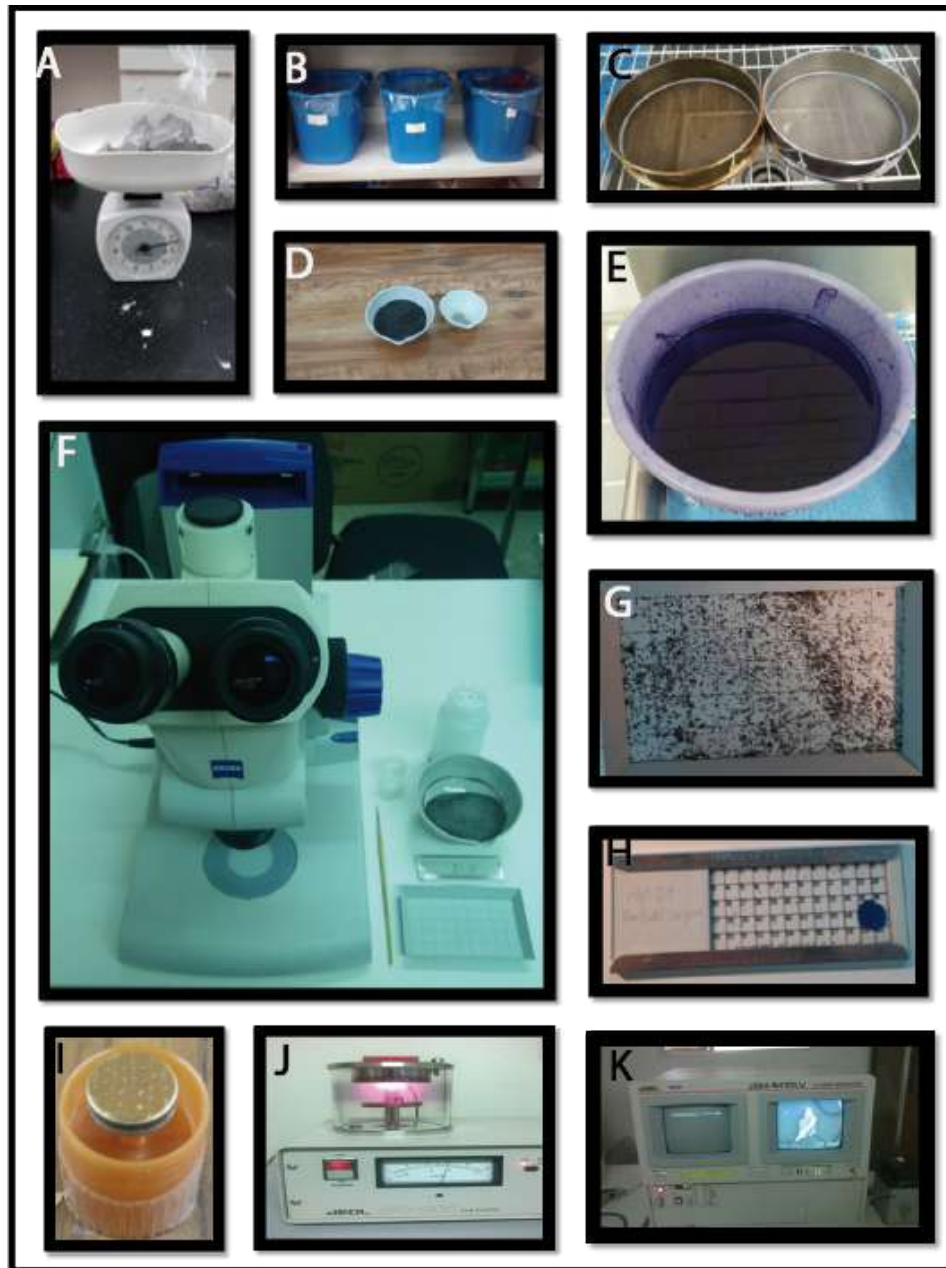


Figura 1. A. Pesado de la muestra fragmentada; B. Muestra en disolución; C. Juego de tamices; D. Residuo en cápsulas de porcelana para su secado; E: Azul de metileno para la limpieza de tamices; F: Estereomicroscopio y otros materiales para el estudio del residuo; G: Bandeja reticulada para la examinación del residuo; H: Celdilla para almacenamiento de los conodontos; I: Tambor con los conodontos para la realización de fotografías en el microscopio electrónico de barrido; J: Metalización del tambor con oro; K: Microscopio electrónico de barrido.

1x1 cm (Fig. 1.G). En ella se realiza la búsqueda en las cuadrículas de forma ordenada con la finalidad de revisar la muestra por completo.

Ya recopilados los elementos conodontales, se depositan con un pincel humedecido en una celdilla para microfósiles (Fig. 1.H).

Una vez se han clasificado los elementos conodontales se procede a su fotografiado en el microscopio electrónico de barrido (SEM). Para ello se colocan en un portamuestra de cobre con una cinta adhesiva de carbono (Fig. 1.I) y se metalizan con oro (Fig. 1.J).

Finalmente con los elementos metalizados se procede a colocarlos en el microscopio electrónico de barrido para capturar las imágenes a la escala necesaria, normalmente entre 100 y 150 aumentos (Fig. 1.K).

2.3. Trabajo de gabinete

Esta etapa consistió principalmente en la recopilación de información de trabajos previos sobre estratigrafía del Paleozoico de Sonora, ya sea en el área de estudio o en lugares cercanos como son el área del Rancho Las Norias y Sierra el Agua Verde. También se recopilaron artículos científicos internacionales sobre conodontos del Misisípico y del Pensilvánico, tanto sobre generalidades y taxonomía como sobre biofacies.

En esta etapa también se incluyen los estudios de microfacies bajo microscopio óptico en el cual se utilizó la clasificación de Dunham (1962) comparándolas con Flügel (2004), y el estudio bibliográfico para la clasificación taxonómica de los elementos conodontales.

3. GENERALIDADES DE LOS CONODONTOS

Los conodontos son un grupo de animales extintos exclusivamente marinos. Se caracterizan por ser unas piezas mineralizadas, también denominadas elementos conodontales, compuestas de apatito. Tienen una amplia distribución temporal ya que vivieron desde el Cámbrico hasta finales del Triásico, cerca de 300 m.a. Se utilizan principalmente para datar rocas y correlacionar, aunque también son utilizados para estudios paleoecológicos mediante las biofacies. Prácticamente todos los intervalos temporales del Paleozoico y del Triásico se han dividido en biozonas mediante conodontos. Por este motivo, además de porque presentan una amplia distribución geográfica, son muy apropiados para realizar estudios bioestratigráficos.

Estos organismos extintos fueron descritos por primera vez hace más de 150 años (Pander, 1856) aunque su paleobiología sigue estando hoy en día en el centro de discusiones científicas.

Los conodontos también se usan en la búsqueda de hidrocarburos como herramienta de gran utilidad, siendo utilizados como indicadores de paleotemperaturas de metamorfismo. Se emplean como paleotermómetros en base a los cambios de color que pueden presentar según la temperatura que los haya afectado. Dichos cambios de color conforman una escala de valores denominada Índice de Alteración de Color, "CAI" por sus siglas en inglés "Color Alteration Index" (Epstein *et al.*, 1977). Esta escala correlaciona el color del conodonto con la temperatura máxima que alcanzó la roca en algún momento desde su formación hasta la

actualidad. Estos cambios de coloración son resultado de la maduración de la materia orgánica contenida en el conodonto, por el incremento de la temperatura a través del tiempo.

Los restos que fosilizan más frecuentemente se encuentran en la región oral del animal, ya que carecen de esqueleto. Estas piezas, compuestas de fosfato de calcio, concretamente de francolita, son denominadas elementos conodontales o simplemente conodontos. Tienen un tamaño entre 200 μm y 2 cm de longitud. El mineral del que están compuestos le brinda una gran estabilidad química que favorece su fosilización, además le da resistencia a los ataques de ácidos, que es el método utilizado para su extracción de las rocas calizas que los hospedan.

4. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Localización y acceso

El Puerto del Orégano se localiza en la parte central de Sonora, a 33 kilómetros al este de la ciudad de Hermosillo (Fig. 2). La vía de acceso principal se encuentra sobre la carretera de Hermosillo a Sahuaripa. El área de estudio se encuentra dentro del municipio de Hermosillo en su límite este colindado con el municipio de Ures. La sección estudiada se localiza en las coordenadas 29°3'43" de latitud N y 110°36'47" de longitud W. A 14 kilómetros al noreste del área se encuentra el poblado de Santa Rosalía.

La sección estudiada se localiza en la carta geológica H12-8 (1996) que comprende la carta geológica de Hermosillo escala 1:250 000, donde el área de estudio está cartografiada como rocas del Paleozoico con edades entre el Pensilvánico y el Pérmico inferior. Sin embargo, en otros estudios en la región se han reconocido afloramientos que están comprendidos entre el Cámbrico (rocas metamórficas) y el Ordovícico, Devónico, Carbonífero y Pérmico (rocas carbonatadas; Page *et al.*, 2003).

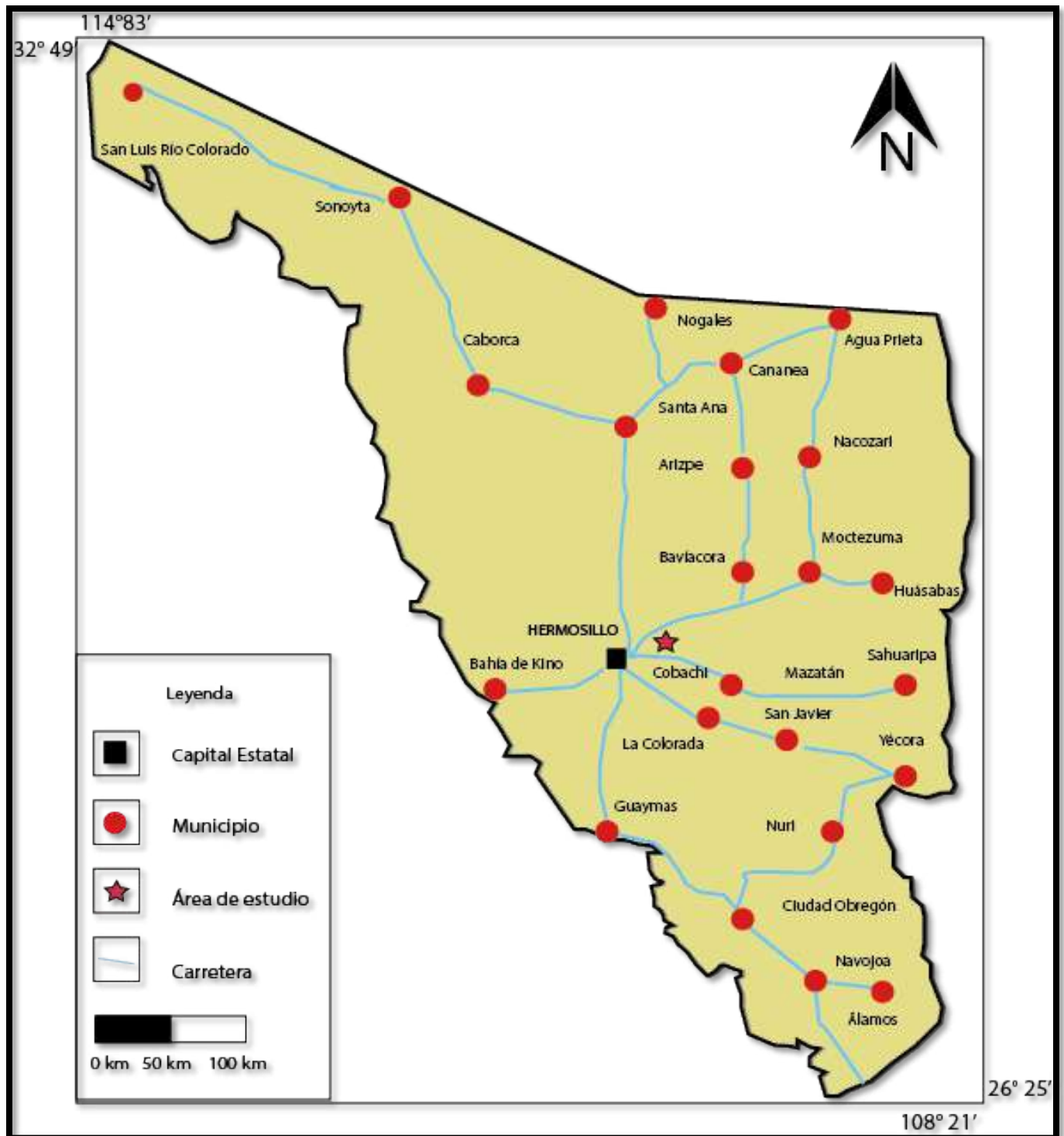


Figura 2. Mapa del estado de Sonora con la localización del área de estudio y sus principales vía de acceso.

4.2. Fisiografía y geomorfología

El área de estudio se incluye dentro de la provincia Llanuras Sonorenses, y adopta la forma de una cuña orientada hacia el sur (Fig. 3). Colinda en el extremo noroeste con la Península de Baja California, hacia el oriente con la Sierra Madre Occidental y en su extremo sur con la Llanura Costera del Pacífico. La provincia está dividida en dos subprovincias y una discontinuidad, las cuales son: Sierras y Llanuras Sonorenses, Desierto de Altar y Sierra del Pinacate. La subprovincia en la que se encuentra nuestra área de estudio es Sierras y Llanuras Sonorenses.

Comprende un área de 81,661.40 km², abarca completamente los municipios de Caborca, Altar, Sáric, Tubutama, Atil, Oquitoa, Pitiquito, Trincheras, Benjamín Hill, Hermosillo, Carbó, San Miguel de Horcasitas, Empalme y Mazatán; así mismo incluye parte de los de San Luis Río Colorado, Puerto Peñasco, General Plutarco Elías Calles, Nogales, Magdalena, Santa Ana, Opodepe, Quiriego, Ures, Villa Pesqueira, La Colorada, Guaymas, Suaqui Grande y Cajeme.

La subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses se encuentra formada por sierras bajas separadas por llanuras. Tales sierras abarcan de 700 a 1400 m s.n.m. y de 6 km de ancho en el oriente; y menos altas de 700 m.s.n.m. o menos en el occidente.

En estas sierras predominan rocas ígneas intrusivas félsicas, aunque también son importantes, particularmente en la parte central de la subprovincia, rocas lávicas, metamórficas, calizas y conglomerados del Terciario. La isla Tiburón forma parte de este

sistema de sierras, cuyas cimas son bajas y muy uniformes. Las pendientes son bastante abruptas, siendo frecuentes las mayores de 45 grados, especialmente en las rocas intrusivas, lávicas y metamórficas; en tanto que las menores a 20 grados son raras. En general, las cimas son almenadas, es decir, dentadas. Los arroyos que drenan esta región efectúan una fuerte erosión produciendo espolones laterales que se proyectan en las llanuras.

Las llanuras representan alrededor del 80% de la subprovincia. Están cubiertas en la mayor parte o en toda su extensión de amplios abanicos aluviales que descienden con pendientes suaves desde las sierras colindantes. La llanura aluvial de Hermosillo que se encuentra a 200 m.s.n.m. baja hacia la costa ensanchándose en sentido noreste-suroeste, tiene 125 km de largo y 60 km de ancho en la costa.

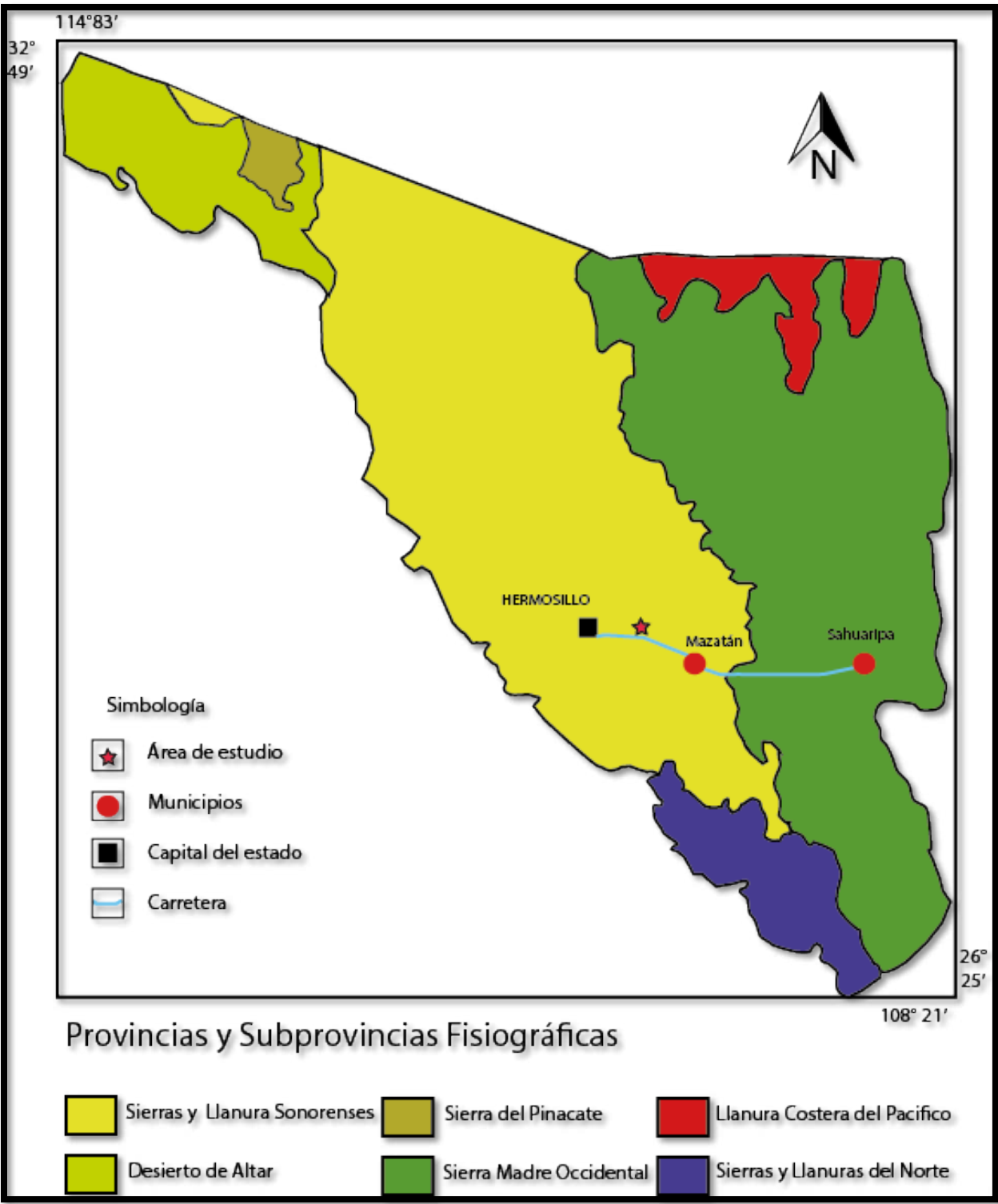


Figura 3. Regiones fisiográficas del estado de Sonora.

4.3 Suelo

Según el INEGI (2004), el tipo de suelo en el area del Puerto del Orégano corresponde a suelos tipo calcisoles que se distinguen por presentar una capa dura de caliche a menos de un metro de profundidad, con una gran cantidad de calcio. Estas características convierten al suelo en seco e infertil. Este tipo de suelo suele desarrollarse bajo climas áridos, por lo que se encuentra principalmente en zonas desérticas. Otro tipo de suelo común en el área es el regosol que se caracteriza por ser un suelo muy joven, resultado de depósitos recientes de roca y arena acarreadas por el agua. Estos suelos se localizan más frecuentemente en las cercanías de la Sierra Madre Occidental. Además los suelos tipo regosoles se caracterizan por tener poca cubierta vegetal y poca penetración del agua al suelo, lo que favorece la escorrentia superficial y la erosión.

4.4 Clima

En todo el estado de Sonora se presenta 48% de clima seco y semiseco, localizado en la Sierra Madre Occidental; el 46.5% está representado clima muy seco, localizado en las Llanuras Costeras del Golfo y Sonorense; el 4% es templado subhúmedo y se encuentra hacia el este del estado; y el restante 1.5% presenta clima cálido subhúmedo y se encuentra localizado hacia el sureste (INEGI, 2011). El área del Puerto del Orégano está localizada en las Llanuras Costera y Sonorense presentando un clima muy seco.

La temperatura media anual es alrededor de 22°C, la temperatura máxima promedio es de 38°C, la cual se presenta en los meses de junio y julio. La temperatura mínima promedio

es de 5°C, la cual se presenta en el mes de enero, aunque también se presentan heladas en otras ocasiones durante los meses comprendidos entre diciembre y marzo. La precipitación media estatal es de 450 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de julio y agosto.

4.5 Vegetación

La vegetación del área está conformada por matorral, donde destacan los arbustos como cactus, magueyes (agaves) y mezquites, sahuaros, paloverdes y una gran variedad de arbustos espinosos.

5. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

La presencia de rocas del Paleozoico en el centro de Sonora fue reportada por primera por Remond de Corbineau (1865). Dumble (1900) reconoció rocas paleozoicas en Sonora; más adelante King (1939) publicó un mapa geológico con los afloramientos del Paleozoico de Sonora.

Peiffer-Rangin (1988) realizó una revisión de los trabajos anteriores y elaboró un análisis detallado de esos trabajos en los afloramientos de la Sierra San Juan de Dios y otras partes del centro de Sonora. En este trabajo describió la secuencia paleozoica con edades cámbricas a ordovícicas, devónicas y misisípicas. Para el caso del área del Puerto del Orégano indicó la presencia de edades misisípicas en base a micropaleontología por la aparición de *Earlandia* sp., *Palaeoberesella* sp., *Pseudoammodiscus* sp. y fauna de corales.

Al sur del Puerto del Orégano en el área del Rancho de Las Norias, Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1987) nombraron Caliza Aparejo a las rocas del Devónico Inferior-Pérmico (Fig. 4). Poole *et al.* (1995) describieron rocas del Ordovícico en la área de Rancho Las Norias e hicieron referencia a rocas asociadas al Cámbrico y al Devónico (Fig. 4).

Más adelante, Franco Vega *et al.* (2000) estudiaron la fauna del Ordovícico en el área del Rancho de Las Norias.

Finalmente Page *et al.* (2003) reinterpretaron la estratigrafía del área del Rancho de Las Norias demostrando que las rocas previamente identificadas y cartografiadas como

Precámbrico eran realmente de edad Cámbrico (?), Ordovícico, Devónico y Misisípico, principalmente mediante conodontos, y Pérmico mediante fusulínidos. Page *et al.* (2003) reconocieron además varias unidades dentro de esta secuencia asignables al Devónico Inferior-Pérmico, por lo tanto recomiendan abandonar el nombre de Caliza Aparejo, subdividiendo los estratos en unidades del Devónico, Misisípico y Pérmico.

6. CONTEXTO GEOLÓGICO

En la carta geológica Hermosillo H12-8 (INEGI, 1982) del Servicio Geológico Mexicano, el área del Puerto del Orégano está cartografiada como calizas y areniscas correspondientes al Pensilvánico-Pérmico. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, Peiffer-Rangin (1988) indica la presencia de edades misisípicas y en estudios realizados al sur del área se cartografiaron afloramientos del Cámbrico, Ordovícico, Devónico, Misisípico y Pérmico (Page *et al.*, 2003).

En la región afloran rocas ígneas intrusivas de composición granítica-granodiorítica, de edad Cretácico-Terciario, que afectan a las rocas del Paleozoico preexistentes. Estas rocas afloran en la parte sur y sureste del Rancho de Las Norias, en el Cerro la Calabaza y en la parte noroeste del Puerto del Orégano (Fig. 4). Las rocas intruidas se alteran a skarn y tienen algunos depósitos de mineral aurífero y wollastonita. Este granito-granodiorita está cortado por diques y sills de composición félsica y máfica, y además corta a las rocas paleozoicas. Estas rocas de composición granítica-granodiorítica fueron datadas con K-Ar, tienen una edad de 63–50 M.a y están asociadas a la orogenia Larámide (Damon *et al.*, 1983; McDowell y Roldán-Quintana, 1993).

También aparecen rocas volcánicas de composición riolítica y andesítica. Estas rocas han sido datadas por el método Ar-Ar y corresponden al Mioceno con 12.3 M.a. (Page *et al.*, 2003).

Según Page *et al.* (2003) un depósito de mega brecha del Terciario aparece en el lado noroeste del área de Las Norias. Los clastos parecen ser derivados de las rocas carbonatadas del Paleozoico superior.

Como resultado de la erosión de los bloques levantados y de la distensión, aflora en la región una secuencia de conglomerado polimítico y areniscas con bajo ángulo de basculamiento, conocida como Formación Baucarit (Aguilera y Dumble, 1900; King, 1939) la cual pertenece al Mioceno.

También afloran en la región rocas de composición ultramáfica. En el caso del área del Puerto del Orégano, estas rocas afloran formando mesetas. Basaltos similares a los que afloran en el área de estudio también se encuentran en el Valle de Moctezuma y cubren discordantemente a la formación Baucarit encontrándose de igual forma en extensas mesetas. La composición de estos basaltos varía de basaltos tholeíticos a transicionales y son de edad cuaternaria (Paz, 1983).

Finalmente se encuentran conglomerados mal consolidados y coluvión de edad cuaternaria, que cubren a los conglomerados y areniscas de la Formación Baucarit.

7. ESTRATIGRAFÍA PALEOZOICA DEL ÁREA

Las rocas que afloran en la Sierra San Juan de Dios son de edad paleozoica hasta el reciente. Las rocas del Paleozoico se encuentran parcialmente recrystalizadas por el metamorfismo de contacto del intrusivo Cretácico-Terciario que aflora en dicha área. Las rocas paleozoicas son rocas sedimentarias tanto clásticas como carbonatadas. Estas rocas se encuentran alteradas en algunas zonas a mármol y rocas calcosilicatadas (Page *et al.*, 2003).

Peiffer-Rangin (1988) describe una secuencia paleozoica en el área del Puerto del Orégano donde reconoce el Misisípico arriba de una caliza con estratificación laminar. En la secuencia describe una roca caliza con *Cladochonus* sp., *Syringopora* sp., braquiópodos, gasterópodos, abundantes tallos de crinoides y bryozoarios. Peiffer-Rangin (1988) indica que la asociación *Earlandia* sp., *Palaeobersella* sp., *Pseudoammodiscus* sp. y la fauna de corales indican una edad misisípica (Tournesiense superior – Viseense inferior).

La sucesión inferior incluye capas de una caliza metamorfozada la cual no contiene fósiles, y aflora en la parte suroeste del Cerro La Pirinola, al sur del Puerto del Orégano (Fig. 4). Sin embargo Page *et al.* (2003) mencionan que deben considerarse de edad Cámbrico, ya que aparece por debajo del Ordovícico bien datado con fósiles.

Page *et al.* (2003) dividen la estratigrafía del área en las unidades litoestratigráficas siguientes:

7.1 Unidad Cámbrica (?) clástica

Esta unidad consiste de limonita y arenisca de grano fino a medio con coloración gris amarilla. Presentan estratificación cruzada con 30 a 50 metros de espesor. Estas rocas se encuentran en contacto por falla inversa con la cuarcita Pirinola (ver apartado siguiente). Según Page *et al.* (2003), las rocas clásticas que están por encima de la Cuarcita Pirinola son probablemente más viejas que la propia Cuarcita Pirinola. Estas rocas clásticas pueden correlacionarse con unidades clásticas del Cámbrico descritas en la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999), aproximadamente 70 kilómetros al ENE del área de estudio.

7.2 Unidad Cuarcita Pirinola

Esta unidad aflora en el Cerro La Pirinola, ubicado en la porción sureste del Rancho de Las Norias (Fig. 4). Según Page *et al.* (2003) esta cuarcita tiene aproximadamente 100 metros de espesor, corresponde probablemente al Cámbrico, incluye areniscas y ortocuarcitas de grano fino a medio de color grisáceo a rojizo y los granos de cuarzo varían de tamaño fino a medio. La parte inferior de esta unidad contiene algunos estratos de caliza de color café oscuro, con estratificación laminar. Esta secuencia se encuentra debajo de los estratos de la Formación Las Norias (ver siguiente apartado).

7.3 Formación Las Norias

La Formación Las Norias fue nombrada por Page *et al.* (2003). Esta unidad se encuentra al lado sur de la carretera de Hermosillo a Sahuaripa. Aflora extensamente por la Sierra San

Juan de Dios, en el cerro El Tordillo y el cerro El Aparejo (Fig. 4). Esta formación se compone de todas las rocas carbonatadas por encima de la cuarcita Pirinola y aparece discordantemente por debajo de los estratos de la unidad del Devónico Medio (ver apartado siguiente). Está constituida por caliza, dolomía, caliza arenosa y caliza limosa con poco pedernal con bioturbación en sus capas así como conglomerado intraclástico. Tiene un espesor aproximado de 1800 a 2100 metros. Además presenta alteración a rocas calcosilicásticas por lo que su textura original no se ha preservado. Los fósiles que se encuentran en la Formación Las Norias son conodontos, braquiópodos, trilobites, cefalópodos y gasterópodos, que indican edades del Ordovícico temprano al Ordovícico temprano medio. Los conodontos que aparecen en esta formación son, entre otras especies, *Histiodella donnae*, *Macerodus diana* y *Protopanderodus elongatus*. En la parte noreste del Rancho el Albañil (Fig. 4) aparecen las biozonas de conodontos más jóvenes del Ordovícico temprano y esta sucesión zonal de conodontos sigue sin interrumpirse hasta la parte superior de la Formación las Norias que incluye la zona basal del Ordovícico Medio.

Una discordancia de gran magnitud separa los estratos del Ordovícico Inferior y Medio con las rocas del Devónico Medio.

7.4 Unidad devónica

Las unidades del Devónico se encuentran al este y sureste del Rancho de las Norias en contacto discordante con las rocas de la Formación Las Norias y en algunas partes en contacto con el granito del Cretácico-Terciario (Fig. 4). Las rocas del Devónico tienen entre

300 y 330 metros de espesor. Esta unidad está compuesta por caliza, dolomía, caliza arenosa y cuarcita. La parte inferior es una dolomía de color gris oscuro con corales, en la parte media es una caliza micrítica de color gris a café con estratos de cuarcitas y la parte superior está compuesta de calizas grises con arenas de color anaranjado a amarillo en algunas partes. Page *et al.* (2003) menciona que la dolomía gris oscura contiene corales (coloniales y solitarios), braquiópodos y fragmentos de pelmatozoos; syringopóridos y biostromas aparecen cerca de la parte superior.

Según Page *et al.* (2003) a 7 metros de la base del Devónico se encontraron conodontos de la especie *Polygnathus ensensis*. Esta especie tiene un largo alcance estratigráfico dentro del Devónico Medio. Estas rocas gradan de roca caliza gris-gris oliva a dolomía y contienen anfípodos, algunos briozoarios, braquiópodos y corales. Varios estratos de cuarcita están presentes en esta secuencia y tienen un espesor de hasta 30 metros. Gran parte de la unidad del Devónico carece de conodontos o tienen un largo alcance bioestratigráfico dentro del Devónico Medio y Tardío. Según Page *et al.* (2003), la parte más alta de la secuencia del Devónico contiene una caliza nodulosa característica con corales syringopóridos, braquiópodos y grandes corales solitarios rugosos. También encontraron conodontos del Faméniano (Devónico superior), entre ellos *Palmatolepis gracilis sigmoidalis*, *Polygnathus semicostatus* y *Pseudopolygnathus trigonicus marburgensis*.

7.5 Unidad misisípica

Las rocas de esta unidad en el área de las Norias afloran en el flanco oeste del Cerro El Tordillo y El Aparejo, al este y sureste del Rancho de Las Norias (Fig. 4). Además afloran en los cerros que se encuentran en los alrededores del Cerro La Calabaza. Dicha unidad se encuentra en contacto con las rocas de las unidades del Devónico y con las rocas graníticas cretácico-terciarias (Fig. 4). Esta unidad tiene un espesor aproximado de 500 metros. Consiste en calizas de color gris medio, con granos que van de finos a cristalinos, se presentan en estratos masivos caracterizados por crinoides y braquiópodos, corales solitarios y coloniales y, en algunos intervalos, estratos con abundantes nódulos de pedernal. Page *et al.* (2003) encontraron conodontos de edad Kinderhookiano tardío (Misisípico Inferior) y del Osageano (Misisípico Inferior y Medio). Una sección relativamente delgada separa rocas de edad Fameniano tardío de rocas de edad Kinderhookiano, lo que sugiere una discordancia entre las unidades del Devónico y del Misisípico. Una discordancia similar separa rocas del Fameniano tardío y rocas del Kinderhookiano en la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999).

7.6 Unidad pérmica

Según Page *et al.* (2003), en la parte sur del área de Las Norias en el Cerro El Diente se encuentran rocas carbonatadas de colores grises de tonos medios a claros del Pérmico y con 600 metros de espesor. Esta unidad está compuesta por rocas calcosiliciclásticas, mármoles y calizas recrystalizadas. Algunos de los estratos tienen abundantes capas de pedernal, fusulínidos, crinoides, gasterópodos, briozoarios y braquiópodos. Según Page *et al.*

(2003) los fusulínidos son similares a *Parafusulina boesi attenuata*, que corresponde al Pérmico medio. En otra muestra mal preservada se identificó otra especie de fusulínidos, *Parafusulina sellardsi*, sin encontrarse conodontos en estas rocas.

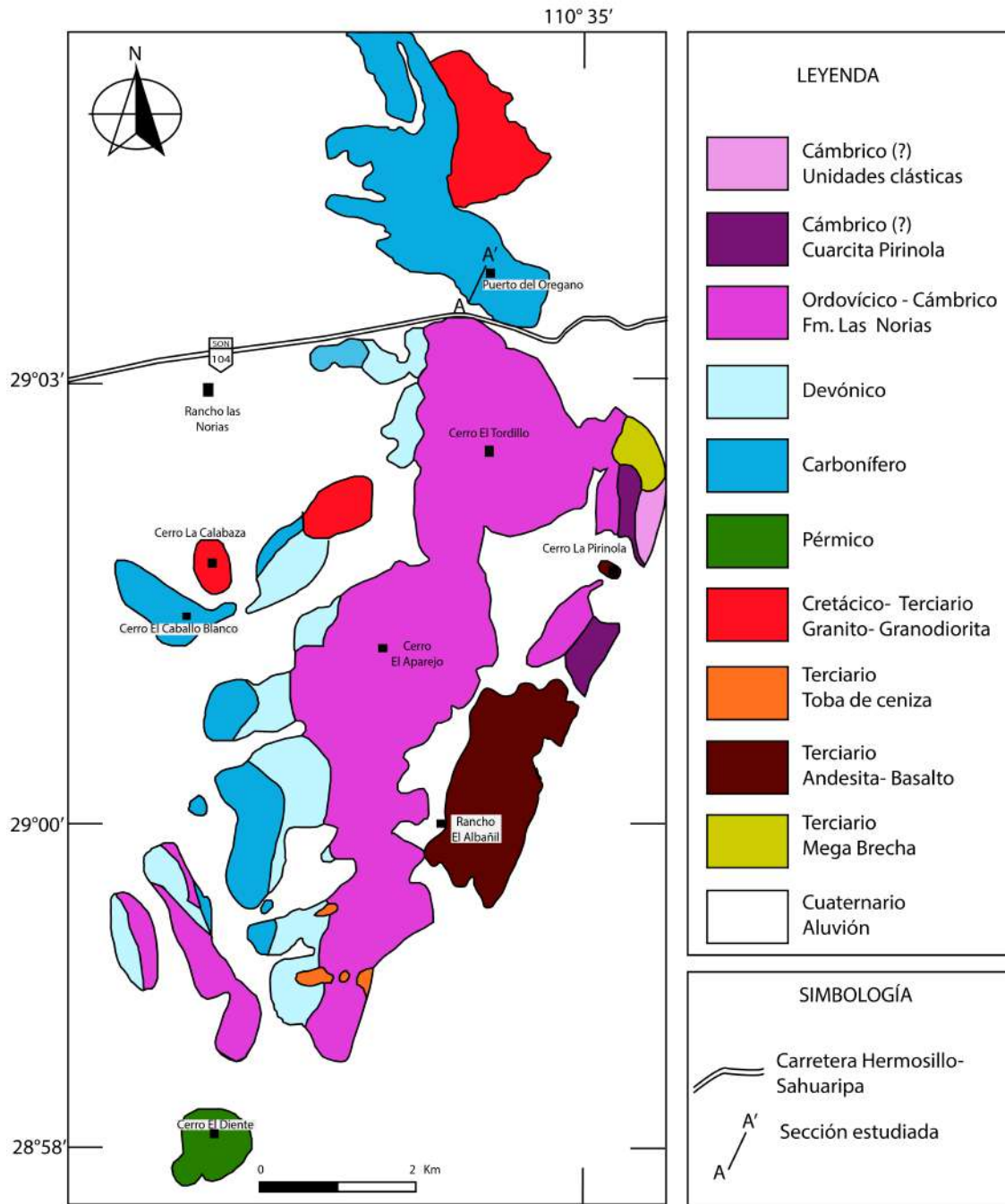


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio (modificado de Page *et al.*, 2003).

8. RESULTADOS

8.1. Sección estudiada: Puerto del Orégano

La sección realizada en el norte de la Sierra de San Juan de Dios tiene un espesor de 200.2 metros (Fig. 5). La base se localiza en las coordenadas UTM (datum WG-84) 3 214 600 N y 538 729 E, con dirección 20° NW y finaliza en las coordenadas 3 214 842 N y 538 853 E. La estratificación de las capas tiene una dirección azimuth 107° con 49° de inclinación hacia el noroeste.



Figura 5. Vista de campo de la sección estudiada; tomada desde el sur hacia el norte.

8.2. Estratigrafía y microfacies

En los primeros 5.5 metros del cerro se presenta una caliza gris medio en superficie intemperizada y superficie fresca (Fig. 12, intervalo A). Los estratos varían de masivos a medianos. Este intervalo presenta intercalaciones de estratos delgados de microconglomerados de 10 cm de espesor y clastos redondeados de medio centímetro. En lámina delgada, la muestra se clasifica como un mudstone con menos de 10% de intraclastos y presenta escasos granos de cuarzo bien redondeados y restos de crinoides. La matriz está compuesta principalmente de micrita con algunas zonas afectadas a microesparita, presenta estilolitos e infiltración de óxidos y sílice en vetillas.

Sobre la caliza mudstone con niveles de microconglomerados sobreyace concordantemente 5.5 metros una caliza de color gris-café en superficie intemperizada y color gris en superficie fresca (Fig. 12, intervalo B). Este intervalo se encuentra aflorando bien expuesto en estratos masivos aunque también presenta estratos delgados con estratificación cruzada, nódulos de pedernal y corales. En lámina delgada (Fig. 6), se observa un packstone compuesto de micrita a microesparita en matriz, presenta fragmentos angulosos en algunas partes, gran cantidad de restos y tallos de crinoides y con menores restos de bryozoarios, además de *Palaeoberesella* sp. (Fig. 7; Daniel Vachard, comunicado escrito).

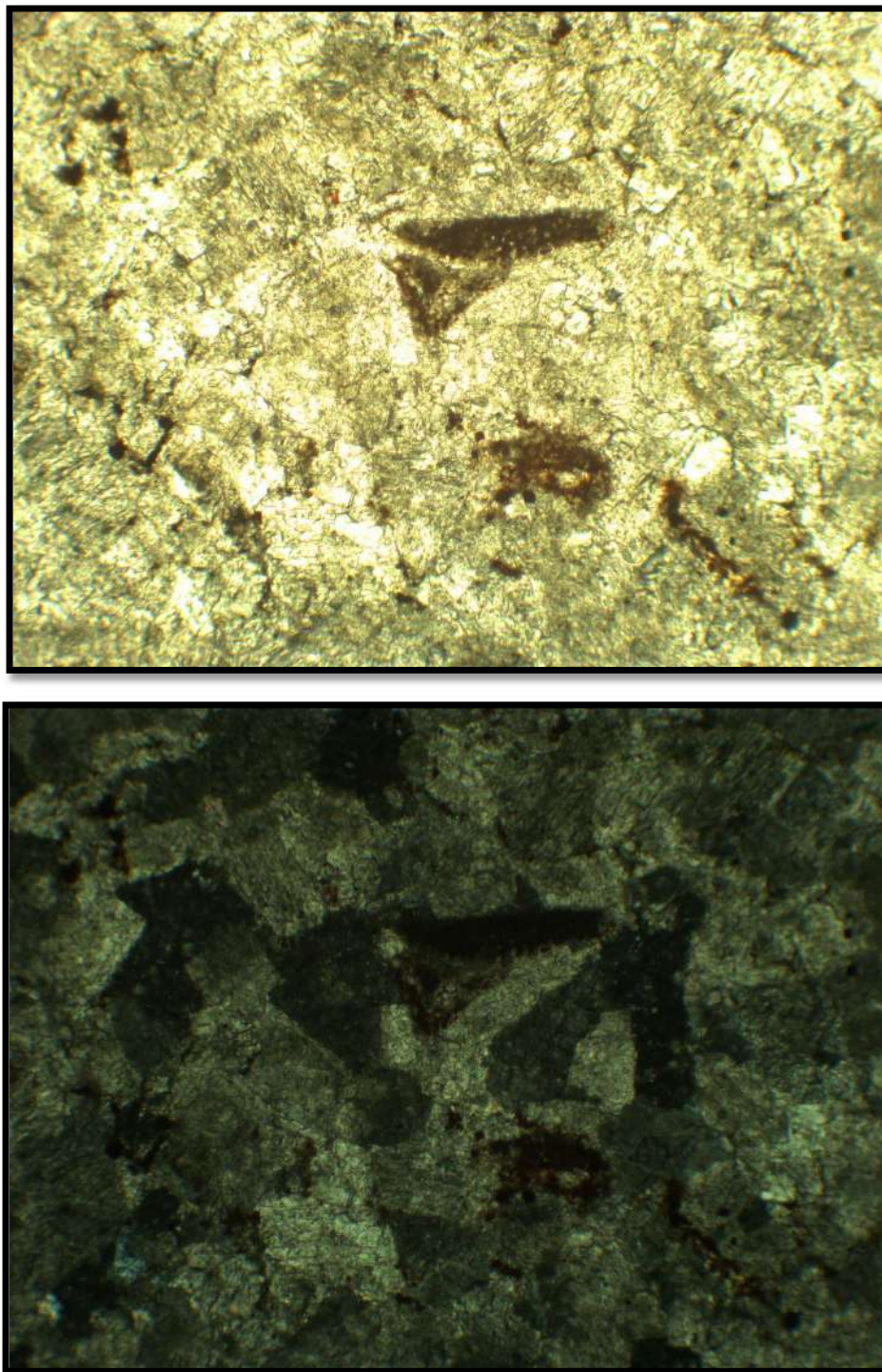


Figura 6. Lámina delgada muestra PO-2 con fragmentos angulosos, restos de brizoarios y tallos de equinodermos.

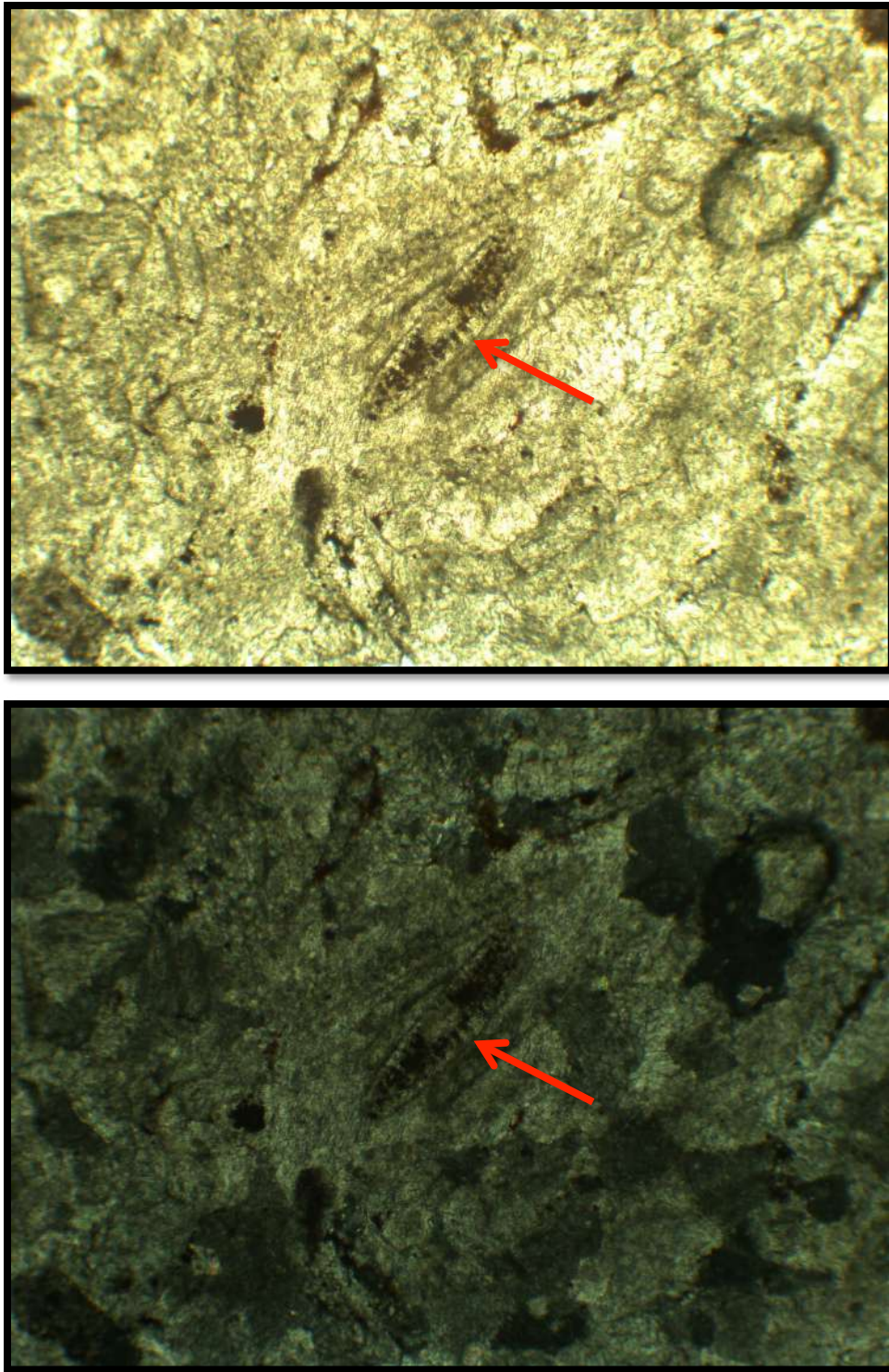


Figura 7. Lámina delgada muestra PO-2 con *Palaeoberesella* sp.

Sobreyaciendo a la caliza grainstone se presenta una brecha calcárea de color gris tanto en superficie intemperizada como en superficie fresca, de 46.8 metros de espesor con clastos de angulosos a subangulosos y mal clasificados que varían de 2 a 8 milímetros de diámetro (Fig. 12, intervalo C). Esta brecha está compuesta por fragmentos de caliza con presencia de intraclastos retrabajados. Se presentan óxidos de fierro y microcristales de cuarzo en matriz.

Sobreyaciendo concordantemente a la brecha calcárea se presentan 7.2 metros de una caliza de color gris oscura tanto en superficie intemperizada como en superficie fresca (Fig. 12, intervalo D). Presenta recristalización con lentes de pedernal. En muestra macroscópica tiene fósiles de corales y equinodermos. Aflora bien expuesta en estratos gruesos a masivos. Las microfacies corresponden a un mudstone con restos de equinodermos, intraclastos y algunos parches de calcita recristalizada.

Sobreyaciendo a las calizas oscuras se presentan 11 metros de una caliza arenosa de color gris medio en superficie intemperizada y color gris rosado en superficie fresca (Fig. 12, intervalo E). Se presenta bien expuesta con presencia de láminas de pedernal y algunos restos de conchas. En lámina delgada se observa una caliza arenosa con matriz compuesta de micrita de color amarillo, granos de cuarzo subredondeados y fragmentos de caliza (Fig. 8). En algunas partes de la lámina se observa recristalización de la calcita. Se presentan bioclastos entre los que resaltan restos de braquiópodos y espículas de equinodermos

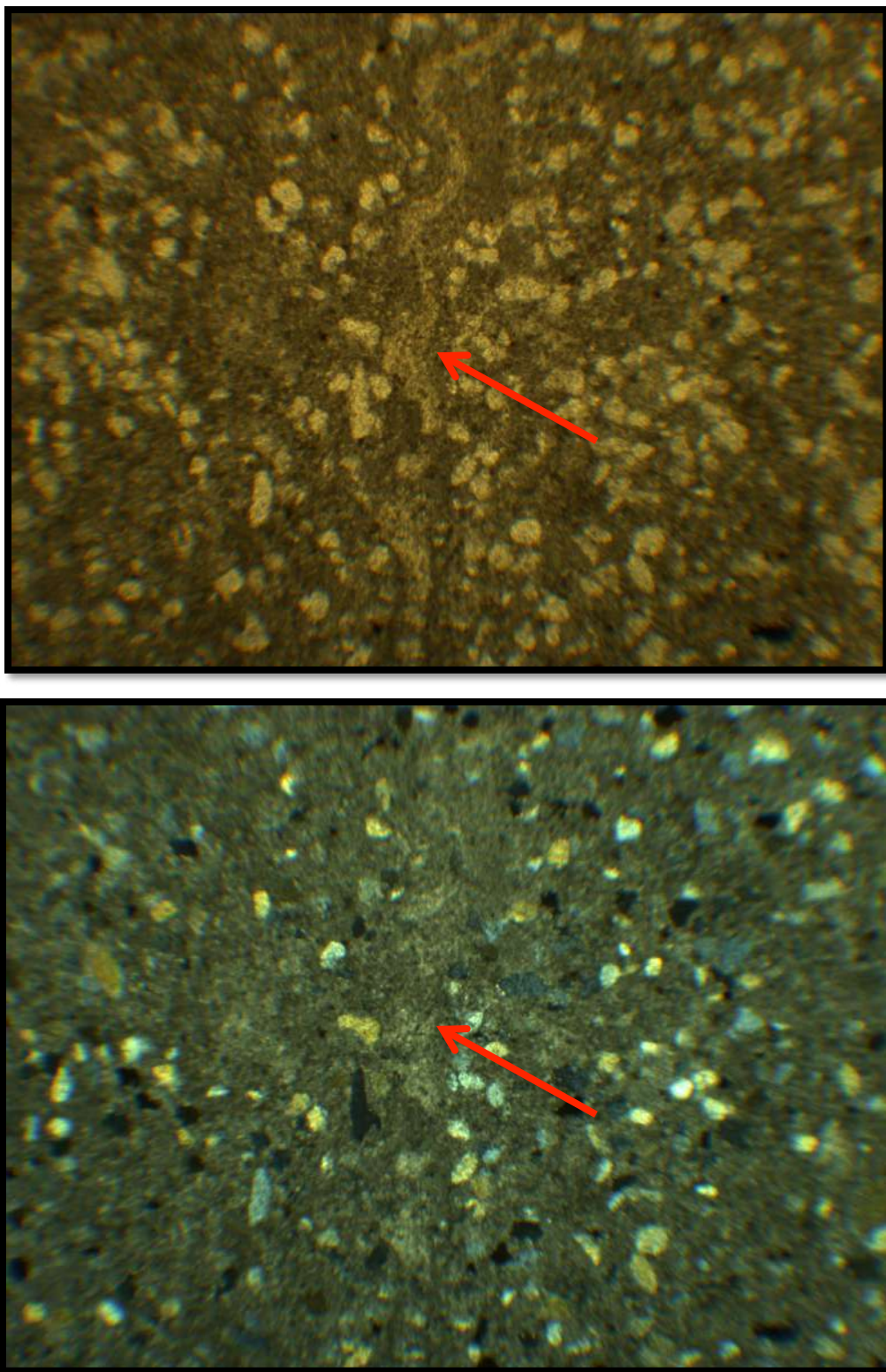


Figura 8. Lámina delgada muestra PO-5 Caliza con arena de cuarzo con corte de braquiópodo.

Sobreyaciendo a la caliza arenosa gris aflora una caliza de color gris oscuro tanto en superficie fresca como intemperizada de 52.2 metros de espesor (Fig. 12, intervalo F). Se presenta aflorando bien expuesta y en estratos masivos con abundantes nódulos de pedernal, vetillas de calcita, pedernal laminar y hematita diseminada y en fracturas. Este intervalo presenta abundantes crinoides y algunos corales. A los 5.4 metros por encima se encuentra un nivel de encrinita y a los 18 metros presenta *Syringopora* sp. (Fig. 9) y además una capa oscura de pedernal en el mismo nivel. En lámina delgada se presenta una caliza mudstone, la matriz está compuesta de micrita a microesparita en zonas recristalizadas con escasos restos de crinoides y espículas, así mismo se observan cristales de dolomitas y cavidades rellenas de sílice y hematita.



Figura 9. *Syringopora* sp. en posición de vida.

Sobreyaciendo a la unidad anterior se presentan 59.4 metros de una caliza gris rojiza en superficie intemperizada y de color gris claro en superficie fresca (Fig. 12, intervalo G). Se encuentra aflorando bien expuesta en estratos masivos. Presenta abundante pedernal, así mismo presenta algunos tallos de crinoides con recristalización. Además se observa abundantemente un mineral de hábito fibroso, probablemente wollastonita. Al microscopio se identifica como una caliza tipo mudstone compuesta principalmente de micrita con braquiópodos y algunas zonas afectadas por recristalización.

Sobreyaciendo a la caliza con wollastonita se encuentra aflorando bien expuesto un paquete de estratos de 12.6 metros de espesor de calizas color rosa en superficie intemperizada y de color gris claro en superficie fresca con estratificación gruesa e intercalaciones delgadas de calizas arenosas (Fig. 12, intervalo H). Ambos estratos presentan abundantes restos de crinoides. Petrográficamente se puede observar una caliza grainstone con matriz compuesta de esparita con presencia de calcita cristalina, conteniendo secciones transversales de crinoides y presencia de algunas fracturas de calcita y estilolitos rellenos de óxidos de fierro (Fig. 10); en secciones orientadas se observa una gran abundancia de crinoides. Posteriormente se presenta en alternancia un wackstone con arenas de cuarzo, granos subangulosos a subredondeados, pellets y tallos de crinoides (Fig. 11). En la parte superior de este intervalo (Fig.12, muestra 14P-21) se han encontrado conodontos del Misisipico Inferior-Medio (ver siguiente apartado).

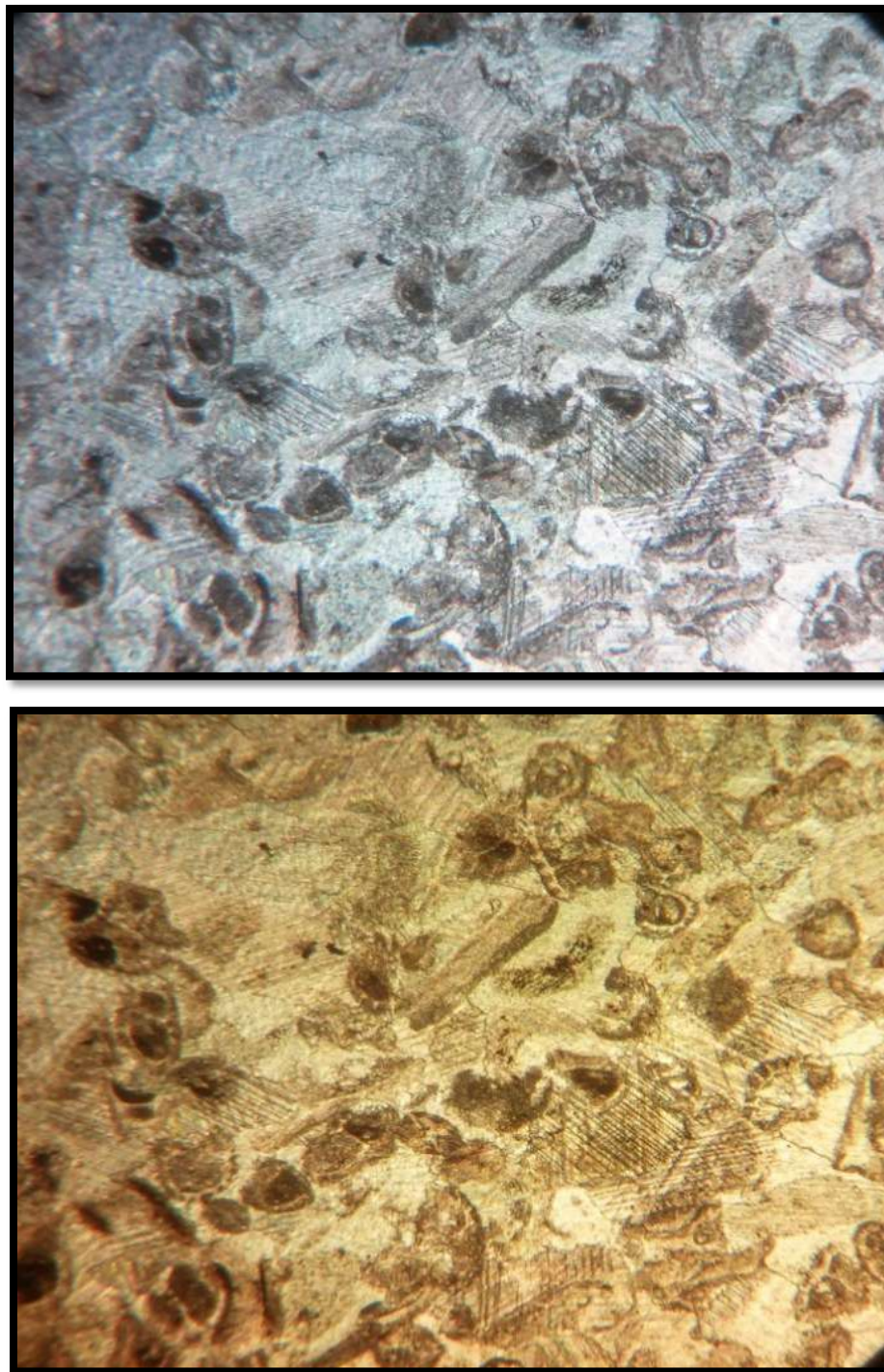


Figura 10. Lámina delgada de lamuestra PO-8 que corresponde a una caliza grainstone con abundantes crinoides.

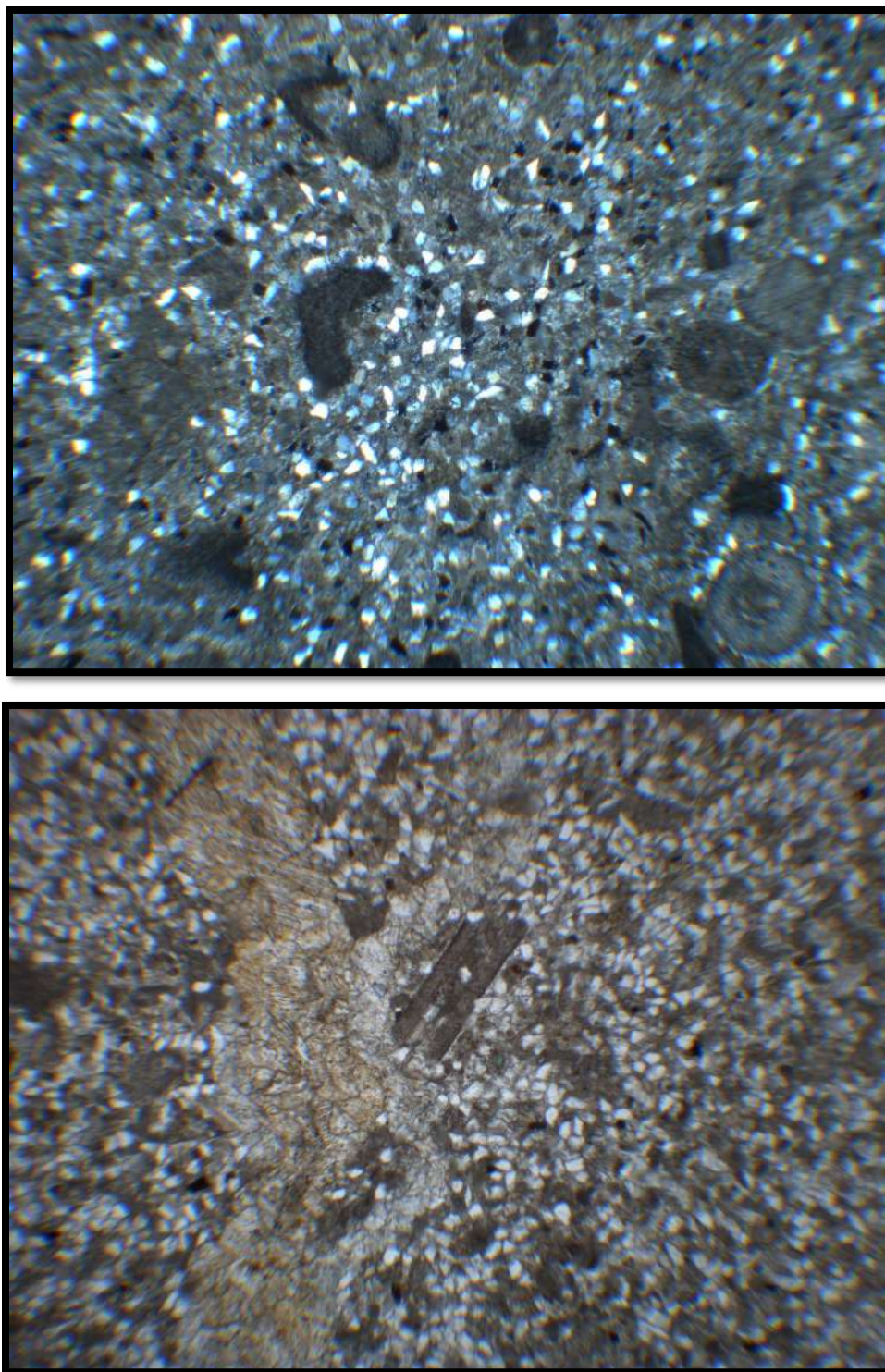


Figura 11. Lámina delgada de la muestra PO-9 que corresponde a una caliza arenosa con granos de cuarzo y equinodermos.

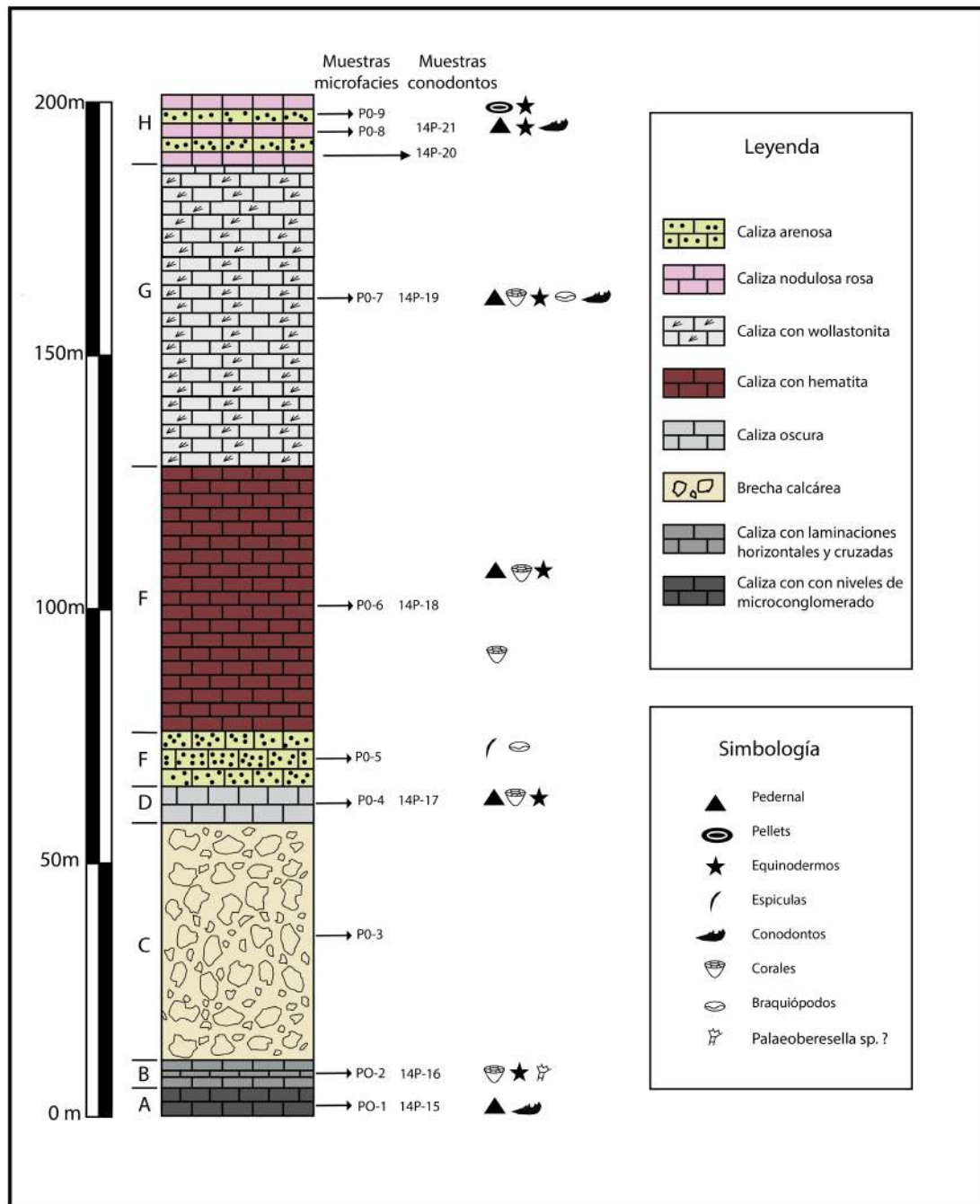


Figura 12. Columna estratigráfica de la sección estudiada en el Puerto del Orégano con localización de las muestras tomadas y los fósiles encontrados.

8.3. Bioestratigrafía de conodontos

Se tomaron un total de siete muestras de roca caliza a lo largo de la sección para realizar estudios bioestratigráficos de conodontos (Fig. 12: 14P-15 hasta 14P-21). Se disolvió un total de 6 kg de estas muestras según el protocolo explicado en el apartado 2.2. Solo la muestra 14P-21 liberó elementos conodontales de plataforma que se pudieron clasificar, además de algunos fragmentos y elementos ramiformes.

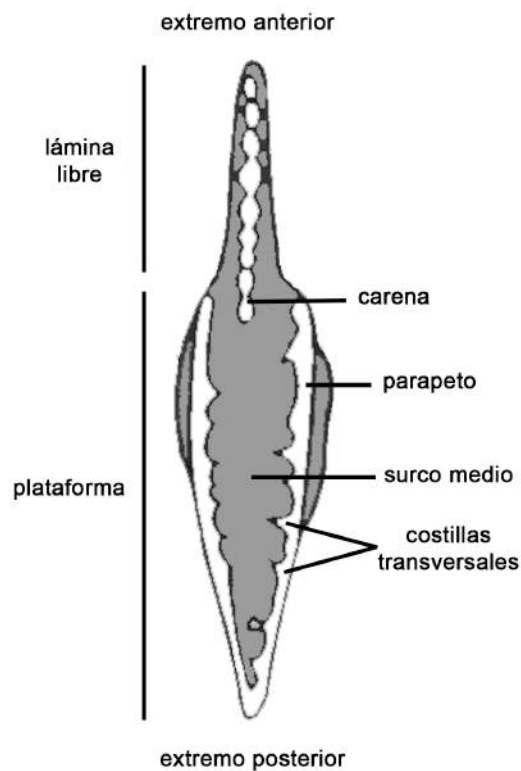


Figura 13. Esquema de la vista superior de un elemento P₁ de *Taphrognathus* con los términos descriptivos utilizados en el texto (modificado de Purnell, 1992).

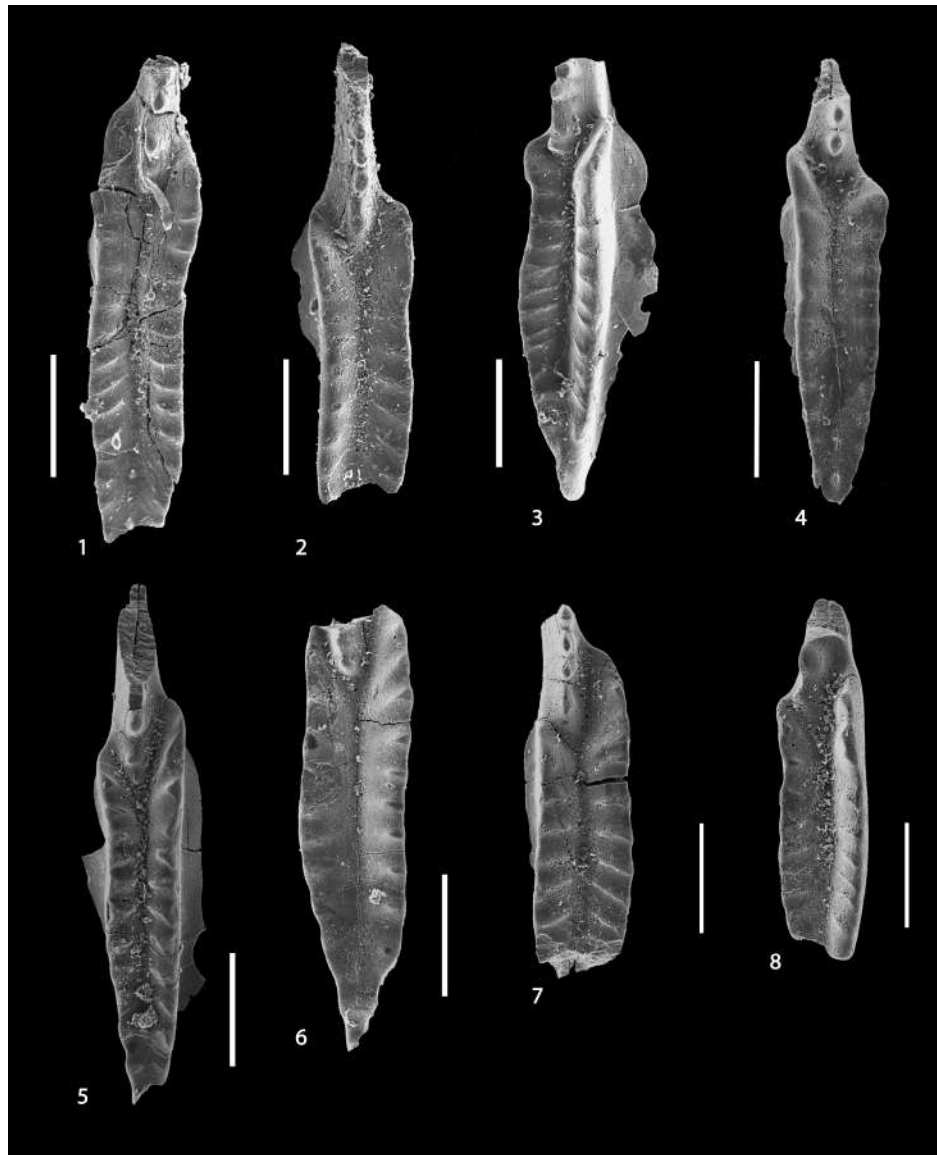


Figura 14. Conodontos del Misisípico de la sección del Puerto del Orégano. La escala gráfica equivale a 200 μ m.

1. *Taphrognathus varians* morfotipo III, ejemplar 14P-21-3;
2. *Taphrognathus varians* morfotipo I, ejemplar 14P-21-4;
3. *Taphrognathus varians* morfotipo I, ejemplar 14P-21-6;
4. *Taphrognathus varians* morfotipo III, ejemplar 14P-21-7;
5. *Taphrognathus varians* morfotipo III, ejemplar 14P-21-10;
6. *Taphrognathus varians* morfotipo II, ejemplar 14P-21-9;
7. *Taphrognathus varians* morfotipo II, ejemplar 14P-21-11;
8. *Taphrognathus varians* morfotipo I, ejemplar 14P-21-12.

Todos los elementos conodontales que se han encontrado corresponden a elementos P_1 de *Taphrognathus varians* Branson y Mehl, 1941 (Fig. 14). A pesar de que todos los elementos están fracturados, se han podido clasificar ya que conservan sus características determinantes: la lámina alcanza la plataforma anterior pasando a ser una carena corta y los parapetos presentan costillas transversales (Fig. 13).

Purnell (1992) define tres morfotipos dentro de esta especie en base a la curvatura de la plataforma y a la posición de la carena con respecto al surco central y a los parapetos, desde una posición central (morfotipo I) hasta una posición marginal (morfotipo II en la margen externa y morfotipo III en la margen interna). De los elementos encontrados, los ilustrados en las figuras 14.2, 14.3 y 14.8 corresponden al morfotipo I; los ejemplares de las figuras 14.6 y 14.7 corresponden al morfotipo II; y los figurados en 14.1, 14.4 y 14.5 al morfotipo III.

En cuanto a las implicaciones paleoecológicas, von Bitter (1976) incluye el género *Taphrognathus* en sus biofacies II que ocurren en plataforma interna y ambientes arrecifales. Purnell (1989, 1992) estudió la distribución de los tres morfotipos de *Taphrognathus varians* a lo largo de una sección en la que había un gradiente ambiental entre ambientes estables abiertos y condiciones ambientales más restringidas. Los morfotipos I y II aparecieron exclusivamente en los ambientes más restringidos, mientras que el morfotipo III mostró un rango ambiental mucho más amplio. En la muestra estudiada, se han encontrado 5 ejemplares que corresponden con los morfotipos I y II, y 3 ejemplares clasificados como morfotipo III. Aunque hace falta un tamaño de muestra mayor, se puede deducir, de manera

tentativa, que el ambiente en el que se depositó el nivel donde se tomó la muestra 14P-21 se corresponde con un paleoambiente de plataforma somera parcialmente restringido.

Según Purnell *et al.* (2002), en la región central de los Estados Unidos de América, *T. varians* aparece a lo largo de un amplio intervalo temporal (Fig. 15) que va desde el Chadiano temprano (equivalente al Osageano medio en Norte América) hasta el Holkeriano tardío (equivalente al Merameciano tardío en Norte América). En términos geocronológicos de la Tabla Estratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía, este intervalo equivale al periodo entre el Tournesiense tardío y el Viseense tardío (Misisípico Inferior y Medio).

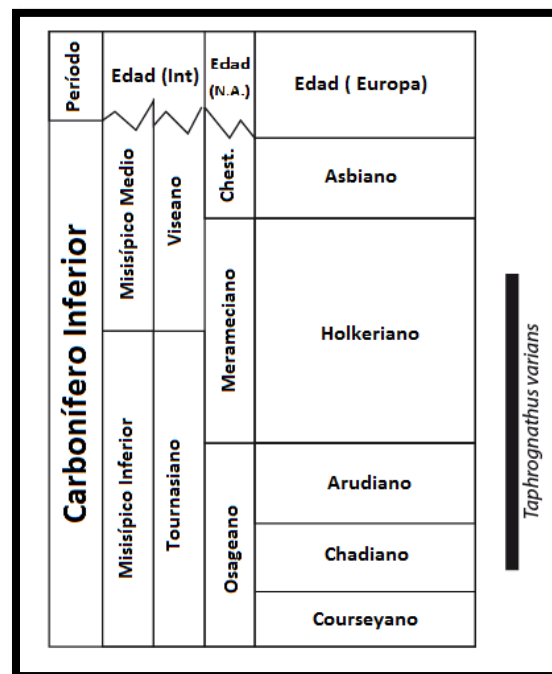


Figura 15. Periodos y edades del Misisípico con la distribución temporal de *Taphrognathus varians*

(Modificado de Purnell *et al.*, 2002).

9. Discusión

La única edad bioestratigráfica que se ha podido obtener en la sección estudiada corresponde a la parte alta de la sección, el intervalo H. El contenido en conodontos de este intervalo H (Fig. 12) indica una edad Misisípico Inferior-Medio (Osageano tardío-Merameciano tardío), por lo que se deduce que este intervalo corresponde con la Unidad misisípica de Page *et al.* (2003), descrita en el área del Rancho de las Norias. Esta edad además confirma la edad misisípica reportada por Peiffer-Rangin (1988) debido a la presencia de otros fósiles.

Las rocas del área del Puerto del Orégano aquí estudiadas tienen similitudes con las rocas del Paleozoico de la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999). Estos autores reportan la presencia de la especie *Taphrognathus varians* en su subunidad 43. Esta subunidad está compuesta de calizas arcillosas mudstone y wackestones con pelmatozoos, braquiópodos y bioclastos, color café con laminaciones amarillas, anaranjadas y rosas en intemperie a las que se le asigna una edad Osageano tardío-Merameciano temprano en base a microfauna calcárea. En la subunidad 46 también se encuentra *Taphrognathus varians*. Esta subunidad está compuesta de packstones, con menor grainstone y wackestone, localmente dolomitizados y con pedernal, de color gris medio, con bioclastos de pelmatozoos, briozoarios, foraminíferos, ostrácodos. Le asignan una edad Merameciano temprano y medio (Misisípico Medio) en base a la presencia de la especie de conodonto *Gnathodus texanus* y otros microfósiles calcáreos. Por último, estos mismos autores también reportan la presencia de la especie de conodonto *Taphrognathus varians* en su subunidad 47. Esta subunidad se encuentra compuesta de grainstone, packstone, wackestone y mudstone con colores que varían de gris medio a café

grisáceo, con pocos lentes de pedernal de forma irregular, y estratos que varían de delgados a gruesos. Presenta además bioclastos de pelmatozoos, briozoarios, foraminíferos y braquipodos, de edad Merameciano tardío (Misisípico Medio). Estas tres subunidades pertenecen a la "Upper Devonian and Mississippian cliff-forming carbonate unit" definida por Stewart *et al.* (1999).

Debido a que no se han encontrado conodontos identificables en el resto de la sección estudiada, los intervalos litológicos aquí descritos no se pueden asignar con certeza a ninguna de las unidades definidas previamente en la región (Page *et al.*, 2003) o en otras áreas equivalentes como la Sierra Agua Verde (Stewart *et al.*, 1999). No obstante, por correlaciones litológicas y por la presencia de otros fósiles con amplio rango bioestratigráfico como *Syringopora*, se puede afirmar que la parte intermedia y baja de la sección estudiada (intervalos A-F) corresponde con edades devónicas o más antiguas.

Las biofacies de los conodontos que se han obtenido de la única muestra que ha liberado conodontos de plataforma identificables indican un ambiente de plataforma somera parcialmente restringido. Según Stewart *et al.* (1999), la secuencia misisípica de la Sierra Agua Verde corresponde a rocas de plataforma interna. El Misisípico del área del Rancho de las Norias según Page *et al.* (2003) corresponde a ambientes de plataforma somera hasta intermedia.

10. CONCLUSIONES

En esta tesis se presenta un estudio detallado de la estratigrafía, las microfacies y la bioestratigrafía de los estratos del Paleozoico tardío que afloran en el área del Puerto del Orégano (Sonora central).

Se reportan conodontos por primera vez en la sección estudiada, que confirman la edad misisípica que fue reportada anteriormente mediante otros grupos fósiles (Peiffer-Rangin, 1988).

Se reporta por primera vez la especie de conodonto *Taphrognathus varians* en la región. Este género es característico de ambientes de plataforma somera. Además se han encontrado distintos morfotipos de esta especie cuya proporción indica que se trataba de ambientes relativamente restringidos.

Se comparó la sección estudiada mediante su litoestratigrafía y bioestratigrafía con áreas mejor conocidas como la región del Rancho de las Norias y la Sierra Agua Verde. La parte alta de la sección estudiada se incluye en la Unidad misisípica descrita por Page *et al.* (2003) y se correlacionó con las subunidades 43, 46 y 47 de la Unidad "Upper Devonian and Mississippian cliff-forming carbonate unit" de la Sierra Agua Verde.

Son necesarios más estudios bioestratigráficos en la parte media y baja de la sección estudiada para tratar de encontrar conodontos identificables y poder datar los niveles. Esto permitirá además correlacionar estos estratos con otros afloramientos equivalentes del centro de Sonora.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Branson E.B., Mehl M. G., 1941. Conodonts from the Keokuk Formation. *Journal of the Scientific Laboratories*, 35, 179-188.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Roldan-Quintana, J., Cocheme, J.J., 1983. El batolito Laramide (90–40 Ma) de Sonora. *Asoc. Ing. Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Memoria Tecnica XV Conv. Nacional*, Guadalajara, 63–95.
- Dumble, E.T., 1900. Notes on the geology of Sonora, Mexico. *American Institute of Mining Engineers, Transactions*, 29, 122-152.
- Dunham, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: W.E. Hamm (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks, A Symposium*. American Association of Petroleum Geologists, 108-121.
- Epstein, A.C., Epstein, J.B., Harris, L.D., 1977. Conodont color alteration - an index to organic metamorphism: U.S. Geological Survey Professional Paper, 995, 1-27.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer. 976pp.
- Franco-Vega, O., 2000. *Biostratigrafía del Ordovícico Temprano en Los Ranchos Pozo Nuevo y Las Norias, Sonora*. MS Thesis. University of Sonora, Hermosillo, Sonora, Mexico, 122pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 1982. *Carta Geológica Hermosillo (H12-8), esc. 1:250 000*. 2ª Impresión.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2004. Carta Edafológica Hermosillo (H12-8), esc. 1:250 000.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2011. Carta de Climas, esc. 1:1 000 000.
- Jeppsson, L., Anehus, R., Fredholm, D., 1999. The optimal acetate buffered acetic acid technique for extracting phosphatic fossils. *Journal of Paleontology*, 73, 964-972.
- King, R. E., 1939. Geologic reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 50, 1625-1722.
- McDowell, F.W., Roldan-Quintana, J., 1993. Geochronology of Mesozoic and Cenozoic magmatism in south-central Sonora: a progress report. En: González-León, C., Vega-Granillo, E.L. (Eds.), *III Simposio de la geología de Sonora y áreas adyacentes*. 77–80.
- Menicucci, S., 1975. Reconnaissance Geologique et minière de la region entre Hermosillo et le Río Yaqui Sonora Central, Mexico. Tesis de 3er ciclo, Universidad de Grenoble, 270pp.
- Page, W.R., Harris, A.G., Poole, F.G. Repetski, J.E. 2003. Reinterpretation of the stratigraphy and structure of the Rancho Las Norias area, central Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 523–540.
- Pander, C.H., 1856. *Monography der fossilen Fische des Silurischen Systems der Russisch-Baltischen Gouvernements*: St. Petersburg, Akademie der Wissenschaften, 91pp.

- Paz, M.M., 1983. Geología de los basaltos de Moctezuma, Sonora. Tesis profesional, Universidad de Sonora. 103pp.
- Peiffer-Rangin, F., 1988. Biostratigraphic study of Paleozoic rocks of northeastern and central Sonora, unpublished manuscript on file with J.H. Stewart, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California and F.G. Poole, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado, 90pp.
- Poole, F.G., Stewart, J.H., Repetski, J.E., Harris, A.G., Ross, R.J., Ketner, K.B., Amaya-Martinez, R., Morales-Ramirez, J.M., 1995. Ordovician carbonate-shelf rocks of Sonora, Mexico. In: Cooper, J.D., Droser, M.L., Finney, S.C. (Eds.), *Ordovician Odyssey: Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System*. Fullerton, CA, Pacific Section of Society of Sedimentary Geology (SEPM), 77, 267–275.
- Poole, F.G., Perry, W.J., Madrid R., Amaya-Martínez, R., 2005. Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate-tectonic model. *Geological Society of America Special Paper*, 393, 1-595.
- Purnell, M.A., 1989. Dinantian shallow shelf conodonts of the Northumberland trough. Tesis doctoral, Universidad de Newcastle Upon Tyne.
- Purnell, M.A., 1992. Conodonts of the lower Border Group and equivalent strata (Lower Carboniferous) in the northern Cumbria and the Scottish Borders, U.K. *ROM Life Sciences Contributions*, 156, 1 -79.

- Purnell M.A., von Bitter P. H., Groessens, E., 2002. *Taphrognathus carinatus* (Higgins & Varker) (Conodonta, Vertebrata) from the Lower Carboniferous of Belgium and international correlation using taphrognathids. *Journal of Micropaleontology*, 21, 97-104.
- Remond de Corbuneau, A., 1866. Notice of Geological Explorations in Northern México. San Francisco, California, 13 pp. (v. American Jour. Sci. Arts, 2a . ser., 4 2 (125) :261-264).
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Mamet, B.L., Morales-Ramirez, J.M., 1999. NeoPrecambrian (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 16 (1), 35–62.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., 2002. Inventory of Neoproterozoic and Paleozoic strata in Sonora, Mexico. USGS Open-File Report 02-97, 1-43.
- Vega-Granillo, R., Araux-Sanchez, E., 1987. Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias, Sonora central. *Boletín del Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Mexico*, 4 (1/2), 41–50.
- von Bitter, 1976. Paleoeology and distribution of Windsor Group (Visean-?Early Namurian) conodonts, Port Hood Island, Nova Scotia, Canada. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 15, 225-241.