

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL
PENSILVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO)
DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA,
MÉXICO.

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
GEÓLOGO



PRESENTA:
RAMÓN DANIEL RIVERA SIVIRIÁN

HERMOSILLO, SONORA, MARZO DE 2016

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 a 7 de marzo, 2016

DRA. SILVIA MARTINEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE SONORA
P R E S E N T E.-

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

“KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL PENSILVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO) DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO”

Lo anterior con el fin de que **RAMÓN DANIEL RIVERA SIVIRIÁN** con **Expediente No. 204202367**, 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”



M.C. FRANCISCO JAVIER CUÉN ROMERO
DIRECTOR



M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
CO-DIRECTOR

C.c.p. Archivo.





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 12 de marzo, 2016

M.C. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO
DIRECTOR DE TESIS
M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
CO-DIRECTOR 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:

"KASKIA (TRIOBITA – PROETIDA) DEL PENSILVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO) DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO"

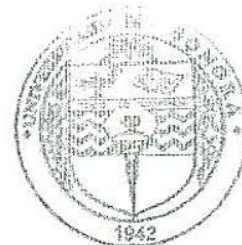
Esto es en fin de que el alumno **RAMÓN DANIEL RIVERA SIVIRIÁN** con **Expediente No. 204202367** pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo les comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

PRESIDENTE	DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA
SECRETARIO	M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
VOCAL	M.C. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO
VOCAL	DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ

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

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

DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA
JEFA 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

Departamento de Geología
División de Ciencias Exactas y Naturales

NOMBRE DE LA TESIS:

**"KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL PENSILVÁNICO MEDIO
(MOSCOVIANO) DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO"**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

RAMÓN DANIEL RIVERA SIVIRIÁN

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. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA

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. JOSÉ 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. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO

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. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ

**ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**

**DRA. SILVIA MARTINEZ RETAMA
JEFA DEL DEPARTAMENTO.**



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

C.c.p. Archivo.

MI FAMILIA QUE TANTO QUIERO, MIS PADRES RAMÓN RIVERA Y ANGELITA SIVIRIÁN QUE
CON GRAN ESFUERZO ME IMPULSARON A CRECER Y APRECIAR LA VIDA, JUNTO CON MIS
HERMANOS HÉCTOR, SAÚL, RAYMUNDO Y LA REINA DE LA CASA MI HERMANA, A TODOS POR
CREER EN MÍ Y DARME LOS ÁNIMOS DE SEGUIR MIS METAS.

A MI NOVIA TANIA MARÍA VILLA QUE LA TENGO TAN PRESENTE EN MI VIDA POR AYUDAR A
COMPLEMENTARME Y HACERME SENTIR EL HOMBRE MÁS FELIZ DE ESTA TIERRA,
AGRADEZCO TANTO TU PACIENCIA Y DEDICACIÓN HACIA MÍ.

AGRADECIMIENTOS

Como primera parte quiero expresar mi gratitud a todas las personas que estuvieron presente en mis años de vida universitaria, apoyándome en todos los aspectos que complementaron mi desarrollo hasta mi formación como Geólogo.

En primera parte a mi gran amigo Francisco Cuen por su gran apoyo incondicional, brindándome la atención de su tan valioso tiempo con tanta dedicación y vocación que lo distingue, de quien estoy completamente agradecido por la dirección de esta tesis. A mí apreciado maestro M.C. José Alfredo Ochoa Granillo que con tanta amabilidad y dedicación aceptó dirigir este trabajo, proporcionando sin reservas una gran cantidad de información de su propiedad y por sus atentas correcciones. A mis maestros sinodales y magníficas personas: Dra. Blanca E. Buitrón Sánchez y Dr. Rogelio Monreal Saavedra por ayudarme a refinar detalles de mi trabajo, identificación de la biota fósil y una atenta revisión del escrito, quedando de mi parte infinitamente agradecido por brindarme el apoyo que tanto requería.

Mi segunda familia Cuen – Romero, Don Jesús Cuen y doña Alba Romero con sus grandes hijos Yazmin, Pancho y Jesús que me han abierto las puertas de su casa con una confianza inmedible, apoyándome en muchísimas circunstancias que los hacen guardar un lugar muy especial dentro de mí.

A mis amigos que tanto extraño José Elías Zérega y Jeremy Langford, que siempre están tan atentos ante cualquier situación en la que me encuentre, agradezco mucho la tremenda consideración que me tienen en sus vidas.

A todos mis maestros y personal administrativo del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, en especial a Araceli que siempre me atendió con tanta amabilidad y educación durante mis necesidades como estudiante.

Y en gran medida a mi padre Dios, siendo el único ser del saber por qué y para qué las cosas.

DRA. BLANCA ESTELA BUITRÓN SÁNCHEZ
Instituto de Geología – Universidad Nacional Autónoma de México

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA
Departamento de Geología – Universidad de Sonora

M.C. JOSÉ ALFREDO OCHOA GRANILLO
Departamento de Geología – Universidad de Sonora

M.C. FRANCISCO JAVIER CUEN ROMERO
Departamento de Geología – Universidad de Sonora

ÍNDICE

1. Resumen.....	8
2. Introducción	10
3. Objetivos.....	13
4. Generalidades.....	14
4.1. Antecedentes y trabajos previos	14
4.2. Metodología.....	16
4.3. Clima.....	17
4.4. Edafología	17
4.5. Vegetación.....	18
4.6. Fisiografía.....	18
4.7. Localización del área de estudio.....	19
5. Marco Geológico Regional.....	20
6. Estratigrafía.....	24
6.1. Paleozoico	24
6.1.1. Formación Puerto Blanco.....	24
6.1.2. Formación Proveedora	25
6.1.3. Formación Arrojos	26
6.2. Formación El Boquinete (Informal).....	27
6.3. Formación El Pollo (Informal)	28
6.4. Formación Santiago (Informal).....	29
6.5. Formación La Joya (Informal)	30
6.6. Formación Tuntunudé (Informal)	31
6.7. Mesozoico	32
6.7.1. Formación La Mina (Informal).....	32

6.7.2. Formación Tarahumara (Informal)	32
6.7.3. Granito Mátape (Informal)	32
6.8. Cenozoico.....	33
6.8.1. Granito del Puerto (Informal)	33
6.8.2. Unidad Wilson (Informal)	33
6.8.3. Volcanismo terciario.....	33
7. Consideraciones Paleogeográficas y Paleoecológicas	36
8. Trilobites (Generalidades)	38
9. Paleontología sistemática.....	40
10. Resultados y conclusiones.....	46
11. Bibliografía.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio.	19
Figura 2.- Carta Geológica - Minera, San José de Batuc, H12-D44 (1 50000). Tomado de SGM (2008).	23
Figura 3.- Plano Geológico del área Agua Verde, modificado de Ochoa & Sosa 1993.	34
Figura 4.- Columna estratigráfica modificado de Ochoa & Sosa 1993.....	35
Figura 5.- Paleogeografía del Pensilvánico en el Colorado Plateau, mostrando la localización posible del área de estudio (tomado de http://cpgeosystems.com/)	37
Figura 6.- <i>Kaskia</i> sp., pigidio. Localidad: Sierra Agua Verde, Sonora, México.	42
Figura 7.- Cranidio de <i>Kaskia</i> sp., Sierra Agua Verde, Sonora, México.	42
Figura 8.- Cranidio de <i>Kaskia</i> . Imagen anterior aumentada.	43

Figura 9.- Pigidio de trilobite mal conservado. Sierra Agua Verde, Sonora, México.	43
Figura 10.- Detalle de una colonia de briozoarios ramosos. Sierra Agua Verde.	44
Figura 11.- Briozoario ramoso. Sierra Agua Verde.	44
Figura 12.- Detalle de un braquiópodo (Orthida). Sierra Agua Verde.	45
Figura 13.- Placas columnares de crinoideos mal conservadas. Sierra Agua Verde.	45

1. RESUMEN

En la Sierra Agua Verde localizada a 105 km al este de Hermosillo, Sonora, aflora una secuencia de rocas predominantemente carbonatadas del Pensilvánico, incluidas en la formación La Joya, la cual posee un espesor aproximado de 260 m. Para su estudio esta unidad ha sido dividida en dos unidades informales (A – B). La Unidad A corresponde a la parte basal (160 m) y está compuesta por calizas fosilíferas en estratos gruesos a medianos intercalados con lodolitas calcáreas y lentes arenosos de pedernal, con la presencia de una abundante biota fósil, representada por *Syringopora* sp., *Crurithyris* sp. y *Glytopora*, en asociación con fragmentos de crinoideos y trilobites.

Se documenta por primera vez para la Unidad A la presencia del trilobite proétido *Kaskia* sp., el cual es muy común en los depósitos del Pensilvánico de Norteamérica.

La parte superior de la secuencia, Unidad B, corresponde a calizas de estratificación gruesa, de color gris claro en superficie fresca y azul claro en intemperie, con intercalaciones de lodolitas calcáreas de color gris a rojo, en estratos de un espesor aproximado de 3 m. En esta unidad se tiene la presencia de *Syringopora* sp. y *Lamprosterigma erathense* además de briozoarios, gasterópodos y fragmentos de moluscos. Esta unidad posee un espesor de 100 m.

Se infiere que el depósito de esta secuencia se llevó a cabo en una plataforma somera con variaciones en la profundidad debido a la presencia de pedernal, además del desarrollo de bancos calcáreos y aporte terrígeno. *Kaskia* sp. ha sido documentada en ambientes marinos someros y de alto estrés ambiental, tal como se confirma en las variaciones depositacionales para esta unidad.

Con base en el contenido biótico anteriormente documentado por otros autores, además de la presencia de *Kaskia* sp., se ratifica la edad del Pensilvánico Medio (Moscoviano) para esta unidad, además de confirmar la afinidad biótica existente entre las rocas de Norteamérica y México durante el Paleozoico superior.

KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL PENSILVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO)
DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO.

En el presente trabajo se reporta por primera vez la presencia de trilobites del Pensilvánico en Sonora y constituye el segundo registro para México.

2. INTRODUCCIÓN

Los sedimentos del Eratema Paleozoico en México son escasos debido a que se encuentran cubiertos por una potente secuencia de rocas del Mesozoico y Cenozoico, sin embargo, existen algunas localidades el Territorio Nacional donde es posible estudiar afloramientos que varían del Cámbrico al Pérmico, con una biota relativamente bien conservada, destacando el estado de Sonora, al noroeste del país. (Buitrón *et al.*, 2008).

Los sedimentos del Carbonífero en México se encuentran representados en diversos estados del país, principalmente Sonora, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, entre otros. El subsistema Pensilvánico se conoce en San Salvador Patlanoaya, Puebla, donde se reporta una abundante fauna fósil para la Unidad III de la Formación Patlanoaya, la cual contiene principalmente crinoideos, entre los cuales se menciona *Cyclocaudex jucundus*, *Cyclocaudex insaturatus*, *Mooreanteris waylandensis*, *Mooreanteris perforatus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Plumeranteris sansaba* y *Heterosteleschus keithi* (Buitrón *et al.*, 2008).

En el estado de Sonora son varias las localidades documentadas del Pensilvánico, las cuales han sido estudiadas por diferentes autores, destacando las localidades de Sierra Agua Verde, Cerro Las Mesteñas y Cerro El Tule.

La Sierra Agua Verde, Sonora, comprende depósitos sedimentarios del Paleozoico que varían del Cámbrico al Pérmico, los cuales han sido incluidos en el grupo San José y el grupo Agua Verde (Ochoa & Sosa, 1993). El grupo San José comprende las unidades cámbricas de la Formación Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Arrojos, las cuales fueron estudiadas a mediados del siglo XIX por Cooper *et al.*, (1952; 1956), en el área de Caborca, Sonora, México. El grupo Agua Verde fue informalmente propuesto por Ochoa & Sosa (1993), para incluir una secuencia compuesta por las formaciones El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé (informal), las cuales comprenden un rango de edades del Ordovícico al Pérmico.

2. INTRODUCCIÓN

Los sedimentos del Eratema Paleozoico en México son escasos debido a que se encuentran cubiertos por una potente secuencia de rocas del Mesozoico y Cenozoico, sin embargo, existen algunas localidades el Territorio Nacional donde es posible estudiar afloramientos que varían del Cámbrico al Pérmico, con una biota relativamente bien conservada, destacando el estado de Sonora, al noroeste del país. (Buitrón *et al.*, 2008).

Los sedimentos del Carbonífero en México se encuentran representados en diversos estados del país, principalmente Sonora, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, entre otros. El subsistema Pensilvánico se conoce en San Salvador Patlanoaya, Puebla, donde se reporta una abundante fauna fósil para la Unidad III de la Formación Patlanoaya, la cual contiene principalmente crinoideos, entre los cuales se menciona *Cyclocaudex jucundus*, *Cyclocaudex insaturatus*, *Mooreanteris waylandensis*, *Mooreanteris perforatus*, *Cylindrocauliscus fiski*, *Plumeranteris sansaba* y *Heterosteleschus keithi* (Buitrón *et al.*, 2008).

En el estado de Sonora son varias las localidades documentadas del Pensilvánico, las cuales han sido estudiadas por diferentes autores, destacando las localidades de Sierra Agua Verde, Cerro Las Mesteñas y Cerro El Tule.

La Sierra Agua Verde, Sonora, comprende depósitos sedimentarios del Paleozoico que varían del Cámbrico al Pérmico, los cuales han sido incluidos en el grupo San José y el grupo Agua Verde (Ochoa & Sosa, 1993). El grupo San José comprende las unidades cámbricas de la Formación Puerto Blanco, Proveedora, Buelna y Arrojos, las cuales fueron estudiadas a mediados del siglo XIX por Cooper *et al.*, (1952; 1956), en el área de Caborca, Sonora, México. El grupo Agua Verde fue informalmente propuesto por Ochoa & Sosa (1993), para incluir una secuencia compuesta por las formaciones El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé (informal), las cuales comprenden un rango de edades del Ordovícico al Pérmico.

La formación El Boquinete está compuesta por lutita calcárea, caliza con pedernal, arenisca y ortocuarcita, la cual posee una abundante biota fósil donde destacan espículas de esponja, *Liricamera* sp., *Diparelasma* sp., *Paleophyllum* sp., *Paleovalvulites* y *Streptelasma* sp., siendo considerada del Ordovícico. La formación El Pollo consiste en estratos delgados a masivos de caliza, caliza dolomitizada, dolomía y caliza arenosa con abundante pedernal, para esta unidad se han documentado los fósiles *Ampliospora* sp., *Alveolites* sp., *Actinostroma* sp., *Syringopora* sp. y *Michelina* sp., asignándosele una edad del Devónico. La formación Santiago está compuesta por caliza dolomitizada, caliza y caliza arenosa con nódulos de pedernal, presenta una fauna fósil compuesta por *Brachytyrina* sp., *Amplexiozaphrentis* sp. y *Syringopora* sp., siendo considerada del Misisípico. La formación La Joya está compuesta de calizas masivas intercaladas con lutita calcárea con lentes arenosos, para los cuales se ha documentado la fauna fósil representada por *Lamprosterigma erathense*, *Chaetetes* sp., *Syringopora* sp., *Fenestrellina* sp., *Glytopora* sp., *Crurithyris* sp. y *Neospirifer* sp., lo cual le proporciona una edad del Pensilvánico. Finalmente la formación Tuntunudé está compuesta por estratos medianos a gruesos de caliza rojiza dolomitizada e intercalada con caliza arenosa, caliza limosa con nódulos de pedernal y arenisca. Los principales fósiles indicadores presentes en esta unidad corresponden a *Schawgerina* sp. y *Globivalvulina* sp., indicando una edad del Pérmico. (Ochoa & Sosa, 1993).

De las unidades mencionadas anteriormente, la formación La Joya ha sido estudiada ampliamente por diversos autores, enfocándose principalmente en su contenido biótico. (Ochoa & Sosa, 1993; Almazán *et al.*, 2007; Buitrón *et al.*, 2007; Buitrón *et al.*, 2012; Buitrón *et al.*, 2015), reportando una abundante biota fósil constituida por algas calcáreas, esponjas, corales, braquiópodos, moluscos, y equinodermos; sin embargo, no existen registros que mencionen la presencia de trilobites en esta secuencia del Pensilvánico.

De la biota fósil mencionada anteriormente en la formación La Joya, las placas articulares de crinoideos son las que han recibido mayor atención, debido a su extraordinaria variedad en el registro fósil y su utilidad para propósitos

bioestratigráficos y sedimentológicos (Buitrón *et al.*, 2007; 2008), reportándose las especies *Cyclocaudex insaturatus*, *Cyclocrista martini*, *Heterosteichus keithi*, *Lamprosterigma mirificum*, *Moorenatheris waylandensis*, *Pentagonopteryx inscultus*, *Preptopremnum laeve*, *Preptopremnum rugosum*, *Cycloscapus laevis* y *Pentaridica simplicis*. La asociación biótica de la formación La Joya consiste en chaetétidos, braquiópodos, corales tabulados, corales solitarios, gasterópodos, fusulínidos y algunas filoides.

En el Pensilvánico del Cerro Las Mesteñas, noreste de Sonora, se ha identificado una biota marina compuesta por facetas de crinoideos, briozoarios, gasterópodos, braquiópodos, corales y fusulínidos. (Buitrón *et al.*, 2008). En Cerros El Tule, la asociación faunística está representada por braquiópodos, corales, briozoarios, gasterópodos y chaetétidos. (Buitrón, *op. cit.*).

Dentro del Phylum Arthropoda Latreille, 1829, los trilobites constituyen las faunas marinas dominantes durante el Paleozoico temprano, ocupando importantes nichos ecológicos desde su primera aparición cerca de la base del Cámbrico hasta su extinción durante el Pérmico tardío. En efecto, su amplia distribución geográfica, y corto rango estratigráfico, les confiere un valor relevante en estudios bioestratigráficos, sedimentológicos y paleoecológicos.

El conocimiento que se tiene sobre trilobites en México es escaso, en este sentido destacan los del Cámbrico de los estados de Sonora y Oaxaca (Lochman, 1948; Cooper *et al.*, 1952; 1956; Robison & Pantoja-Alor, 1968; González-León, 1986; Almazán, 1989; Almazán, 2002; Cuen, 2013). Para el Ordovícico de Sonora (Almazán, 1989; Almazán *et al.*, 2003). Los trilobites del Silúrico y Devónico en México son prácticamente desconocidos y para el Carbonífero se conoce una especie del Pensilvánico de Oaxaca (*Griffithides ixtaltepecensis*) (Morón & Perrilliat, 1988). Finalmente para el Pérmico ha sido documentada la especie *Anisopyge whitei* en el estado de Hidalgo (Sour-Tovar *et al.*, 2005).

Dos aspectos fundamentales son la motivación del presente trabajo: a) documentar la presencia de trilobites del Pensilvánico Medio (Muscoviano) en Sonora. b) contribuir al conocimiento del Paleozoico superior en México, ya que como se mencionó anteriormente este constituye el segundo registro de trilobites del Pensilvánico en México, mientras que el anterior fue documentado por Morón & Perrilliat (1988) en rocas de la Formación Ixtaltepec en Oaxaca, designando una nueva especie denominada *Griffithides ixtaltepecensis*.

3. OBJETIVOS

Los objetivos de esta tesis son:

1. Documentar la presencia de trilobites del Pensilvánico Medio en Sonora, México.
2. Contribuir al conocimiento del Paleozoico superior en México.

4. GENERALIDADES

4.1. ANTECEDENTES Y TRABAJOS PREVIOS

Los depósitos del Pensilvánico de Sierra Agua Verde, Sonora, México, han sido ampliamente estudiados, a continuación se muestran los trabajos más relevantes.

Almazán *et al.* (2007), realizan un estudio sobre chaetétidos del Atokano tardío en la formación La Joya (Pensilvánico) de Sierra Agua Verde, Sonora. Estos autores muestran depósitos del subsistema Pensilvánico presentes en las formaciones La Horquilla y La Joya, con variaciones en edad del Cámbrico al Pérmico, depositadas en un ambiente de plataforma. El contenido biótico de la formación La Joya está constituido por algas calcáreas, crinoideos y conodontos. También el mismo autor hace una correlación biótica con rocas de los estados norteamericanos de Arizona, Texas, Kansas y Nevada, además de la cordillera Cantábrica (España); tal correlación se llevó a cabo principalmente por la presencia de *Komia* y *Eugonophyllum* los cuales resultan de gran utilidad para este tipo de estudios. Este trabajo demostró que los ambientes de depósitos de la Sierra Agua Verde y parte central de Texas son relativamente más profundos en comparación con los de Kansas, Arizona y este de Texas, EUA.

Buitrón *et al.* (2007), realizan un estudio enfocado al estudio de encrinatas del Atokano tardío en rocas de la formación La Joya (informal) en la Sierra Agua Verde, describiendo calizas fosilíferas con nódulos de pedernal con abundante y diverso contenido fósil. Estas calizas constituyen un ejemplo claro de lo que es denominado por la autora como una encrinata regional, las cuales contienen ejemplares de *Cyclocaudex*, *Cyclocrista*, *Heterosteleschus*, *Mooreanteris*, *Pentagonopteryx*, *Preptopremnum*, *Cycloscapus* y *Pentaridica*, sugiriendo un ambiente marino somero. La asociación faunística anterior revela una fuerte afinidad biogeográfica en relación con la región media – continental y sur de Estados Unidos. Los crinoideos descritos en este estudio (centro de Sonora) son similares a los de Kansas y Texas, infiriendo

una conexión paleogeográfica muy cercana entre el sur de Estados Unidos y norte de México durante el Pensilvánico medio.

Sevilla (2012) señala que en la región noreste del estado de Sonora afloran rocas sedimentarias del Pensilvánico, compuestas principalmente por caliza, lutita, arenisca y conglomerado, conteniendo microfósiles, principalmente fusulínidos del Bashkiriano-Moscoviano, Atokano, Missouriiano y Virgiliano. También se han reportado briozoarios, corales, braquiópodos, gasterópodos, numerosas columnas de placas articulares de crinoides y algas filoides del género *Komia*, por lo que determina como una típica tanatocenosis correspondiente a un ambiente de mares tropicales someros y especies con una fuerte afinidad a faunas de la región media continental de Texas y Kansas en Estados Unidos además de la provincia Eurasiática-Artica y posiblemente se incluye Perú.

Buitrón *et al.* (2012), elaboran una investigación sobre una secuencia carbonatada de los cerros El Tule en la región noreste del estado de Sonora, que abarca desde el Misisípico Inferior hasta la base del Pérmico. Conforme a resultados en la litoestratigrafía y bioestratigrafía con foraminíferos y algas calcáreas, determinan la abundancia de macrofósiles en la parte de la secuencia perteneciente al Misisípico y Pensilvánico, posteriormente reduciéndose en el Pérmico. Conforme a la relación genética y climática especulan que el paleoclima fue similar al resto del Cratón de Norteamérica y que una tectónica sinsedimentaria local pudo haber dominado en los cerros El Tule.

Buitrón *et al.* (2015), mencionan una variada biota marina perteneciente al Pensilvánico Medio (Atokano) de la Sierra Agua Verde conformada por algas filoides, numerosos invertebrados, briozoarios, corales tabulados y numerosos géneros de crinoideos encontrados dentro de la formación La Joya (informal) en calizas intercaladas con lodolitas calcáreas y lentes de arenisca con características típicas del bentos de mares tropicales someros. Conforme al análisis de distribución paleogeográfica, estas pertenecen al Carbonífero de Texas y Kansas de Estados Unidos dentro de la provincia del Cratón de Norteamérica.

4.2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del presente trabajo se llevaron a cabo diferentes etapas, las cuales se describen a continuación:

1. Acervo bibliográfico

Esta etapa consistió en la recopilación de información bibliográfica relacionada con el Pensilvánico en México y en el estado de Sonora, particularmente con las áreas cercanas a Sierra Agua Verde. Tal información fue resumida y se elaboraron fichas bibliográficas para identificar las principales áreas de interés y conocer el estado actual del conocimiento referente al área de estudio.

2. Visitas al área de estudio

Se realizaron visitas al área de estudio, Sierra Agua Verde, con dos objetivos principales: a) conocer la logística de acceso al área, mejores afloramientos y secuencias más completas. b) corroborar la estratigrafía propuesta por autores anteriores y realizar un muestreo sistemático. c) Recolectar fósiles para su análisis.

3. Análisis paleontológico

El material paleontológico recolectado fue procesado utilizando el tratado de Moore (1959). Este material fue lavado con agua y jabón, utilizando un cepillo de cerdas suaves, posteriormente el material extra fue removido con ayuda de agujas. Después fue fotografiado con ayuda de un microscopio Leica. La biota fósil fue identificada por la Dra. Blanca Estela Buitrón (UNAM) y el M.C. Francisco Javier Cuen Romero (UNISON).

4. Integración de datos

Se realizó la integración, análisis y procesamiento de los datos obtenidos anteriormente, de esta manera se pueden obtener interpretaciones, conclusiones y resultados. Los

4.3. CLIMA

Según la clasificación de Köppen (1936) el clima del área de estudio corresponde a Seco, semiárido cálido: BSh.

Este tipo de clima se caracteriza porque las precipitaciones anuales son inferiores a la cantidad de evaporación. Las precipitaciones están entre un 50 y 100% de la temperatura media anual multiplicada por 24. La temperatura media anual está por encima de los 18 °C.

La temperatura media máxima mensual es de 26.1 °C en los meses de junio a septiembre y una media mensual de 14.4 °C en diciembre. La época de lluvias más frecuente es en los veranos, principalmente en el mes de julio y agosto, con heladas en los meses de febrero y marzo en las partes más altas de la Sierra Madre Occidental.

4.4. EDAFOLOGÍA

Según SEMARNAT (2013) en el área de estudio se encuentran principalmente cuatro tipos de suelo: Cambisol, luvisol, rigosol y xerosol.

El cambisol presenta una fase lítica hacia la parte norte del municipio y una fase pedregosa al sur, con moderada susceptibilidad a la erosión. Luvisol se encuentra principalmente en la parte central de municipio con una fase física pedregosa, siendo utilizado con fines agrícolas con rendimientos moderados y altos, siendo rojos o claros, moderadamente ácidos, con alta susceptibilidad a la erosión. El rigosol se localiza al centro del municipio en una fase física lítica gravosa, con fertilidad variable en uso agrícola condicionado a su profundidad, con una susceptibilidad a la erosión muy variable dependiendo de la pendiente del terreno. Finalmente el xerosol se localiza al oeste del municipio con una fase física gravosa, contiene una capa superficial de color claro y muy pobre en humus, restringida en su uso agrícola por zonas de riego con altos rendimientos por su fertilidad, con una susceptibilidad a la erosión baja.

4.5. VEGETACIÓN

Considerando la información obtenida de acuerdo a SEMARNAT (2013) en el área de estudio se identifican dos tipos de vegetación principales:

Selva baja caducifolia: Se caracteriza por árboles bajos de hojas anchas, deciduas en época seca del año, con bejucos y enredaderas. Se encuentra en cañones, lomeríos medianos a altos y faldeos de la sierra con suelos variables en cuanto a textura y rocosidad.

Bosque de *Quercus*: Vegetación de árboles bajos de hojas duras deciduas, con o sin estratos de especies arbustivas y herbáceas inferiores. Situados en lomeríos altos, cerros y faldeos de sierra con suelo de textura variable, pedregosos o rocosos.

4.6. FISIOGRAFÍA

Según INEGI (2011) en el estado de Sonora se encuentran cuatro provincias fisiográficas, las cuales corresponden a Llanura Sonorense, Llanura Costera del Pacífico, Sierras y Llanuras del Norte y Sierra Madre Occidental; el área de estudio se encuentra localizada en ésta última en la subprovincia Sierras y Valles del Norte.

La subprovincia de Sierras y Valles del Norte cubre un área aproximada de 34, 809,45 m² con un perímetro aproximado de 14, 429.337 m y comprende los municipios de Cucurpe, Arizpe, Cumpas, Huasabas, Villa Hidalgo, Rayón, Divisaderos, San Pedro de la Cueva, entre otros. Esta región se caracteriza principalmente por sierras separadas por amplios valles paralelos con orientación norte-sur.

4.7. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza aproximadamente a 105 km al este de Hermosillo, Sonora, en las coordenadas geográficas $27^{\circ} 18' N$ y $109^{\circ} 53' W$ (Figura 1). El área de interés aflora en la carta H12–D44, escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2001). El acceso principal es por la carretera estatal 104 (Hermosillo–Mazatán) y 171 (Mazatán–San Pedro de la Cueva). (Figura 1).

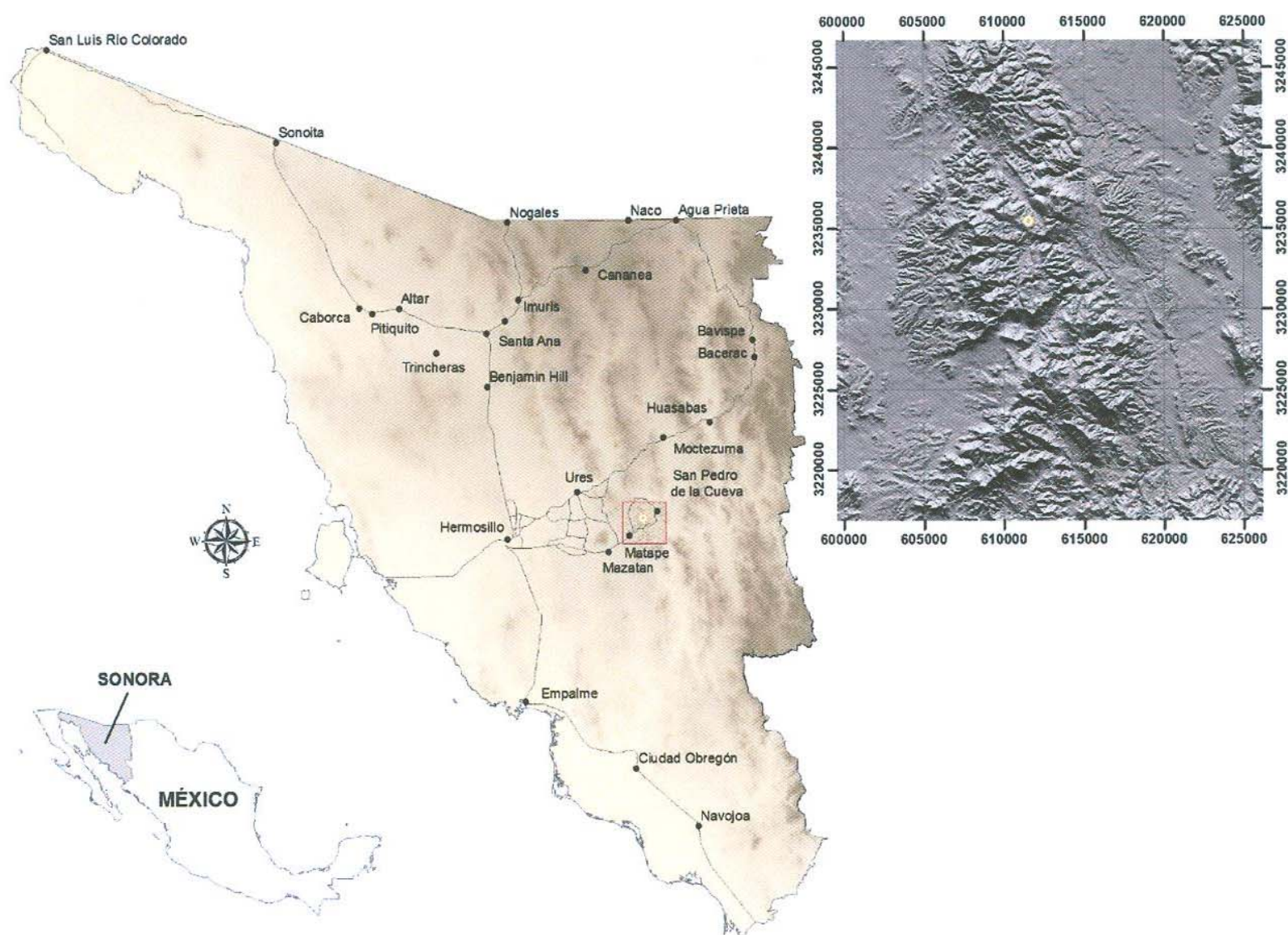


Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio.

5. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Según la información obtenida de la carta Geológica Minera H12-D44 (SGM, 2008), (Figura 2), la geología regional del área de estudio está representada por unidades litológicas que varían desde el Paleozoico inferior hasta el Holoceno. Estas variaciones litológicas están conformadas por rocas ígneas intrusivas y extrusivas, sedimentarias marinas y continentales. Las unidades más antiguas comprenden rocas marinas carbonatadas del Paleozoico, las cuales se depositaron en un ambiente de plataforma somera, siendo representadas por una unidad del Cámbrico inferior de metarenisca y cuarcita de estratificación mediana a gruesa, aflorando principalmente en la parte noroeste del poblado de Villa Pesqueira (Matape). El siguiente paquete lo constituyen rocas del Ordovícico que afloran en la parte central, poniente y en la parte sur, en el área de la presa La Hacienda, en las minas La Venada y Wilson, así como en el sector suroeste se encuentra un pequeño afloramiento, como techo colgante sobre el intrusivo Laramide.

La lutita–arenisca aflora en el centro sur, en la parte baja de la sierra El Máviro con una estratificación delgada con rumbo N 20 E con inclinación de 40 al NW, en contacto por falla normal con un unidad de andesita-toba andesítica del Cretácico Superior-Terciario Paleoceno. El Jurásico Superior-Cretácico Inferior está representado por un conglomerado con intercalaciones de areniscas. El Cretácico Superior está conformado por una unidad de rocas volcánicas de composición intermedia (andesita, toba andesítica, aglomerado y dacita entre otras), depositadas discordantemente sobre unidades más antiguas y afectadas por los intrusivos laramídicos.

Las intrusiones batolíticas laramídicas del Terciario Paleoceno, de composición granítica-granodiorítica, expuestas en las inmediaciones del poblado de Matape, se encuentran afectando las rocas paleozoicas, jurásicas y cretácicas.

Al sur del cerro Lista Blanca se encuentra un cuerpo de composición diorítica – granodiorítica del Eoceno–Oligoceno afectando las rocas de la Formación Tarahumara.

Una unidad de riolita-toba riolítica perteneciente al Oligoceno se encuentra aflorando en las localidades del cordón de Los Caballos y el cerro Lista Blanca en forma de un domo riolítico.

El Mioceno está representado por la unidad vulcanosedimentaria de la formación Baucarit de composición polimíctico con intercalaciones de capas de areniscas y basalto. Los afloramientos más extensos en los poblados San José de Batuc y Tepupa, al norte en el poblado de Villa Pesqueira, rellenando cuencas continentales tipo fosa, originados por la tectónica distensiva de Cuencas y Sierras. El Terciario Mioceno representado por rocas de composición félsica a máfica de riolita, toba riolítica, andesita y basalto, afloran específicamente en el cerro Agujerado, mesa Los Caballos, mesa El Palmar y La Tinaja. Conglomerado y arena no consolidado del Pleistoceno se encuentra en las partes bajas, rellenando valles orientados ligeramente al NW-SE y en algunos lugares N-S. Como última parte del Holoceno se tiene una unidad de aluvión del Cuaternario, localizado en los meandros y cauces de los arroyos en discordancia con las unidades anteriores.

Estructuralmente resaltan lineamientos con orientaciones NW-SE, N-S y en menor proporción NE-SW, con fallas normales en buzamientos al NE y SW, produciendo sierras y valles paralelas en orientación de fallas regionales relacionadas a la tectónica extensional del Terciario. En la porción oriental cabalgamientos de unidades paleozoicas sobre unidades del Jurásico y Cretácico.

Como regímenes de deformación en la región se reconocen una dúctil, dúctil-frágil y frágil. La deformación dúctil sobre la secuencia de metaarenisca-cuarcita del Paleozoico en forma de foliación con una orientación NW-SE. La deformación dúctil-frágil sobre la unidad de conglomerado del Jurásico Superior-Cretácico Inferior cabalgada sobre la unidad de caliza-arenisca del Ordovícico

produciendo plegamientos isoclinales y en la parte centro-oriente de la carta una unidad de andesita del Cretácico Superior-Terciario Paleoceno cabalgada por la caliza-arenisca del Ordovícico.

La deformación frágil se manifiesta por fallas normales, de mediano a alto ángulo y fallas de corrimiento lateral, mediante fosas y pilares, lineamientos, curvilineamientos y fracturamiento donde las fallas normales con más relevancia ponen en contacto la unidad Paleozoica, con la unidad andesítica del Cretácico Superior-Paleoceno.

Los eventos tectónicos que han afectado el área se representa primeramente por una deformación a finales del Paleozoico, donde según Poole y Amaya (2014), depósitos alóctonos fueron depositados en facies de cuenca, cabalgando sobre un autóctono constituido por secuencias depositadas en facies de plataforma, ésta se manifiesta en un intenso plegamiento sobre los depósitos de cuenca. Posteriormente la Orogenia Larámide a finales del Cretácico Tardío y principios del Terciario provoca que las rocas del Paleozoico cabalguen a rocas sedimentarias del Jurásico Superior y a rocas volcánicas del Cretácico Superior-Terciario (Paleoceno), provocando el emplazamiento de cuerpos intrusivos de dimensiones batolíticas. En el Oligoceno un arco magmático produjo un vulcanismo félsico-intermedio en forma de domos y derrames fisurales riolíticos. A partir del Mioceno un evento distensivo contribuye a la formación de la provincia de Sierras y Valles paralelos con un sistema de fallas normales muy característico en la región del Noroeste de México, en la que tenemos clara delimitación entre las fosas de San José de Batuc, Rebeico, Los Alisos y, por la parte poniente, la fosa Mátape.

Se consideran cinco zonas importantes con características mineralizadas dentro de las cuales destacan: La Coloradita identificada como un yacimiento de Skarn y vetas, El Horno del tipo Epitermal y vetiforme, Guatamo, El Pescado con yacimientos de tipo vetas, de relleno de fisuras, reemplazamiento y metasomatismo de contacto, La Coruga del tipo Skarn, vetas del tipo de relleno de fisuras y oro de placer y la Leona.

KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL PENSIUVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO)
DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO.

Algunos aspectos geoquímicos sobre sedimentos de arroyo resaltan valores anómalos de cobre, donde los resultados no tienen una relación con minas y prospectos, por lo que hace un alto interés para la exploración minera.

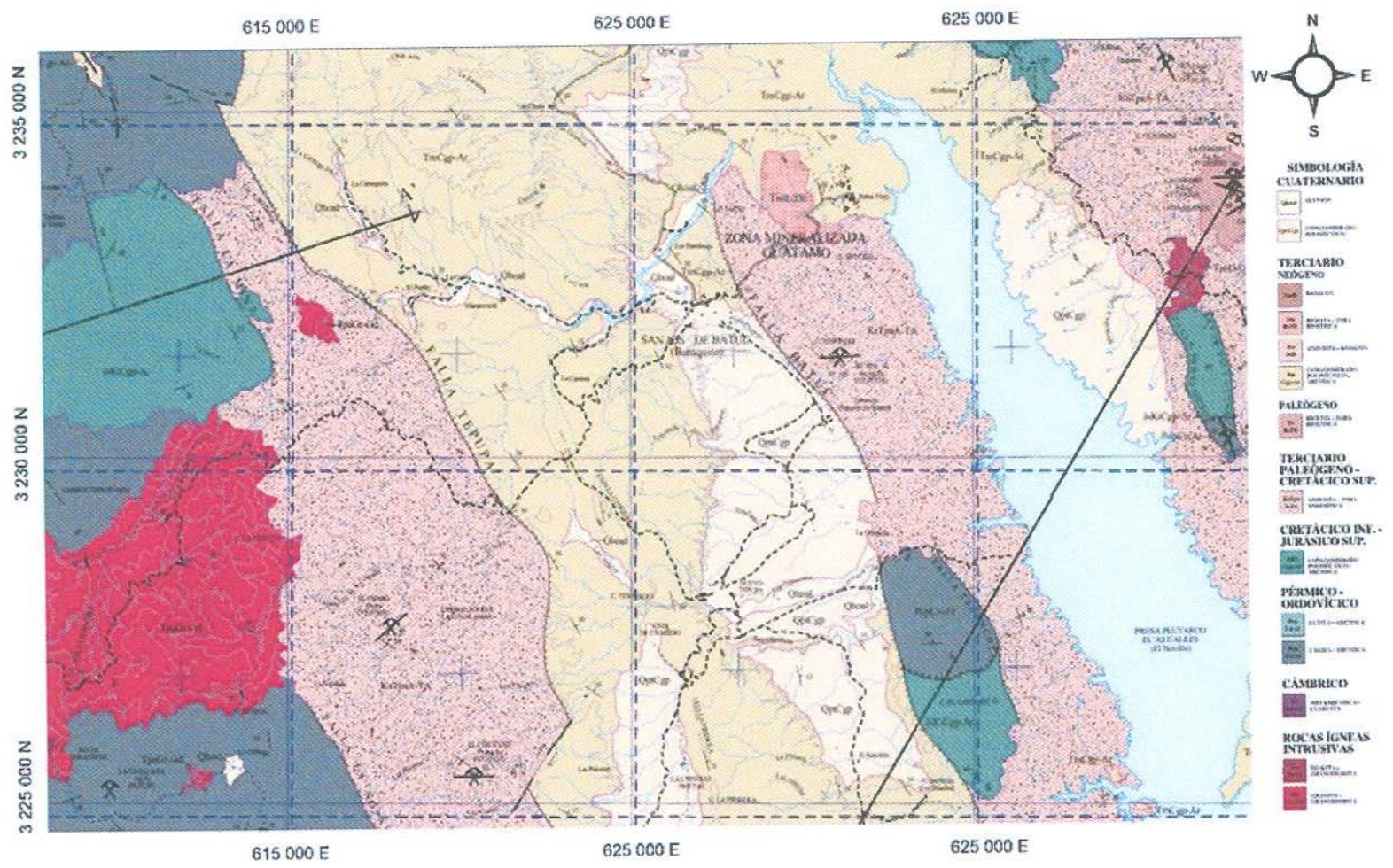


Figura 2.- Carta Geológica - Minera, San José de Batuc, H12-D44 (1 50000).
Tomado de SGM (2008).

6. ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio afloran rocas con edades del Cámbrico al Reciente las cuales fueron inicialmente estudiadas en el área por Ochoa & Sosa (1993). El Paleozoico está representado por los grupos San José del Cámbrico (informal) y Agua Verde del Ordovícico–Pérmico (informal). El Mesozoico por las formaciones La Mina, Tarahumara y Granito Matape (informal). El Cenozoico por el Granito del Puerto (informal), Unidad Wilson (informal), rocas volcánicas del terciario y la Formación Baucarit. Finalmente aluvión y conglomerados rellenando ríos y valles. (Figura 3 y 4).

6.1. PALEOZOICO

Cirett & Aguilar (1989) definieron informalmente el grupo San José para un conjunto de afloramientos situados a 3 km al sureste del poblado de San José de Gracia, Sonora, incluyendo dentro de este las formaciones Proveedora, Buelna y Cerro Prieto. Posteriormente Ochoa & Sosa (1993) informalmente amplían este grupo agregándole las formaciones Puerto Blanco y Arrojos. El grupo Agua Verde fue informalmente definido por Ochoa & Sosa (*op. cit.*) para incluir las formaciones informales El Boquinete, El Pollo, Santiago, La Joya y Tuntunudé, las cuales comprenden un rango de edades del Ordovícico al Pérmico.

6.1.1. FORMACIÓN PUERTO BLANCO

Definición e historia nomenclatural de la unidad: La Formación Puerto Blanco fue propuesta por Cooper *et al.* (1952) en los cerros La Proveedora, área de Caborca, para incluir un conjunto de rocas constituidas por lutita, arenisca y calcarenitas con abundantes fósiles del Cámbrico inferior.

Litología y espesor: Esta unidad es incluida dentro del grupo San José (Ochoa & Sosa, 1993) consistiendo principalmente de conglomerado, arenisca y lutita calcáreas y limolita de color rojo; posee un espesor aproximado de 140 m.

Distribución: La Formación Puerto Blanco aflora en el arroyo La Rastrita en el área de San José de Gracia.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior se encuentra cubierto, mientras que el contacto superior está cubierto por la Formación Baucarit.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Debido a su posición estratigráfica esta unidad es asignada al Cámbrico inferior (Cooper *et al.*, 1952, 1956; Ochoa & Sosa, 1993). En la localidad tipo de la unidad se han reportado abundantes fósiles de trilobites, braquiópodos, agmatos y moluscos en poca variedad. Según los estudios estratigráficos de Hollingsworth (2011) contiene las biozonas de *Fallotaspis*, *Esmeraldina rowei* y *Avefallotaspis maria*, confiriéndole una edad del Waucobiano o Montezumano conforme a la cronología de Laurentia (Cuen, 2013).

Ambiente de depósito: Para esta unidad se infiere un ambiente de depósito lagunar, bien oxigenado, semejante a un ambiente de plataforma marina abierto de Wilson (1975). Lo anterior debido a la presencia de coquinas, capas oolíticas, estratificación cruzada de arenisca, lutita en estratos gruesos de calcarenitas bioturbadas, indicando un ambiente de depósito muy somero, además de parches arrecifales de aguas limpias atribuidos por la presencia de arqueociátidos. (Rivera-Carranco, 1988).

6.1.2. FORMACIÓN PROVEEDORA

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue definida en los cerros La Proveedora del área de Caborca por Cooper *et al.* (1952), como un paquete de cuarcita de color blanco con manchas de óxidos, intercalada con lutita de color gris–oscuro a verde. Stewart *et al.* (1982), elabora los primeros estudios de rocas correspondientes al Cámbrico en la sierra Agua Verde, asignando un paquete de cuarcitas de grano fino y grueso a la Formación Proveedora. Posteriormente Ochoa & Sosa (1993), incluyen informalmente estas rocas dentro del grupo San José.

Litología y espesor: Está constituida por cuarcita de grano fino a grueso con pequeños conglomerados en la parte superior, así como la presencia de alta bioturbación (Stewart *et al.*, 1982). Esta unidad posee un espesor de 120 m.

Distribución: Los afloramientos de la Formación Proveedora se encuentran principalmente en la parte inferior de la sierra Agua Verde, Mazatán, Sonora.

Relaciones estratigráficas: Contacto inferior concordante con la Formación Puerto Blanco y en la parte superior con la Formación Buelna.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: La Formación Proveedora proporcionó pocos fósiles, sin embargo se caracteriza por poseer una abundante bioturbación, distinguiéndose la presencia de *Skolithos* isp. Stewart *et al.*, (1999) reportan la presencia de *Olenellus gilberti* en limolitas que afloran en la parte superior de la unidad. Debido a que *Olenellus gilberti* es incluido dentro de la Zona de *Bristolia bristolensis* es posible realizar una correlación Bioestratigráfica con las rocas de sierra Agua Verde y San José de Gracia (? Formación Buelna) (Cuen, 2013).

Ambiente de depósito: La Formación Proveedora es considerada de un ambiente marino somero, de alta energía, probablemente de la icnofacies de *Skolithos* (Cuen, 2013; Yanez, 2015).

6.1.3. FORMACIÓN ARROJOS

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue definida por Cooper *et al.* (1952), en el área de Caborca, sin embargo esta ya había sido mencionada con anterioridad por Stoyanow (1942). Está constituida por lutita intercalada con caliza y arenisca en la parte superior.

Litología y espesor: En el área de San José de Gracia esta unidad está constituida por caliza arenosa e intercalaciones de lutita calcárea y pedernal negro (Ochoa & Sosa, 1993). Con un espesor aproximado de 200 m. En el área de estudio aflora principalmente en la porción oeste del cerro Las Palmillas con un espesor aproximado de 215 m (Ochoa & Sosa, 1993).

Distribución: Aflora principalmente en la porción oeste del Cerro La Palmillas en el área de San José de Gracia.

Relaciones estratigráficas: Se encuentra en contacto inferior con la Formación Buelna y en la parte superior en contacto por falla con la formación El Boquinete (informal).

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Está unidad contiene abundantes fósiles del Cámbrico medio, destacando la presencia de trilobites, braquiópodos, moluscos, entre otros. En el área de San José de Gracia se han reconocido las especies *Peronopsis* sp. cf. *P. bonnerensis* y *Elrathina antiqua* las cuales son indicadores de la Zona de *Mexicella mexicana*, Cámbrico medio (Cuen, 2013).

Ambiente de depósito: Ambiente marino somero de plataforma similar a las Formaciones Puerto Blanco y Buelna diferenciado con mayores contenidos de material terrígeno (Cuen, 2013).

6.2. FORMACIÓN EL BOQUINETE (INFORMAL)

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue definida informalmente por Ochoa & Sosa (1993) como un paquete de lutita calcárea, caliza arenosa, caliza con pedernal y ortocuarcitas.

Litología y espesor: La parte basal de la unidad está compuesta por 160 m de lutita calcárea, caliza arenosa en capas gruesas y medianas, areniscas, calizas de estratos gruesos a masivos con bioclóstos y nódulos de pedernal blanco y negro. Continúa una caliza arenosa dolomitizada y silicificada de aproximadamente 220 m la cual pasa a caliza masiva en la parte superior. La parte media y superior de esta unidad está constituida por bancos masivos de caliza con nódulos y lentes de pedernal (Ochoa & Sosa, 1993). La unidad posee en total un espesor de 540 m.

Distribución: Está unidad aflora principalmente en el cerro la Tinaja.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior está cubierto por una falla de tipo inverso y el contacto superior es concordante con la formación El Pollo.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: La parte inferior de la unidad proporcionó fragmentos de braquiópodos rhynchonelliformes, crinoideos, corales solitarios y gasterópodos. La caliza arenosa dolomitizada y silicificada proporcionó una abundante biota compuesta por crinoideos, braquiópodos (*Liricamera* sp. y *Dipareplasma* sp.), pelecípodos y restos algáceos. Finalmente la parte media y superior proporcionaron los fósiles *Paleoalvolites* sp., *Paleophyllum* sp. y *Streptelasma* sp., indicando una edad del Ordovícico.

Ambiente de depósito: Se considera un depósito de ambiente marino, parecido al arrecifal debido a la presencia de bancos calcáreos constituidos por algas y crinoideos. Se observa al inicio de la depositación aporte terrígeno del exterior (Ochoa & Sosa, 1993).

6.3. FORMACIÓN EL POLLO (INFORMAL)

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue propuesta informalmente por Ochoa & Sosa (1993) para incluir un conjunto de calizas, calizas dolomitizadas, dolomías, calizas arenosas en capas delgadas a masivas y areniscas de grano media a grueso con abundante pedernal.

Litología y espesor: En la parte basal afloran 45 m de arenisca calcárea en estratos no mayores a 10 m de espesor, mostrando horizontes masivos de coloración rojiza. En lámina delgada estas rocas muestran alto contenido de óxidos de fierro y predominio de granos de cuarzo en proporción 70 a 95% con lodo calcáreo como cementante. Posteriormente afloran 30 m de caliza arenosa de color gris a rosa intercalada con estratos de arenisca de grano fino con nódulos de pedernal. Seguido se tiene 70 m de caliza dolomitizada de color gris con lentes de pedernal y vetillas de calcita. Posteriormente afloran 10 m de caliza de color gris claro y finalmente 51 m de caliza gris con pequeños estratos arenosos y pedernal, y dolomías de color gris oscuro a la cima (Ochoa & Sosa, 1993). Esta unidad posee un espesor total de 213 m.

Distribución: Aflora principalmente en el Cerro El Pollo.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con la formación El Boquinete (informal) es concordante y el contacto superior es concordante con la formación Santiago.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Las capas de caliza arenosa cercanas a la base proporcionaron fósiles de briozoarios, corales, crinoideos y restos de conchas. En las capas de dolomía se identificaron los fósiles *Ampliospora* sp., *Alveolites* sp. y *Actinostroma* sp. La secuencia de calizas proporcionó briozoarios, crinoideos, gasterópodos. Finalmente en la parte superior se identificaron los fósiles *Favosites* sp., *Alveolites* sp., *Syringopora* sp. y *Michelina* sp. Con base en el contenido faunístico a esta unidad se le asigna una edad del Devónico.

Ambiente de depósito: Para esta unidad se infiere un ambiente de depósito marino somero arrecifal.

6.4. FORMACIÓN SANTIAGO (INFORMAL)

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue propuesta por Ochoa & Sosa (1993) para incluir una secuencia constituida por caliza, caliza arenosa y arenisca.

Litología y espesor: En la parte inferior afloran calizas dolomitizadas de color gris, intercaladas con pequeños horizontes de arenisca de 1 a 0.5 m de espesor. Las areniscas son de grano fino de color gris oscuro. Posteriormente afloran 90 m de caliza arenosa de grano fino intercaladas con arenisca y presencia ocasional de lutita calcárea. La parte superior de la unidad está compuesta por 135 m de caliza gris fosilífera con lentes de pedernal negro (Ochoa & Sosa, 1993).

Distribución: Está unidad aflora principalmente en el cerro Santiago.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior es concordante con la formación El Pollo (informal) y el superior también es concordante con la formación La Joya (informal).

Fósiles y posición cronoestratigráfica: La parte inferior de la unidad proporcionó ejemplares de *Amplexizaphrentis* sp. y *Brachytyrina* sp., mientras que en la parte superior de la unidad se recolectaron ejemplares de *Syringopora* sp. Con base en el contenido faunístico se le asigna una edad del Misisípico.

Ambiente de depósito: Se considera un ambiente marino somero de depósito de plataforma con desarrollo de bancos calcáreos.

6.5. FORMACIÓN LA JOYA (INFORMAL)

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Esta unidad fue informalmente definida por Ochoa & Sosa (1993) como una intercalación de caliza con lodolita calcárea y lentes arenosos.

Litología y espesor: La base de esta unidad está constituida por 160 m principalmente por calizas fosilíferas, calizas en estratos gruesos a medianos, arenisca, lodolitas y lentes de pedernal. Las calizas se encuentran principalmente en la parte inferior y son de color gris a rojizo con estratificación mediana a gruesa. Las calizas van graduando en cuanto a su estratificación, en la base se encuentra en forma de estratos gruesos – masivos con lentes y nódulos de pedernal. Posteriormente aflora un paquete de calizas de una coloración gris claro con intercalaciones de lodolita. Este paquete posee un espesor de 100 m. En la parte superior de la secuencia se observan 34 m de calizas en estratos medianos e intercalaciones de lodolitas calcáreas. La caliza se presenta de un gris claro a rojizo. Esta unidad posee un espesor total de 294 m (Ochoa & Sosa, 1993).

Distribución: Esta unidad aflora en el cerro La Joya

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con la formación Santiago (informal) mientras que el contacto superior con la formación Tuntunudé (informal) es por falla.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: En la base de la unidad se recolectaron los fósiles *Syringopora* sp., *Crurithyris* sp., *Glyptopora* sp. En la parte media de la

unidad se tienen ejemplares de *Syringopora* sp., *Lamprosterigma erathense*, fragmentos de briozoarios, gasterópodos y restos de conchas. Finalmente en la parte superior de la unidad se recolectaron ejemplares de *Chaetetes* sp., *Fenestrellina* sp. y *Neospirifer* sp. Con base en su contenido fósil se le asigna una edad del Pensilvánico. (Figura 9 – 13).

Ambiente de depósito: Se infiere que el depósito de esta unidad se llevó a cabo en una plataforma marina somera.

6.6. FORMACIÓN TUNTUNUDÉ (INFORMAL)

Definición e historia nomenclatural de la unidad: Está unidad fue definida informalmente por Ochoa & Sosa (1993) como una secuencia de caliza en capas medianas y caliza arenosa.

Litología y espesor: La secuencia se inicia con 105 m de calizas muy fracturadas altamente silicificadas de color gris. Seguidamente se presenta una alternancia de areniscas y calizas de grano fino con lentes de pedernal negro. Las intercalaciones se presentan en estratos medianos a delgados en las calizas con una coloración de gris. Posteriormente afloran 135 m de caliza arenosa de color gris claro en superficie fresca. Se observan granos de cuarzo y restos de fósiles de corales, conchas y crinoideos principalmente. Posteriormente afloran areniscas de grano fino, lodolitas con bajo contenido de carbonatos además de pequeños lentes de pedernal. Seguidamente se tiene calizas con intercalaciones de lutita calcárea con lentes de pedernal. Finalmente afloran 45 m de arenisca de cuarzo con pequeñas intercalaciones de limonitas. Esta unidad posee un espesor total de 547 m (Ochoa & Sosa, 1993).

Distribución: Se encuentra distribuida principalmente en el Cerro Tuntunudé.

Relaciones estratigráficas: El contacto inferior con la formación La Joya (informal) es por falla y el contacto superior es discordante con un conglomerado de fragmentos calcáreos y rocas volcánicas del terciario.

Fósiles y posición cronoestratigráfica: Esta unidad proporcionó en la parte inferior fósiles de *Schawegerina* sp., en la parte media los foraminíferos *Globivalvulina* sp. y *Tuberitina* sp., en la parte superior se recolectaron fósiles de braquiópodos, crinoideos, entre otros en mal estado de conservación. Con base en la abundancia de la fauna fósil mencionada anteriormente a esta unidad se le asigna una edad del Pérmico temprano.

Ambiente de depósito: La formación Tuntunudé contiene abundantes briozoarios, fusulínidos, crinoideos, corales y espículas de equinodermos, indicando un ambiente de depósito marino somero.

6.7. MESOZOICO

6.7.1. FORMACIÓN LA MINA (INFORMAL)

Es un conglomerado compuesto por fragmentos angulosos de caliza y cuarcita de rocas paleozoicas, con matriz arenosa. Aflora en el arroyo la Mina y posee un espesor de 200 m. Cubre de manera discordante las rocas del Paleozoico superior y es cubierta por rocas volcánicas del terciario.

6.7.2. FORMACIÓN TARAUMARA (INFORMAL)

Esta unidad fue nombrada por Wilson & Rocha (1946) para designar una secuencia de rocas efusivas del Cretácico inferior que consiste de coladas andesíticas con intercalaciones de tobas y brechas volcánicas de igual composición. Se encuentra distribuida a lo largo de la mayor parte del río Yaqui, y en el arroyo el Tarahumara. En la porción norte de la Sierra Agua Verde aflora con más de 150 m de espesor en aglomerados, tobas y andesitas. Se observa en contacto por falla de rumbo con las unidades del Paleozoico superior y es cabalgada por unidades del Paleozoico inferior, siendo afectada por el Granito Matape y cubierta en discordancia angular por la Formación Báucarit. (Ochoa & Sosa, 1993).

6.7.3. GRANITO MÁTAPE (INFORMAL)

Se incluye bajo este término a rocas plutónicas de textura granítica y composición calcoalcalina, con una edad del Cretácico Tardío (Meniccuci, 1975). Aflora en la parte NW y SW del área y se encuentra afectando a las rocas preexistentes.

6.8. CENOZOICO

6.8.1. GRANITO DEL PUERTO (INFORMAL)

Está compuesto por rocas intrusivas del terciario temprano, de composición calcoalcalina con facies aplíticas y pegmatíticas (Meniccuci, 1975). Aflora en el arroyo Cajón de Mátape y afecta a las rocas del Paleozoico y Mesozoico.

6.8.2. UNIDAD WILSON (INFORMAL)

Está compuesto por rocas metamórficas, originadas a partir de las alteraciones de las rocas carbonatadas durante la intrusión de los granitos laramídicos.

6.8.3. VOLCANISMO TERCIARIO

Dentro de las secuencias terciarias de la parte central de del estado de Sonora están conformadas por emplazamientos de ignimbritas y derrames riolíticos con edades variantes de entre 12 Ma, frecuentemente intercalados con depósitos detríticos. Pertenecientes a un episodio volcánico del Mioceno medio en un amplia extensión geográfica, determinado como un volcanismo hiperalcalino emplazado en valles tectónicos relacionados a los procesos de adelgazamiento de la litósfera, precursores de la apertura del Golfo de California. Vidal-Solano *et al.* (2007).

KASKIA (TRILOBITA – PROETIDA) DEL PENNSILVÁNICO MEDIO (MOSCOVIANO)
DE SIERRA AGUA VERDE, SONORA, MÉXICO.

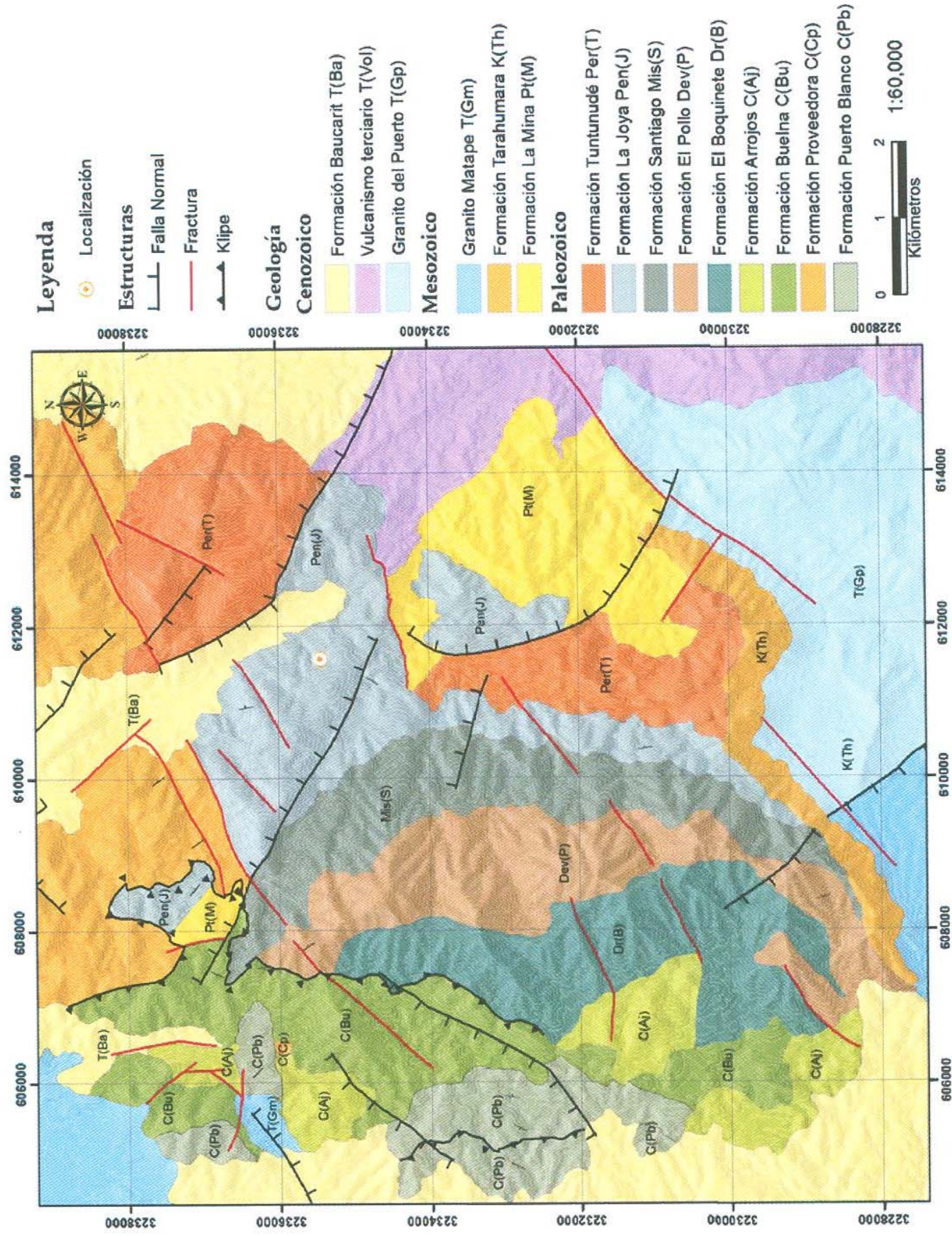


Figura 3.- Plano Geológico del área Agua Verde, modificado de Ochoa & Sosa 1993.

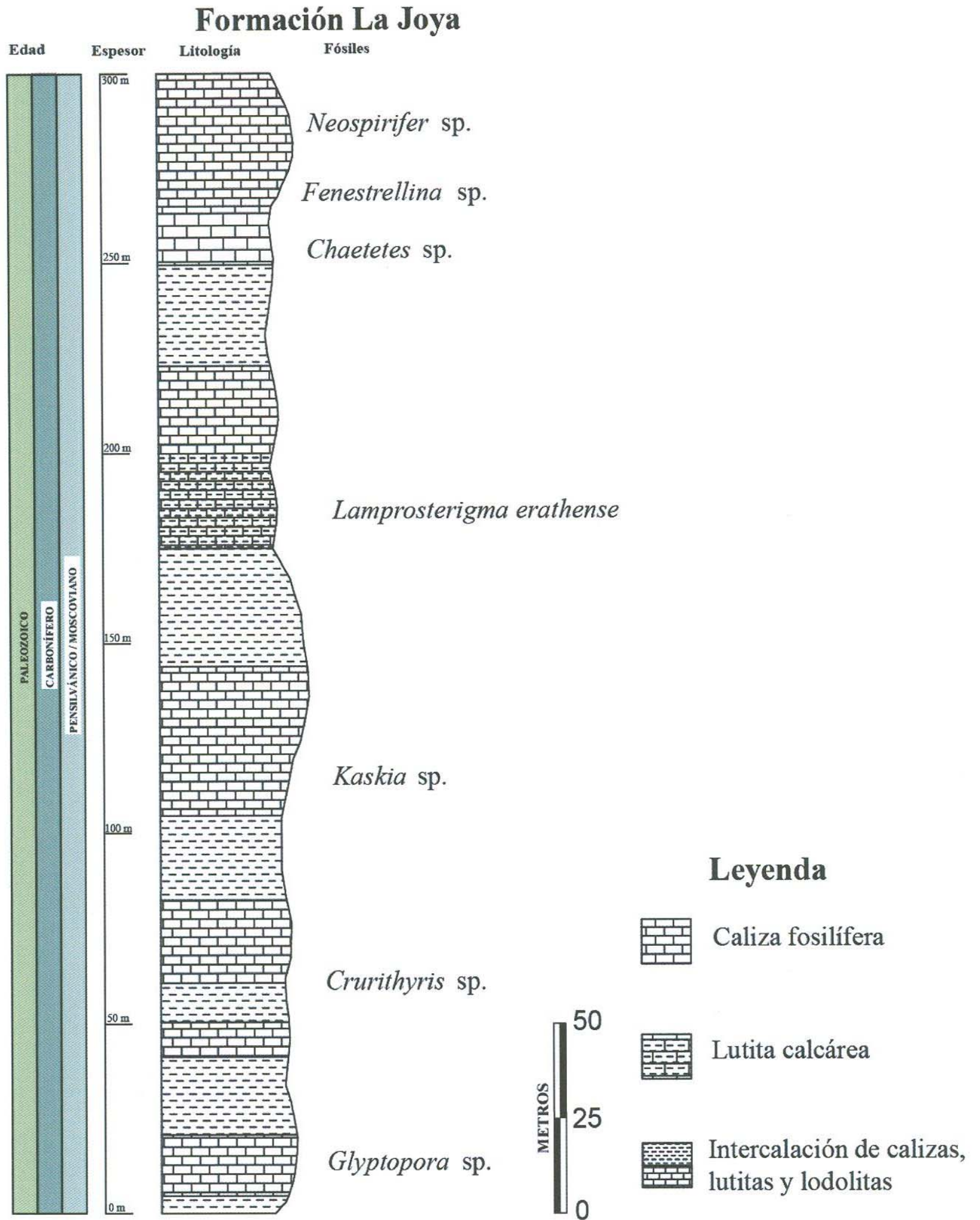


Figura 4.- Columna estratigráfica modificado de Ochoa & Sosa 1993.

7. CONSIDERACIONES PALEOGEOGRÁFICAS Y PALEOECOLÓGICAS

Durante el Carbonífero el supercontinente Pangea causó grandes cambios en la circulación oceánica, existiendo en el medio marino una gran diferenciación biogeográfica y un alto provincialismo, mientras que en el medio terrestre las plantas provocaron grandes depósitos pantanosos (Danydov *et al.*, 2012). (Figura 5).

A principios del Pensilvánico existía un borde montañoso que se extendía a lo largo del margen oriental de Norteamérica, desde Terranova hasta Alabama, prolongándose hasta el norte de México. Canadá permaneció emergido formando tierras bajas y estables; entre estos elementos, es decir, las tierras bajas de Canadá y el borde montañoso, se formó una cuenca muy extensa que pronto abarcó gran parte del interior de los Estados Unidos de Norteamérica. Los mares someros invadieron los estados de las Montañas Rocallosas y hacia el oriente llegaron a Texas y Oklahoma. (Dunbar, 1980).

Los invertebrados de los mares del Pensilvánico no solamente fueron prolíficos, sino muy variados. Los braquiópodos y los briozoarios ramificados continuaron en gran profusión. Los pelecípodos encontraron un ambiente parcialmente propicio en sustratos marinos lodosos y arenosos, los gasterópodos estuvieron representados por cientos de especies. Los corales están representados por unas cuantas especies, en su mayoría solitarios, persistentes, aunque de importancia local. Los Echinodermata están representados por abundantes fragmentos de crinoideos, placas y espinas de erizos de mar, pero son raros los esqueletos bien conservados, debido al fuerte oleaje. Los blastoideos hicieron su última aparición en los albores del periodo. Uno de los grupos fósiles más notables del Pensilvánico son los fusulínidos, una familia de foraminíferos de tamaño relativamente grande que moraba en los fondos marinos. Constituyeron conchas calcáreas con multicámaras en forma globular o fusiforme. Los foraminíferos pequeños también fueron abundantes y variados en los mares del Pensilvánico.



Figura 5.- Paleogeografía del Pensilvánico en el Colorado Plateau, mostrando la localización posible del área de estudio (tomado de <http://cpgeosystems.com/>)

8. TRILOBITES (GENERALIDADES)

Los artrópodos se caracterizan por ser organismos tripoblásticos, protostomados, de simetría bilateral y metamería heterónoma. Están provistos de un exoesqueleto quitinoso el cual se encuentra sujeto al proceso de ecdisis, así como la presencia de apéndices articulados (característica principal que le da el nombre al grupo) que son utilizados para el movimiento y la locomoción. (Clarkson, 1998; Roccatagliata & Bachmann, 2007). Los artrópodos actuales pueden ser identificados dentro de tres grupos principales: Crustacea (camarones, cangrejos y langostas), Chelicerata (arácnidos) y Unirramia (insectos y formas afines). De los grupos extintos, los trilobites son los más conocidos, debido a su abundancia y gran utilidad en estudios bioestratigráficos y paleoecológicos. En efecto, dentro de los invertebrados, los artrópodos son los organismos más exitosos y diversificados en el Paleozoico y en la actualidad, debido a que su exoesqueleto les proporciona un gran potencial de fosilización.

Los trilobites son artrópodos marinos del Paleozoico, aparecieron durante el Cámbrico temprano, su diversidad alcanzó valores elevados en el Cámbrico tardío-Ordovícico, para decrecer durante el Silúrico-Devónico, y reducirse aún más durante el Paleozoico tardío antes de extinguirse a fines del Pérmico. (Roccatagliata & Bachmann, 2007).

Se caracterizan por poseer un exoesqueleto quitinoso parcialmente mineralizado, el cual es ovalado o subelíptico, estando dividido transversalmente en tres regiones denominadas: cefalón, tórax y pigidio. Un par de surcos axiales divide longitudinalmente al exoesqueleto en un lóbulo central y dos lóbulos laterales, de donde el grupo toma su nombre: Trilobita.

El cefalón presenta un contorno variable, el cual generalmente puede ser subcircular, subtriangular o trapezoidal. El eje central en el cefalón corresponde a una región elevada denominada glabella, la cual puede ser de forma variable.

Los trilobites tienen una gran importancia estratigráfica en el Cámbrico, Ordovícico, Silúrico y Devónico, debido a que cambiaron rápidamente con el tiempo y se encuentran muchas formas índices. Después del Devónico sólo existió una familia. Eran animales marinos nadadores o reptadores del fondo marino (Buitrón, 1989).

9. PALEONTOLOGÍA SISTEMÁTICA

El material estudiado se encuentra depositado en la Colección Paleontológica Nacional de la Universidad de Sonora.

Phylum Arthropoda Latreille, 1829

Clase Trilobita Walch, 1771

Orden Proetida Fortey & Owens, 1975

Familia Proetidae Salter, 1843

Género *Kaskia* Weller, 1936

Especie tipo *Kaskia chesterensis* Weller & Weller in Weller, 1936

Kaskia sp.

Fig: 6, 7 y 8.

Diagnosis.– Glabela casi de lados rectos, con lóbulos preoccipitales laterales grandes; ojos de tamaño medio, centrales. Parecida a *Griffithides* pero el pigidio tiene un límite bien definido y un eje más prominente que se agudiza menos pronunciado.

Ocurrencia.– Escasa. Formación La Joya (Informal), Pensilvánico Medio (Atokano).

Comentarios.– Según Brezinski (2008) las faunas de trilobites de Norteamérica del Misisípico Tardío – Pensilvánico Temprano están dominadas por los clados de *Paladin* y *Kaskia*. El género *Kaskia* está integrado por ocho especies (*K. chesterensis*, *K. osagensis*, *K. longispina*, *K. wilsoni*, *K. genevievensis*, *K. rosei*, *K. gersani* y *K. rollinsi*), las cuales se encuentran restringidas a plataformas someras cercanas a la línea de costa, considerando que las diferentes especies de *Kaskia* parecieran estar relacionadas con ambientes somero de alto estrés ambiental, de tal manera que su distribución paleobiogeográfica se encuentra controlada por factores paleoambientales.

En Norteamérica la distribución de especies de *Kaskia* se localiza principalmente hacia la costa este, se conoce *Kaskia osagensis* de la Caliza Osagean Keokuk de Indiana, *Kaskia chesterensis* la cual presenta una distribución generalizada en la parte central de Estados Unidos; *Kaskia longispina* ha sido reportada en la Caliza Point Au Gres (Michigan) y *Kaskia rosei* se conoce de Indiana, Illionis y Kentucky. *Kaskia wilsoni* en el área de Pensilvania (Formación Mauchchunk), así como en la Formación Greenbrier y Maryland de Virginia. *Kaskia genevievensis* de Iowa, entre otras. (Brezinski, 2008). También ha sido documentada en las Montañas Karavanke (Austria), en asociación con *Pseudophillipsia (Carniphillipsia) semicircularis*, *Ps. (C.) liparoides*. (Hahn et al., 1983). Los depósitos más cercanos a México con la presencia de *Kaskia* corresponden a la Formación Diamond Peak del Pensilvánico Medio (Atokano) del área de Nevada (Brew, 1971) en asociación con corales, briozoarios, braquiópodos, pelecípodos, gasterópodos y cefalópodos.



Figura 6.- *Kaskia* sp., pigidio. Localidad: Sierra Agua Verde, Sonora, México.



Figura 7.- Cranidio de *Kaskia* sp., Sierra Agua Verde, Sonora, México.



Figura 8.- Cranidio de *Kaskia*. Imagen anterior aumentada.



Figura 9.- Pigidio de trilobite mal conservado. Sierra Agua Verde, Sonora, México.

LÁMINA III

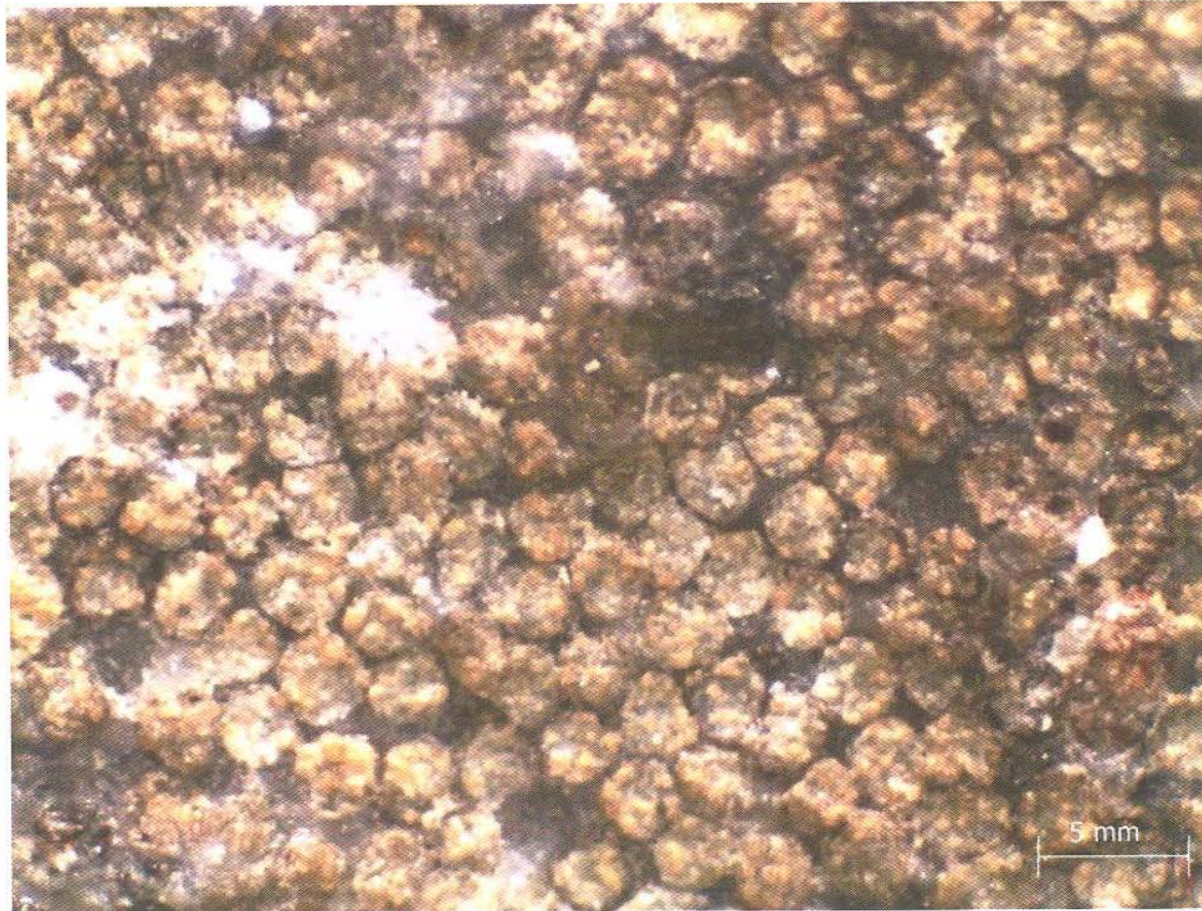


Figura 10.- Detalle de una colonia de briozoarios ramosos. Sierra Agua Verde.



Figura 11.- Briozoario ramoso. Sierra Agua Verde.



Figura 12.- Detalle de un braquiópodo (Orthida). Sierra Agua Verde.



Figura 13.- Placas columnares de crinoideos mal conservadas. Sierra Agua Verde.

10. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El presente trabajo constituye el primer registro del género *Kaskia* en México. También se documenta por primera ocasión la presencia de trilobites del Pensilvánico Medio (Moscoviano) en Sonora en la formación La Joya (informal), constituyendo el segundo registro para México.

La distribución paleobiogeográfica generaliza del género *Kaskia* corresponde principalmente a la costa este (Indiana, Pensilvania, Illionis, Virginia) y Nevada, EUA. La presencia de *Kaskia* en rocas del estado de Sonora contribuye a extender su distribución al noroeste de México.

Se confirma la presencia de una abundante biota fósil en la formación la Joya, constituida por algas, foraminíferos, esponjas, briozoarios, braquiópodos, moluscos, artrópodos y equinodermos. El ambiente de depósito se interpreta como marino somero, con desarrollo de bancos calcáreos con aporte de terrígenos, lo cual es congruente con condiciones de estrés ambiental, tal y como ha sido documentado principalmente para el género *Kaskia*.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Almazán-Vázquez, E., 1989. *El Cámbrico – Ordovícico de Arivechi, en la región centrooriental del estado de Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista. Vol. 08, núm. 01, pp. 58 – 66.
- Almazán, V.E., 2002. El Cámbrico Temprano y Medio de San José de Gracia, Sonora Central, México. *Unión Geofísica Mexicana*, V. 22 – 2. p. 333.
- 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 paleoenvironmental signals*. In: Álvaro, J.J., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D., Vennin, E. (eds): *Paleozoic Reefs and bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls*. Geological Society, London, Special Publications 275. Pp. 189 – 200.
- Buitrón, B.E., 1989. *Paleontología general Invertebrados*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México, D.F. 360 pp.
- Buitrón, B.E., Gómez, C., Almazán, E., Vachard, D., Laguarda A., Solis, F., 2008. *A review of the crinoid columnals (Echinodermata – Crinoidea) from the Carboniferous of Mexico*. *Rev. Biol. Trop.*, vol. 56, pp. 1 – 12.
- 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, pp. 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*. In: Álvaro, J.J., Aretz, M., Boulvain, F., Munnecke, A., Vachard, D., Vennin, E. (eds): *Paleozoic Reefs*

and bioaccumulations: Climatic and Evolutionary Controls. Geological Society, London, Special Publications 275. Pp. 201 – 209.

Buitrón-Sánchez, B.E., Vachard, D., Almazán-Vázquez, E., Palafox-Reyes, J. J., (2012). *Una secuencia cratónica del Carbonífero al Pérmico inferior expuesta en los cerros El Tule, noreste de Sonora, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29, pp. 39 – 62.

Cirett, G.J., Aguilar, R.F., 1989. *Características geológicas e hidrogeoquímicas del Valle de Ures, Sonora, México*. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1952. *Cambrian Stratigraphy and Paleontology near Caborca, northwestern Sonora, México*. Smithsonian Miscellaneous Collections. Vol. 119, pp. 1 – 184.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.V., Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., Lochman, C., 1956. *Geología y Paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora. Pt. 1ª*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, pp. 259.

Cuen, R.F., 2013. *Bioestratigrafía del Cámbrico de San José de Gracia, Sonora. Consideraciones Paleogeográficas*. Tesis Profesional de Maestría en Ciencias – Geología. Universidad de Sonora. Departamento de Geología. pp. 142.

Hollingsworth, J.S., 2011. *Lithostratigraphy and Biostratigraphy of Cambrian Stage 3 in Western Nevada and Eastern California*. Museum of Northern Arizona. (Eds. Hollingsworth, J.S., Sundberg, F.A. & Foster, J.R.). Bulletin 67, pp. 321.

Latreille, P.A., 1829. *Les Crustaces, les Arachnides, les Insects*. In Cuvier, G., Le Regne Animal Distribue d'Apres son Organasion, pour Servir de Base a l'Historie Naturelle des Animaux et d'Introduction a l'Anatomie. Tom. 4.

- Lochman, C., 1948. *New Cambrian trilobite genera from northwest Sonora, México*. Journal of Paleontology. Vol. 22, núm. 4. Pp. 451 – 464.
- Moron-Ríos, A., Perrilliat, M.C., 1988. *Una nueva especie del género Griffithides Portlock (Arthropoda: Trilobita) del Paleozoico superior de Oaxaca*. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. Revista, vol. 7, núm. 1, pp. 67 – 70.
- Ochoa Granillo, J.A., Sola León, J.P., 1993. *Geología y Estratigrafía de la Sierra Agua Verde con énfasis en el Paleozoico*. Tesis Profesional de Licenciatura. Universidad de Sonora, Departamento de Geología. Pp. 59.
- Rivera-Carranco, E., 1988. *Condiciones paleoambientales de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista. Vol. 07, núm. 1, pp. 22 – 27.
- Robison, R.A., Pantoja-Alor, J., 1968. *Tremadocian Trilobites from the Nochixtlán Region, Oaxaca, México*. Journal of Paleontology, Vol. 42, No. 3. Pp. 767 – 800.
- Sevilla, E. 2012. *Foraminíferos (Fusulínidos) de Pensilvánico de Cerros el Tule, NE de Sonora, consideraciones Bioestratíficas y Paleoecológicas*: Ciudad de México, Universidad Autónoma de México, Tesis profesional de Ing. Geológica, 55 p.
- Sour-Tovar, F., Pérez-Huerta, A., Quiroz-Barrosa, S., Centeno-García, E., 2005. *Braquiópodos y trilobite del Pérmico Inferior del noroeste del Estado de Hidalgo, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol. 22. Núm. 1, pp. 24 – 35.
- Stewart, J.H., Poole, F.G., Harris, A.G., Repetski, J.E., Wardlaw, B.R., Marnet, B.L., Morales-Ramirez, J.M., 1999. *Neoproterozoic (?) to Pennsylvanian inner-shelf, miogeoclinal strata in Sierra Agua Verde, Sonora, México*. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 16 (1):35-62.
- Stoyanow, A., 1942. *Paleozoic Paleogeography of Arizona*. Bulletin Geological Society of America. Vol. 53, pp. 1255 – 1282.

- Vidal-Solano, J.R., Paz-Moreno, F.A., Demant, A., López-Martínez, M., 2007. *Ignimbritas hiperalcalinas del Mioceno medio en Sonora Central: revaluación de la estratigrafía y significado del volcanismo terciario*. Rev. Mex. Cienc. Geol. Vol. 24, núm. 1. Pp. 47 – 67.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic history*. Springer Verlag, New York. Pp. 471.