



UNIVERSIDAD DE SONORA



División de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología

**"Nuevos datos del Devónico Superior en el
Grupo Guayacán (Sonora Central)"**

TESIS

Que para obtener el Grado de:

GEOLOGO

PRESENTA:

HERIBERTO BORJAS REALIVAZQUEZ

Hermosillo, Sonora, Diciembre de 2014

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



DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este día y poder cumplir una de mis metas.

A mis padres por apoyarme en todo este tiempo y alentarme a seguir adelante, este logro también es de ustedes.

A mis hermanos por su paciencia, apoyo y por compartir conmigo este momento.

A mi novia por ser un pilar en mi vida y por su apoyo incondicional.

Maestros y compañeros.



AGRADECIMIENTOS

PROMEP-37/Rev-03 SEP-23-006 12516, CONACYT y PAPIIT In108614 por el apoyo económico para poder llevar a cabo el estudio correspondiente.

Universidad de Sonora y Departamento de Geología por facilitar las instalaciones para realizar diversos trabajos en laboratorios, cubículos y aulas.

Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología (UNAM) por facilitar el uso del Laboratorio de Química y Micropaleontología.

Universidad de Cádiz por el apoyo con el estudio brindado de análisis de Fluorescencia de Rayos X.

Un agradecimiento especial al Director de esta tesis Dr. Juan José Palafox Reyes por su orientación, apoyo y consejos durante este proceso.

Agradecimiento especial a la Dra. Pilar Navas-Parejo, por su orientación y conocimiento transmitido en el ámbito bioestratigráfico. Ella sabe la parte tan importante que realizó de esta tesis; ¡en buena hora su presencia en Hermosillo!.

A mi compañero Amilcar Casarrubias por su ayuda en la preparación de muestras.



INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCION	3
1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO	3
1.2 METODOLOGÍA	4
2. GENERALIDADES	6
2.1 ÁREA DE ESTUDIO	6
2.2 VÍAS DE ACCESO	6
2.3 TRABAJOS ANTERIORES	8
2.4 FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA	8
2.5 CLIMA	11
3. MARCO GEOLOGICO	13
3.1 GEOLOGIA REGIONAL	13
3.2 GEOLOGIA LOCAL	15
3.2.1 GRUPO GUAYACAN	18
4. RESULTADOS DEL ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X	24
4.1 GENERALIDADES	24
4.2 ESPECTOMETRO DE FLUORESCENCIA X	25
4.3 DISCUSIÓN DEL METODO	27
4.4 ANALISIS GEOQUIMICOS DE LA SECCION	28
5. BIOESTRATIGRAFIA DE CONODONTOS	32
5.1 INTRODUCCION	32
5.2 METODOLOGIA	33
5.3 RESULTADOS	39
5.4 BIOZONA CORRESPONDIENTE	41



6. CONCLUSIONES	42
------------------------	-----------

7. BIBLIOGRAFÍA	43
------------------------	-----------

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de localización y vías de acceso del área de estudio	7
Figura 2. Regiones fisiográficas, provincias y subprovincias del Estado de Sonora	10
Figura 3. Regiones climáticas del Estado de Sonora	12
Figura 4. Mapa geológico del área	17
Figura 5. Columna estratigráfica de la sección	23
Figura 6. Esquema de un tubo de rayos catódicos y de rayos x	25
Figura 7. Tabla de análisis geoquímicos	28
Figura 8. Grafica de SiO_2 - CaO	29
Figura 9. Grafica de Al_2O_3 - Fe_2O_3	30
Figura 10. Grafica de BaO - SO_3	31
Figura 11. Conodontos del Famenio (Devónico superior) de la sección del C. Guayacán	40
Figura 12. Tabla del tiempo geológico para el Devónico	41
Figura 13. Biozonas de conodontos para el Famenio	41



RESUMEN

Se presenta una descripción de una sección en el Cerro el Guayacán en el municipio de Cobachi, Sonora, México. El área de estudio está localizada al sureste del poblado de Cobachi. Las rocas descritas en el área se dividen en cuatro unidades litológicas, en edades que van desde Ordovícico Medio al Devónico Tardío, principalmente de carácter sedimentario presentando un espesor de 280 m.

La sección está caracterizada por lutitas del Ordovícico en la base seguido de capas de pedernal y areniscas con clastos volcánicos. En la parte media de la sección se presentan capas estratiformes de barita relacionadas al vulcanismo ocasionado por la orogenia Antler en el Devónico Tardío - Missisipico Temprano. A la cima de la sección se observa un afloramiento masivo de caliza fosilífera seguido de capas de argilita y pedernal.

En este trabajo de tesis se presentan estudios bioestratigráficos y geoquímicos preliminares utilizando el método de fluorescencia de rayos x. Se caracterizaron especies importantes de conodontos del Devónico Tardío.

Palabras claves: Bioestratigrafía, Cobachi, Devónico Superior, Conodontos, rhomboidea.



ABSTRACT

A description of a section in Cerro EL Guayacán is presented in the town of Cobachi, Sonora, Mexico. The study area is located southeast of Cobachi Town. The rocks described in the area divide into four lithological units, ranging in ages from Middle Ordovician to Late Devonian, mainly of sedimentary character presenting a thickness of 280 m.

The section is characterized by Ordovician shales on the base followed by flint and sandstone layers with volcanic clasts. In the middle part of the section stratiform barite layers related to the volcanism caused by the Antler Orogeny in Late Devonian. On the top of the section a massive fossiliferous limestone outcrop is observed followed by argillite and flint layers.

In this thesis, preliminary biostratigraphic and geochemical studies are presented using the x-ray fluorescence method. Important species of Late Devonian conodonts were characterized.

Key words: Biostratigraphy, Cobachi, Upper Devonian, Conodonts, rhomboidea.



1. INTRODUCCION

1.1 OBJETIVO DEL TRABAJO

El principal objetivo de este trabajo de tesis es el de contribuir al conocimiento de las secuencias del Paleozoico Tardío en el Cerro El Guayacán en el municipio de Cobachi mediante la definición de las unidades estratigráficas, y mediante el estudio geoquímico de las rocas de la Formación, por el Método de Óxidos Mayores por FRX y el análisis de bioestratigrafía de conodontos.



1.2 METODOLOGÍA

Se recopiló información de trabajos anteriores realizados en el área de La Barita de Sonora y en algunas otras áreas Paleozoica en la región, las cuales aportaron información de interés para el desarrollo de este trabajo de tesis.

El método de trabajo fue realizar una sección utilizando como herramienta de medición el bastón de Jacob. Para la elaboración de la sección se tiene que tomar un rumbo y echado de una capa bien expuesta y estratificada, y así iniciar un caminamiento medido de manera perpendicular al rumbo y una inclinación igual a la del echado obtenido. De esta manera con cada medición que se haga se estará obteniendo un espesor real de los estratos. (Suponiendo q no existen estructuras alterando la inclinación de dichos estratos).

Dicha sección fue realizada en el Cerro Guayacán, discutiendo y correlacionando los datos obtenidos del área por trabajos anteriores como el de Noll (1981), Campillo y Montes (1983) y Poole (1988), entre otros.

En dicha sección realizada se tomaron muestras de mano en cada afloramiento, las cuales resultaron 34 muestras; de las cuales se realizaron lámina delgada para una descripción y una clasificación detallada. Se analizaron en microscopio Leyca y Meiji en los laboratorios de la Universidad de Sonora.

Posteriormente se hicieron análisis geoquímicos a las muestras. Para llevar a cabo el proceso, se realizó una molienda de la muestra en el laboratorio de Rayos X de la Universidad de Sonora, para después enviar las muestras a la Universidad de Cádiz en España. Obtenidos los resultados se interpretaron utilizando como referencia el trabajo de tesis de Palafox (2011).

Se analizó una muestra del estrato masivo de caliza de la cima de la sección con el propósito de encontrar conodontos, los cuales pudiesen servir para definir con precisión la edad de las rocas. Dicha muestra se partió en esquirlas pesando 450



gramos los cuales se disolvieron mediante una disolución de ácido acético tamponada con acetato de calcio según el protocolo publicado por Jeppsson *et al.* (1999). Posteriormente se lavó en el laboratorio de química del Instituto de la UNAM, y se analizaron con estereoscopio en laboratorios de la Universidad de Sonora, para después trabajarse con los fósiles de interés en el laboratorio de microscopio electrónico de barrido (MEB) a para aumentar la imagen de los organismos a X100 y X150, los cuales nos dan una edad precisa del estrato que se ha estudiado.



2. GENERALIDADES

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada aproximadamente a 80 km al sureste de la ciudad de Hermosillo, Sonora, enmarcada por las coordenadas geográficas siguientes: 28° 49' y 28° 50' de latitud Norte y, 110° 10' y 110° 11' de longitud Oeste, y se localiza dentro de la hoja topográfica Cobáchi H12D53 INEGI a escala 1:50 000. (fig. 1)

2.2 VÍAS DE ACCESO

Existen dos vías principales de acceso:

Una de ellas es la carretera Hermosillo - Mazatán. El municipio de Mazatán se localiza aproximadamente a 80 km al este de Hermosillo. A 3 km por la salida sur de Mazatán se encuentra una desviación de terracería hacia el suroeste la cual comunica Mazatán - Cobachi el cual se encuentra a 20 km de terracería proximadamente de Mazatán.

La otra vía principal es la de Hermosillo - La Colorada. El municipio de La Colorada se encuentra aproximadamente a 23 km de Hermosillo. A 25 km al sureste del municipio de La Colorada se encuentra una desviación de terracería en la cual se recorren 23 km al norte aproximadamente hasta llegar a Cobachi, Sonora.

El área de estudio se encuentra a 10 km en línea recta hacia el sureste del poblado de Cobachi y se tiene acceso mediante un camino de terracería, el cual pasa por la mina de Barita. (fig. 1)

Nuevos Datos del Devónico Superior en el Grupo Guayacán (Sonora Central)

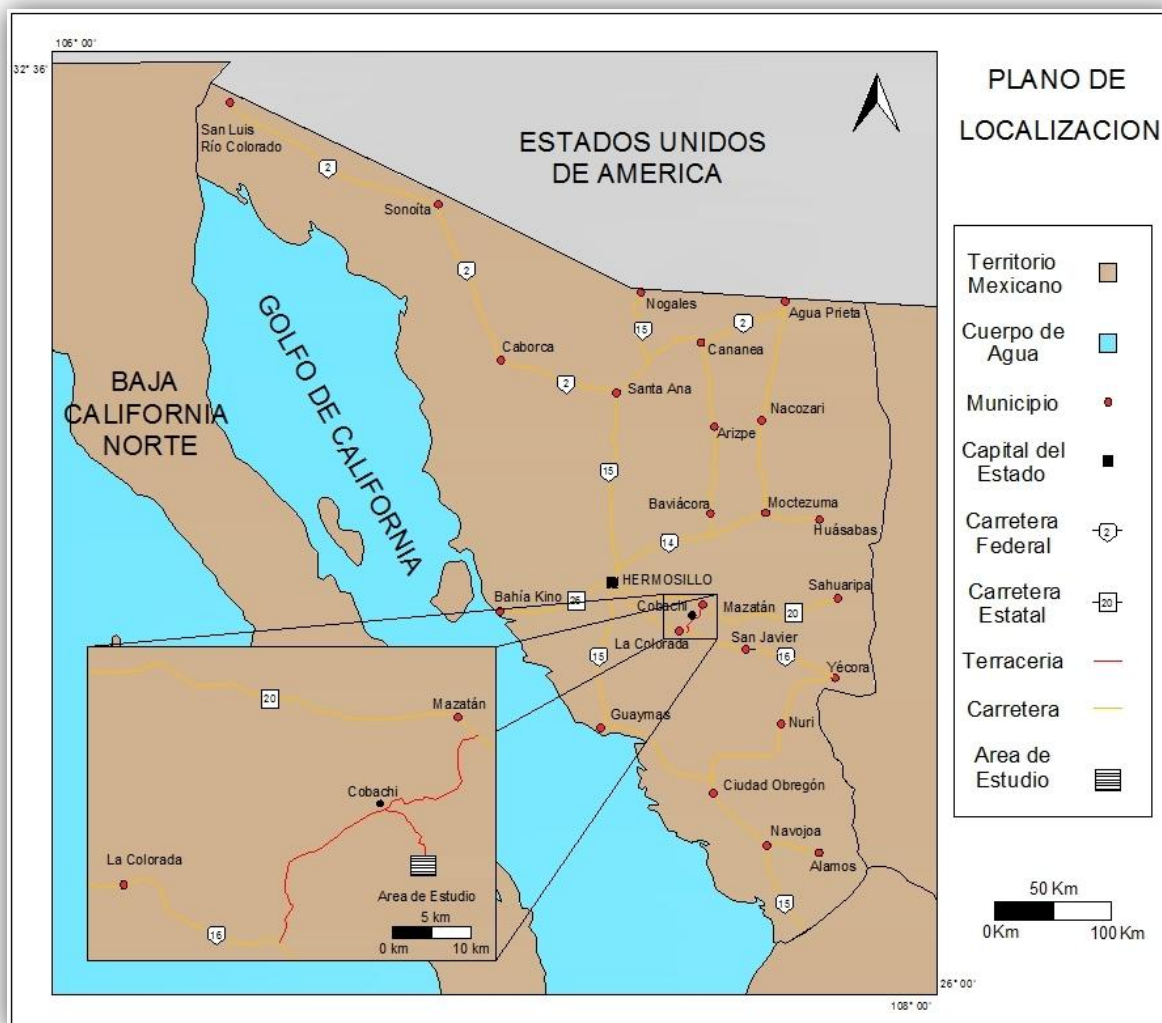


Figura 1. Plano de localización y vías de acceso del área de estudio.



2.3 TRABAJOS ANTERIORES

Los primeros trabajos geológicos relacionados con la región en que se encuentra el área de estudio fueron de Dumble (1900) y King (1939), que descubrieron las localidades paleozoicas. Peiffer-Rangin (1979) estudiaron la secuencia sedimentaria de Cobachi- Mazatan-Las Rastras-Los Chinos, de donde describieron los graptolitos más abundantes. Algunos otros trabajos que se realizaron en relación al estudio son: Menicucci (1975), Corelab (1979), Noll (1981), Pregger (1981), Montijo y Córdova (1983), Campillo y Montes (1983).

2.4 FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

a) Provincia Llanuras Sonorenses

Dentro de Sonora adopta la forma de una cuña orientada hacia el sur; 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.

b) Subprovincia 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.

Está formada de sierras bajas separadas por llanuras. Tales sierras son más elevadas (700 a 1400 m s.n.m.) y más estrechas (rara vez más de 6 km de ancho) en el oriente; y más bajas (de 700 m s.n.m. o menos) y más amplias (de 13 a 24 km) en el occidente.

En ellas predominan rocas ígneas intrusivas ácidas, aunque también son importantes, particularmente en la parte central de la subprovincia, rocas lávicas, metamórficas, calizas antiguas 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 de 80% de la subprovincia. Están cubiertas en la mayor parte o en toda su extensión de amplios abanicos aluviales (bajadas) que descienden con pendientes suaves desde las sierras colindantes. La llanura aluvial de Hermosillo (200 msnm) baja hacia la costa ensanchándose en sentido noreste-suroeste, tiene 125 km de largo y 60 km de ancho en la costa.

El río más grande de esta porción es el Sonora, que nace en Cananea, en la provincia Sierra Madre Occidental, donde fluye hacia el sur. A la altura de Hermosillo se une con el San Miguel de Horcasitas, también procedente de esa provincia, y con El Zanjón, que se origina en esta subprovincia. (fig. 2)

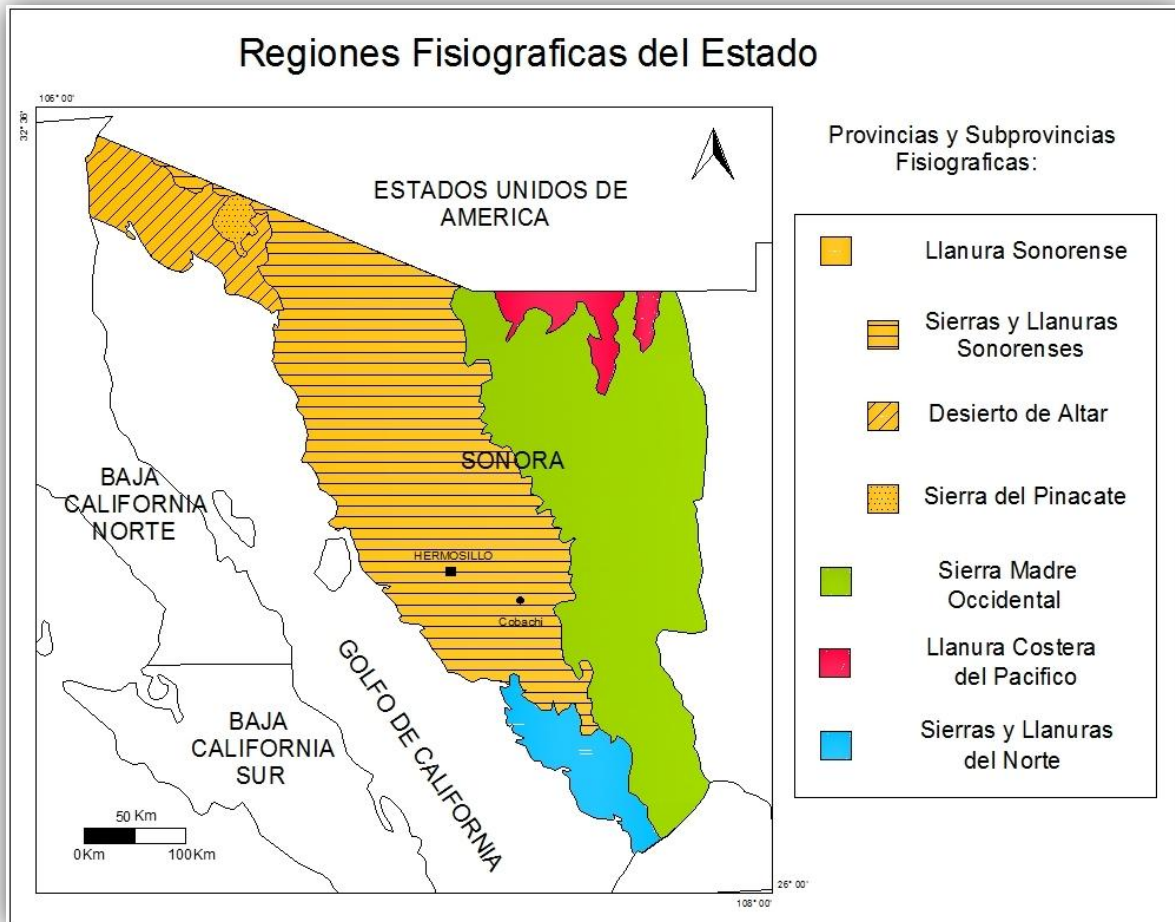


Figura 2. Regiones fisiográficas, provincias y subprovincias del Estado de Sonora. (Modificado de INEGI)



2.5 CLIMA

El 48% del estado presenta clima seco y semiseco localizado en la Sierra Madre Occidental, el 46.5% presenta clima muy seco, localizado en las Llanuras Costera del Golfo y Sonorense 4% es templado subhúmedo se encuentra hacia el este del estado y el restante 1.5% presenta clima cálido subhúmedo localizado hacia el sureste. (INEGI 2011)

La temperatura media anual es alrededor de 22°C, la temperatura máxima promedio es de 38°C y se presenta en los meses de junio y julio, la temperatura mínima promedio es de 5°C y se presenta en el mes de enero.

La precipitación media estatal es de 450 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de julio y agosto.

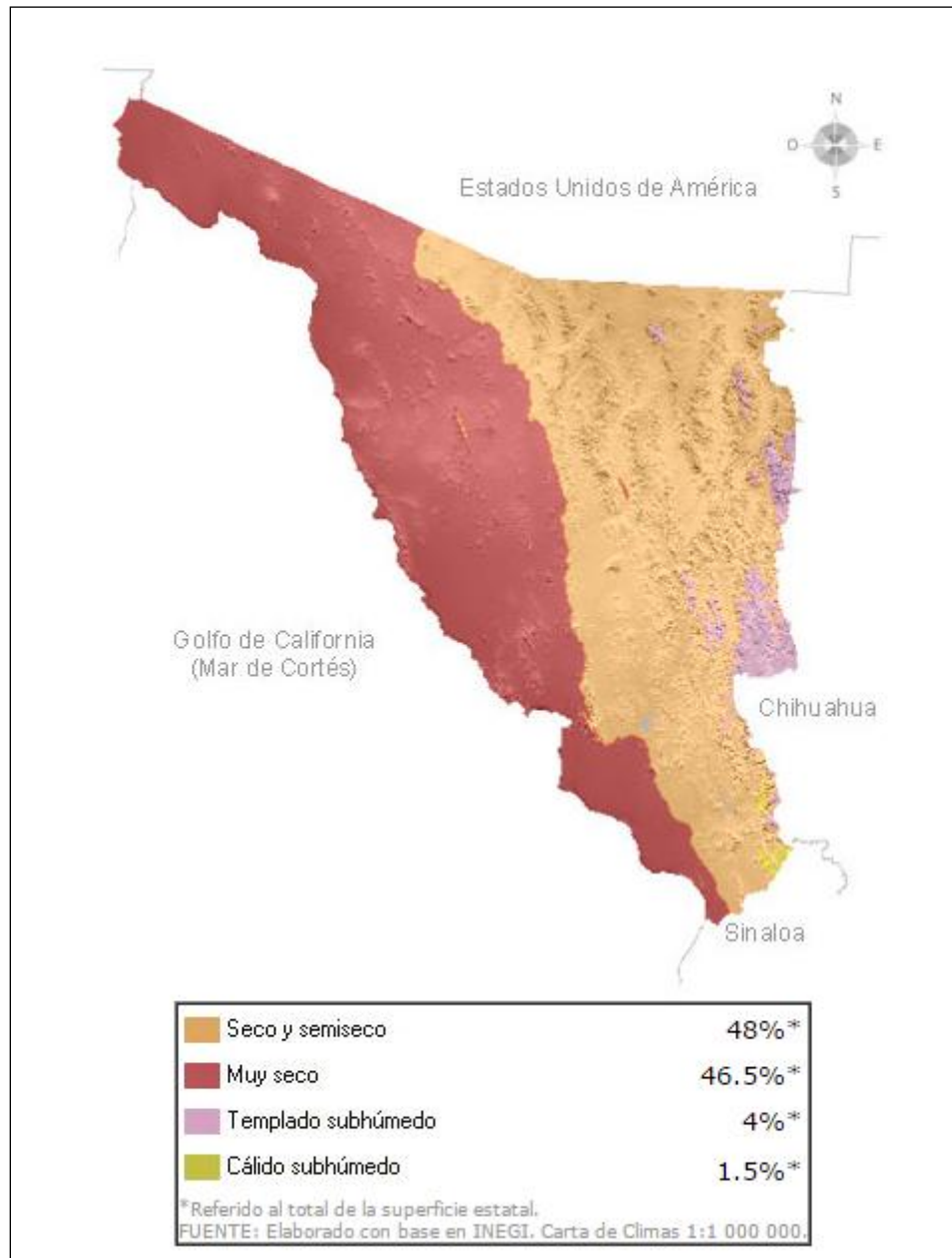


Figura 3. Regiones climáticas del Estado de Sonora. (INEGI)



3. MARCO GEOLOGICO

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

Las rocas más antiguas de la región corresponden a las secuencias sedimentarias del Paleozoico que floran al suroeste de San Pedro de la Cueva y en la Sierra de La Zacatera al sur de Bacanora. En esta sierra la litología consiste principalmente de calizas fosilíferas formadas en un medio ambiente marino somero (Hewett, 1978).

Más jóvenes que las anteriores rocas son los afloramientos de rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, las cuales están muy bien expuestas en la Sierra de Las Guijas al este de Divisaderos, Sierra Los Chinos al sureste de Lampazos, Cerro de Las Conchas en Arivechi, donde King (1939) reporta a las rocas sedimentarias de la Formación Potrero con intercalaciones de rocas volcánicas como andesita y tobas. En la Sierra de Lampazos y Cerro de Las Conchas los sedimentos del Cretácico Inferior son en su mayoría lutitas y calizas fosilíferas, con una menor proporción de areniscas. Himanga (1977) reporta sedimentos del Cretácico Inferior en la Sierra del Chiltepín, al oeste de Sahuaripa, los cuales consisten fundamentalmente de calizas dolomitizadas.

Los sedimentos del Paleozoico y Cretácico Inferior de la región se encuentran afectados por una serie de cuerpos intrusivos generalmente de composición félsica. Este gran evento magnético que se extiende del Cretácico Superior al Paleoceno es el responsable del emplazamiento de grandes plutones en todo el estado. En base a fechamientos radiométricos todos estos intrusivos tienen un rango de edad entre 80 y 50 Ma. (Anderson, 1977; Rangin, 1977; Damon y Shafiqhullah, 1982).



En la región se pueden observar intrusivos félsicos del Cretácico Superior al oeste de la presa El Novillo, en la parte norte de la Sierra de Las Guijas y en el flanco sureste de la Sierra La Madera, localizada esta última en la porción norte de la región. En la Sierra de Lampazos aflora un cuerpo intrusivo de diorita atribuido al Cretácico Superior-Paleoceno.

Hacia el SE de Lampazos, King menciona afloramientos de rocas extrusivas al parecer del Cretácico Superior, pero todavía esto no está muy claro, ya que solo se cuenta con los datos aportados por dicho autor.

Ampliamente distribuidas en toda la región se encuentran rocas extrusivas de carácter félsico, y de tipo intermedio en menor proporción. A estas rocas se les asigna una edad Terciario Temprano y constituyen parte de la Sierra Madre Occidental.

Rellenando los amplios valles de la región se encuentran los sedimentos detríticos continentales de la Formación Báucarit del Terciario Superior. Grandes afloramientos de esta formación se pueden observar en el Valle de Tacupeto y en el Valle del Río Moctezuma, así como otros afloramientos aislados en la región. (Herrera y Bartolini, 1983)

De acuerdo a King (1939), la Formación Báucarit se encuentra ampliamente extendida en toda la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos, y la describe de manera general como constituida por areniscas bien estratificadas, conglomerados y ocasionales arcillas, con algunas intercalaciones de rocas volcánicas,

En el Valle del Río Moctezuma la Formación Báucarit consiste fundamentalmente de conglomerados arenosos, con una buena estratificación.

En gran parte del Valle del Río Moctezuma y cubriendo discordantemente a la Formación Báucarit, se encuentran derrames de basaltos que constituyen una extensa meseta. Estos basaltos son atribuidos al Cuaternario, y varían de



basaltos tholeíticos a transicionales, constituyendo una extensa meseta de aproximadamente 300 km² (Paz, 1983).

3.2 GEOLOGIA LOCAL

Las rocas expuestas en la Sierra de Cobáchi son de edad Paleozoica hasta el reciente. La columna estratigráfica está basada en gran parte en el trabajo de la parte central de Sonora por King (1939). Las rocas más antiguas forman una sección de 270m aprox., en los cuales se observa un metamorfismo de bajo grado. Son sedimentarias clásticas primordialmente, y varían en edad desde el ordovícico (King, 1939) hasta el Misisipico Noll (1981) Pregger, (1980) donde ocurren los depósitos de barita de Cobáchi. Estas incluyen lutita y argilita con graptolitos, pedernal con radiolarios rico en materia orgánica, barita estratiforme intercalada, clásticos terrígenos de grano fino, y caliza gris.

J. Noll (1981) estudiando la estratigrafía de los cerros Picacho Colorado y Cobachi, sugiere que las rocas sedimentarias clásticas conteniendo mantos de barita han cabalgado al NE sobre una sección de rocas carbonatadas y siliclasticas de 1,800m de espesor con echados pronunciados al SW. Estas vienen a ser las unidades Caliza del Pícache Colorado y la Formación La Vuelta Colorada, siendo la primera una sección de rocas carbonatadas silíceas que contienen fusulinidos pobremente preservados de edad Leonardiana en la parte superior, y debajo de este horizonte como a 450m, corales rugosos aislados, de posible edad Misisipica, y las segundas rocas pobremente expuestas de arenisca de grano fino a muy fino, argilita, limolita, limolita calcárea de color gris-negro con cantidades variables de matriz carbonatada, y caliza con crinoideos.

Gran parte de la sección ha sido metamorfoseada termalmente haciendo difícil la descripción sedimentológica, pero parece ser similar a otras sección carbonatadas del paleozoico medio superior descrito en la parte norte central de Sonora por Imlay (1939), King (1939), Hewett (1978) y F. Rangin y otros (1980).



Al sur del área se encuentra la misma secuencia del paleozoico pero sin mineralización de barita (Montijo y Cordova, 1983). Hacia el NW, el Terciario está representado por rocas volcánicas de composición riolítica y andesítica. Las rocas intrusivas Laramide en la región, están representadas por un batolito granítico localmente asociado a troncos y “stocks” de granito, cuarzomonzonita y granodiorita. Pequeñas brechas, vetas hidrotermales y depósitos de contacto están asociados con estas intrusiones. El Cuaternario está representado por sedimentos graníticos, terrazas y abanicos aluviales.

Una sección estratigráfica completa y bien expuesta no existe en la Sierra de Cobachi. Por lo tanto se ha requerido que la estratigrafía sea establecida parcialmente basándose en aquella conocida del Grupo Guayacán, y de las calizas del Picacho Colorado. A pesar de estas dificultades, una relación de las litologías expuestas en la Sierra de Cobachi incluye: un paquete de rocas sedimentarias paleozoicas de aproximadamente 2090 m. de espesor; granodiorita del cretácico tardío que intrusionó y metamorfoseó localmente la sección sedimentaria, pequeñas chimeneas brechoideas, depósitos de arena y grano no consolidados, y aluvión reciente.

La sección del paleozoico se divide en tres unidades estratigráficas que son de la inferior a la superior: el Grupo Guayacán, las calizas del Picacho Colorado y la Formación La Vuelta Colorada, Noll (1981). Los términos Grupo Guayacán y Formación la Vuelta Colorada son usados localmente y no implican unidades estratigráficas a nivel regional.

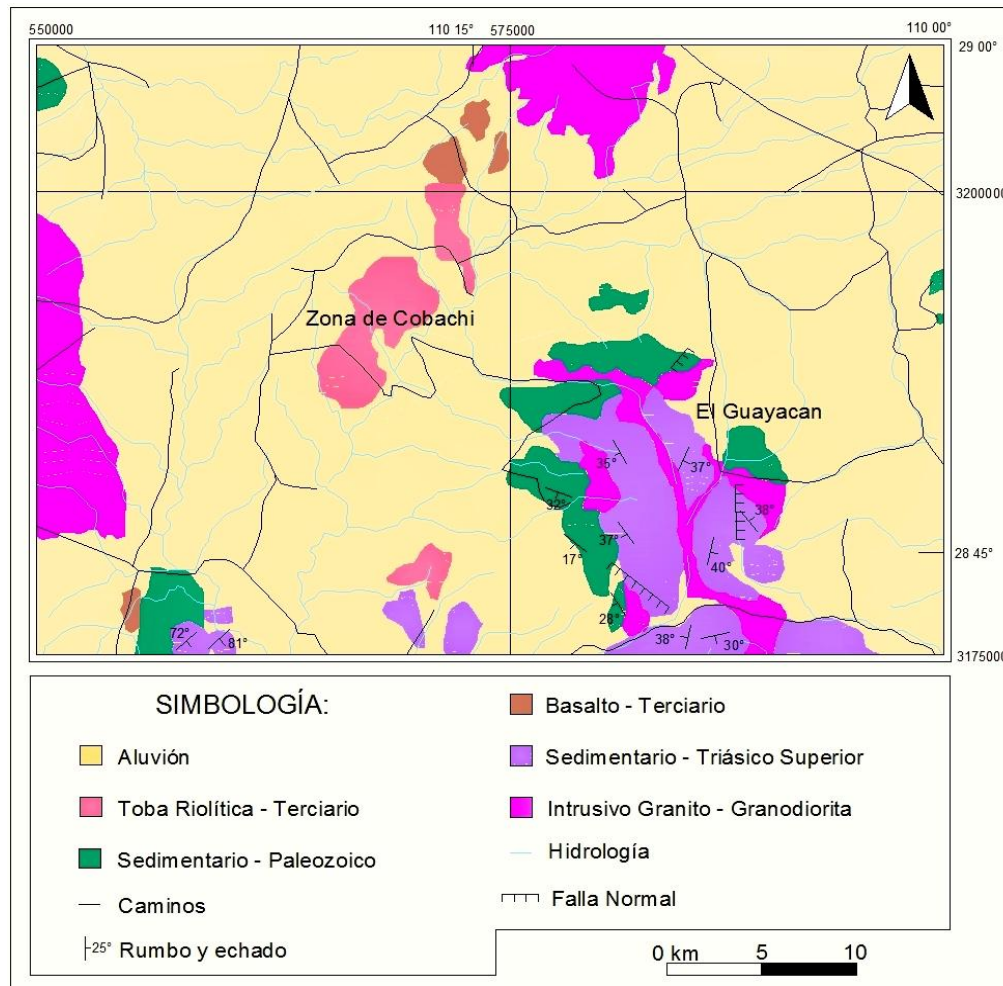


Figura 4. Mapa geológico del área. (Servicio Geológico Mexicano, 2000)



3.2.1 GRUPO GUAYACAN

En esta tesis se presenta un resumen de la litología denominada por Noll (1981) y es caracterizada por una secuencia de rocas sedimentarias del paleozoico con un espesor de aproximadamente 250 m, sin embargo Campillo-Corrales (1983) en su tesis establecen un espesor de 290 m los cuales están representados por lutitas silíceas y argilitas en la base de colores gris oscuro, ricas en sulfuros con abundantes fracturas y óxidos de fierro y manganeso. Hacia la parte superior de esta unidad se encuentran lutitas con graptolitos que Poole recolecto y B. N. Berry (University of California – Berkeley) describe *in* Campillo como *Cryptograptus triconis*, *corynoides* sp., *Orthograptus Calcaratus acutus*, y *Pseudocrimacograptus Scharenbergi*, que representan una edad Ordovícico Medio esto en argilita silicificada, aunque los descritos por Peiffer-Rangin (1980) son de edad Ordovícico Tardío e incluyen, *Dicranograptus* sp., *Orthograptus* sp., y *Climacograptus* sp. Esto hacia la parte superior de la unidad en lutitas.

Sobre esta unidad de lutitas se encuentran capas de pedernal el cual generalmente se encuentra muy fracturado y en algunas partes brechado. Esta roca se compone de cuarzo microcristalino (90%) y de 1 a 2% de cuarzo detrítico de grano muy fino, 1 a 2% de pirita diseminada muy fina (parcialmente alterada a hematita) aproximadamente de 3 a 5% de pequeños granos redondeados de cuarzo policristalino que semejan radiolarios y que se parecen a los reportados en el pedernal Ordovícico y Devónico en la parte central de Nevada (Stanley y otros, 1977 *in* Campillo). En este grupo también se observan capas de barita, argilitas, limolitas, areniscas y calizas. Las areniscas intercaladas con los estratos de barita son de grano fino y feldespática En algunas partes se encuentran cementadas con bario, contienen fragmentos de rocas volcánicas (en un 50% aproximadamente), y granos de cuarzo. En la parte superior de estos estratos se observa pedernal el cual contiene estructuras esferoides que poseen estructuras externas opacas con



superficie reticuladas. El origen de estos esferoides es desconocido, aunque por su superficie reticulada parecen ser esporas de algas. (Campillo y Montes 1983).

En la parte inferior de los estratos de barita en algunos cuerpos, se observaron moldes internos y externos de braquiópodos identificados por J. T. Dutro (USGS) y A. J. Boucot (Oregon State University) *in* Campillo como de edad Fameniana. En el cuerpo V (cinco) del depósito se encontraron conchas de braquiópodos reemplazadas por cuarzo, pertenecen a la misma forma del braquiópodo *Dzieduszyckia* que Cloud y Boucot describieron en 1971 en Slaven Chert de Nevada central y que solo era conocido en otras tres regiones en el mundo; Polonia, Marruecos y Rusia (Biernat, 1967; Cloud y Boucot, 1971).

La parte superior está constituida por potentes estratos masivos de caliza. Esta caliza esta intercalada con estratos arcillosos de 40-50 cm de espesor, de color amarillento oscuro. Dos muestras de estas calizas estudiadas por A. G. Harris (USGS) según indican una edad Devónico Tardío (Fameniano), las arcillas intercaladas con las calizas contiene fragmentos esqueléticos que no se han identificado, pero algunas contienen laminas delgadas de cuarzo muy fino. Una muestra analizada por difracción de rayos x indica que son escasamente dolomíticas, con abundante material de sílice en la matriz. Sobre ellos se encuentra una capa delgada de pedernal gris oscuro de 1 m aproximadamente de espesor.



3.4 ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía del Cerro Guayacán fue separada en 4 unidades basándose en la estratigrafía del Grupo Guayacán las cuales presentan un espesor de 280 m. El autor de esta tesis difiere de lo planteado en la descripción litoestratigráfica del mencionado Grupo como fue planteado por Campillo y Montes *opus cit.*, en vista que la segunda unidad litológica que la describe como un pedernal de 24 m de espesor no fue encontrada en la sección tipo que describe en el Cerro el Guayacán, por el contrario se observa areniscas si bien con abundante lentes de pedernal en ningún momento se observo de manera masiva el mencionado pedernal. (Campillo y Montes, *opus cit.*) Por lo que se propone en esta tesis el cambio de unidades litoestratigráficas (véase descripción en la figura 5) y que se describe de la siguiente manera de la base a la cima se propone de manera informal la unidad litológica inferior.

Unidad 1

En la base del cerro El Guayacán aflora una secuencia mal expuesta, que se manifiesta como una intercalación de lutitas grises oscuras en superficie intemperizada y gris negruzco en superficie fresca; se presenta en estratos delgados mal expuestos; deleznales con una fisilidad marcada, esta unidad hacia la cima se desarrolla como argilitas de color café oscuro mal expuestas igualmente y en estratos delgados, suprayacidas con capas de pedernal de hasta 1 m de espesor, y tiene un espesor de aproximadamente 32.4 m. Petrográficamente la lutitas presentan 60 % de matriz con 20 – 30% de granos angulosos a subredondeados y en lo general los elementos no se observan bien clasificados en lo que se refiere al cuarzo, también presenta vetillas rellenas de sílice las cuales en algunas ocasiones se observan en tonos oxidados; en las lutitas colocadas estratigráficamente arriba se observan clastos de rocas volcánicas con la presencia de muscovita y feldespato. Las argilitas presentan una matriz de un



80% con clastos de cuarzo poco más grandes en un 10% y en un 5% clastos de feldespato. También presenta escasos clastos de ferromagnesianos en un 1 – 2 % aproximadamente, la mayoría de estos oxidados y vetillas rellenas de óxidos. El pedernal se encuentra sumamente fracturado, dichas fracturas se encuentran en ocasiones rellenas de sílice, calcita.

Unidad 2

La unidad 2 al parecer descansa concordantemente con la unidad 1 si bien no se observó dicho contacto, no se presentaron evidencias de un fallamiento.

La unidad 2 da inicio con una toba de cenizas de grano muy fino de color café claro en superficie de intemperismo y blanco con tonos amarillentos en superficie fresca, se presenta en estratos mal expuestos y presenta clastos de pedernal. Esta unidad se desarrolla por rocas detríticas como areniscas de grano medio a fino e intercalaciones de arenisca de cuarzo, horizontes de barita fina y gruesa; se observan las típicas exfoliaciones llamadas “cajas de muertos”. Dicha unidad tiene un espesor de 78.3 m.

Unidad 3

La unidad 3 se encuentra concordantemente a la unidad 2 ya que no se observan indicios de fallamiento.

Esta unidad está caracterizada por estratos de areniscas, pedernal y lutitas silicificada. Los estratos de areniscas se presentan en granos redondeados a subredondeados y bien clasificados, y algunas veces presentando nódulos de pedernal; a la base de los estratos, las rocas se encuentran cementadas con barita fina y a la cima con micrita. Conforme se llega a la cima estas areniscas se presentan más detríticas.

El pedernal se observa con algunos clastos de grano medio y fino relleno de vetillas que se presentan por toda la lámina y óxidos en algunas zonas.



En los estratos de lutita silicificada se observan vetillas rellenas de óxido y lo que parecen ser radiolarios (D. Vachard, comunicación escrita). Esta unidad tiene un espesor de 95.4 m.

Unidad 4

Está representada por estratos masivos de calizas, la cual contiene una matriz de micrita en un 60-70% cementando clastos de cuarzo y diseminados de clastos de rocas ígneas (micas, feldespato, plagioclasa) y óxidos. En dicho estrato se observan ¿*Devonoscala* sp.? y *Quitinozoarios* (D. Vachard, comunicación escrita) y se presentan conodontos de dos diferentes especies. En la cima de la unidad 3 se encuentran estratos delgados de argilita silicificada y de pedernal, el cual se observa muy fracturado; dichas fracturas están rellenas con clastos medios a finos de cuarzo y gran variedad de óxidos diseminados por toda la muestra. Esta unidad tiene un espesor de 73.9 m.

Nuevos Datos del Devónico Superior en el Grupo Guayacán (Sonora Central)

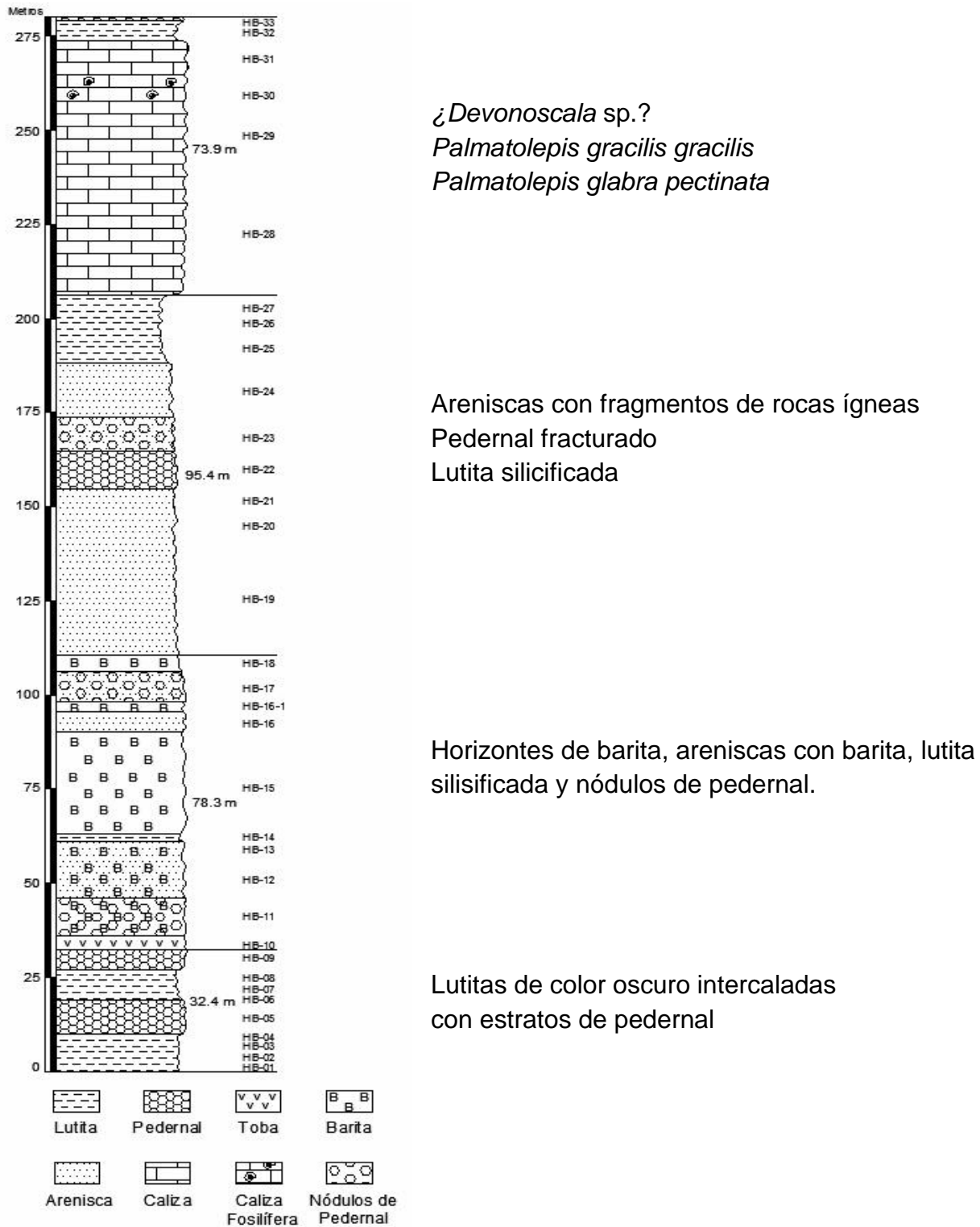


Figura 5. Columna estratigráfica de la sección.



4. RESULTADOS DEL ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

El análisis geoquímico, a partir de óxidos mayores obtenido por la técnica de fluorescencia de rayos x, se describe con suficiente detalle, aunque parezca un poco alejado de la mentalidad de los geólogos de campo.

4.1 GENERALIDADES

El método de fluorescencia requiere básicamente de tubos de rayos x de alta intensidad, de detectores de estos muy sensibles. La intensidad es un factor importante puesto que en función de esta, está el tiempo que será necesario para medir el espectro. Es importante que un número determinado de impulsos sea recibido y detectado por el detector para que el error estadístico de la medida sea suficientemente reducida. Cuando se irradia con un abanico de rayos x una muestra de composición desconocida, este emitirá las radiaciones características de los elementos que la componen. Si se puede identificar la longitud de onda donde la energía de cada una de las radiaciones características, se pueden conocer los elementos que componen la muestra, y sí se puede medir sus intensidades, se pueden conocer sus concentraciones respectivas.

4.2 ESPECTOMETRO DE FLUORESCENCIA X

El sistema general por la excitación, la dispersión y la detección de la radiación fluorescente con un espectrómetro de cristal plano, se presenta sobre la figura 6.

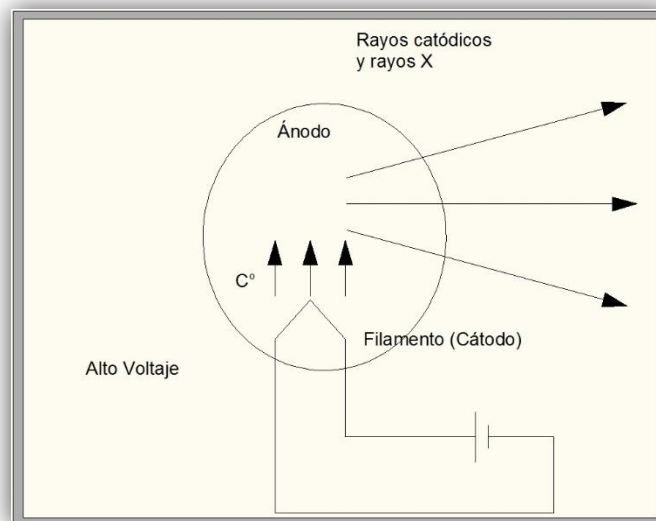


Figura 6. Esquema de un tubo de rayos catódicos y de rayos x.

Se dispone la muestra sobre el portamuestras que gira a fin de mejorar la uniformidad de la exposición, y se irradia con una red de rayos x primarios sin filtro; el elemento estudiado comienza a emitir líneas de fluorescencia características. Una parte del as fluorescente dispersado pasa posteriormente por la rendija del goniómetro y es dirigida hacia una cara plana del cristal analizador. Las líneas de radiación, reflejadas según la ecuación de Braggs pasando a través de un colimador auxiliar donde una rendija va hacia el detector, posteriormente la energía de los rayos x se convierte en impulsos eléctricos.



Estos últimos años, la espectrometría de fluorescencia de rayos x se ha utilizado semiconductores, principalmente de sílice y de litio como detectores de los rayos x. La resolución relativamente alta de estos (160-180 eV) permite descomponer el efecto de fluorescencia en sus componentes monocromáticos en función de la diferencia entre sus energías, de tal manera que el detector mismo reacciona como un agente separador. Posteriormente el detector recibe el espectro total emitido por todos los elementos de la muestra. Por cada fotón de rayos incidentes, el detector engendra un pulso eléctrico cuya altura será proporcional a la energía del fotón; los diferentes pulsos eléctricos creados son separados y almacenados en función de su valor con la ayuda de un analizador de alturas de multicanales.

Las intensidades se registran automáticamente sobre una gráfica bajo la forma de una serie de picos que corresponde a líneas de fluorescencia superpuestas de una radiación de fondos que es producida por la dispersión general. Los datos suplementarios para la identificación pueden ser obtenidos a partir de alturas relativas (en ciertos casos particulares) de los picos, del potencial de excitación crítico y el análisis de las alturas de los pulsos.

Para el análisis cuantitativo, se mide la intensidad de una línea característica del elemento solicitado. Se fija el goniómetro a 2° del pico y se recogen las medidas para un periodo fijado, se mide el tiempo necesario para obtener un número determinado de medidas.

Normalmente, se pueden acumular 200 mil medidas en uno o dos minutos para los principales elementos de una muestra, mientras que la medida de la radiación de fondo requiere mucho más tiempo de análisis. La intensidad de la línea, es decir del pico, menos el fondo, expresado en medidas por segundo, está en relación con la concentración del elemento por medio de una curva de calibración.



4.3 DISCUSIÓN DEL METODO

Una de las ventajas de este método es que su campo de aplicación se extiende a todo elemento de número atómico superior a 4 (Berilio). Además, el espectro de emisión de rayos x es muy simple de obtener y de interpretar, en la medida donde la posición de las líneas no dependa del tipo de componente, ni del estado físico que presenta. Las interferencias espectrales son relativamente poco frecuentes, si bien hay que considerar los efectos de la matriz que pueden dejar superpuestos los efectos de absorción y de reforzamiento de las líneas analíticas.

Se trata de un método no destructivo, pues la muestra no sufre ningún daño durante el análisis y puede ser reestudiado cada vez que se necesite. Esto es lo más interesante para las muestras de referencia de piedras preciosas, de pruebas judiciales, objetos de artes, de antigüedades, etc. Las muestras se pueden presentar bajo formas variadas: sólidos, pastillas, polvos, líquidos, películas y hasta en gas. El material sólidos puede ser metálico, mineral, cerámica, vidrio, materiales plásticos, aceite, papel, etc. La forma y la talla pueden ser muy variables. La técnica es aplicable a un largo rango de concentraciones de 0,001% a 100%, en los casos más favorables.

El análisis de fluorescencia de rayos x es suficientemente preciso para rivalizar en exactitud con los métodos químicos por vía húmeda para los análisis de constituyentes principales. Por otra parte, es difícil detectar un elemento que esté presente al menos 100 ppm. El método es interesante para los elementos cuales no existen métodos químicos de vía húmeda precisos; es decir elementos como el sodio, el niobio, tántalo y las tierras raras. Frecuentemente se utiliza como un procedimiento complementario de la espectrometría de visión óptica, particularmente por los constituyentes principales, y también para el análisis de muestras no metálicas.

4.4 ANALISIS GEOQUIMICOS DE LA SECCION

Muestra	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	SrO	BaO
HB-01	0.18	8.47	87.16	0	2.86	0.01	0.7	0	0.02	0.3	0.01	0
HB-02	0.13	9.39	83.49	0	2.99	0.02	0.76	0	0	3.02	0.01	0
HB-04	0	9.68	81.29	2.46	3.49	0	0.75	0	0	2.28	0.02	0
HB-05	0	0	98.38	0	0.31	0	0.08	0.06	0	0.93	0	0
HB-06	0.18	7.9	82.38	1.79	3.42	0.03	0.89	0	0	3.22	0	0
HB-07	0.21	9.62	80.28	2.28	4.06	0.01	0.8	0	0	2.36	0	0
HB-08	0	8.27	86.3	0	2.98	0.01	0.54	0	0	1.7	0.01	0
HB-09	0	0	97.49	0	0.37	0	0.09	0.08	0	0.85	0	0
HB-10	0.29	15.74	74.52	0	7.15	0.06	1.09	0	0.04	0.79	0.04	0
HB-11	3.32	13.26	67.25	0.37	0.93	0	0	0	0	13.98	0.01	0
HB-12	0	3.25	91.31	0	1.15	1.72	0.42	0.06	0.09	1.79	0	0
HB-13	4.46	6.44	71.6	1.81	1.86	0.35	0	0	0.32	9.71	0	3.4
HB-14	1.89	11.69	75.34	0	6.06	0.06	1.08	0.02	0.08	3.58	0	0
HB-15	2.15	13.03	70.32	0	6.2	0.07	1.33	0.02	0.12	6.14	0	0
HB-16	0.31	3.93	42.85	15.25	1.46	0	0	0	0	1.3	0.23	34.64
HB-16-1	0	4.11	89.63	0	2.52	0.37	0	0	0.03	0.65	0.02	2.41
HB-17	1.05	3.21	90.29	0	1.36	0	0	0	0	0.89	0.01	3.09
HB-18	0.84	9.45	53.19	8.26	3.2	0	0	0	0	3.36	0.08	21.56
HB-19	0	1	89.92	0	0.28	5.61	0	0	0.06	1.07	0.03	1.8
HB-20	3.36	7.29	73.9	0.9	4.24	4.31	0	0	0	4.22	0.05	1.5
HB-21	9.04	2.94	77.51	0	0.74	6.46	0.23	0.12	0.09	2.67	0	0
HB-22	0.18	2.38	94.45	0	0.8	0.05	0.18	0	0.08	1.69	0.01	0
HB-23	2.12	5.87	84.51	0	1.96	0.01	0.37	0	0	4.95	0.01	0
HB-24	0	2.33	95.35	0	0.98	0.13	0.2	0.01	0.08	0.49	0	0
HB-25	0	2.35	95.32	0	0.83	0	0.24	0	0.09	1.13	0	0
HB-26	0.49	2.52	94.74	0	0.75	0.04	0.24	0.04	0	0.99	0.01	0
HB-27	0	4.78	90.73	0	1.55	0.22	0.41	0.03	0	2.05	0.02	0
HB-28	0.44	0	7.93	0	0.07	88.62	0.03	0	0.1	0.88	0.22	0
HB-29	0.52	0	6.12	0	0.05	91.24	0.06	0	0.16	0.76	0.09	0
HB-30	0.58	0	8.54	0	0.09	89.15	0.06	0	0.14	0.64	0.17	0
HB-31	0.77	0	7.59	0	0.05	89.03	0.04	0	0.19	0.68	0.13	0
HB-32	1.11	3.26	92.67	0	0.95	0.04	0.28	0.02	0	1.4	0	0
HB-33	0	0	97.96	0	0.49	0.12	0.16	0.04	0	1.05	0	0

Figura 7. Tabla de análisis geoquímicos.

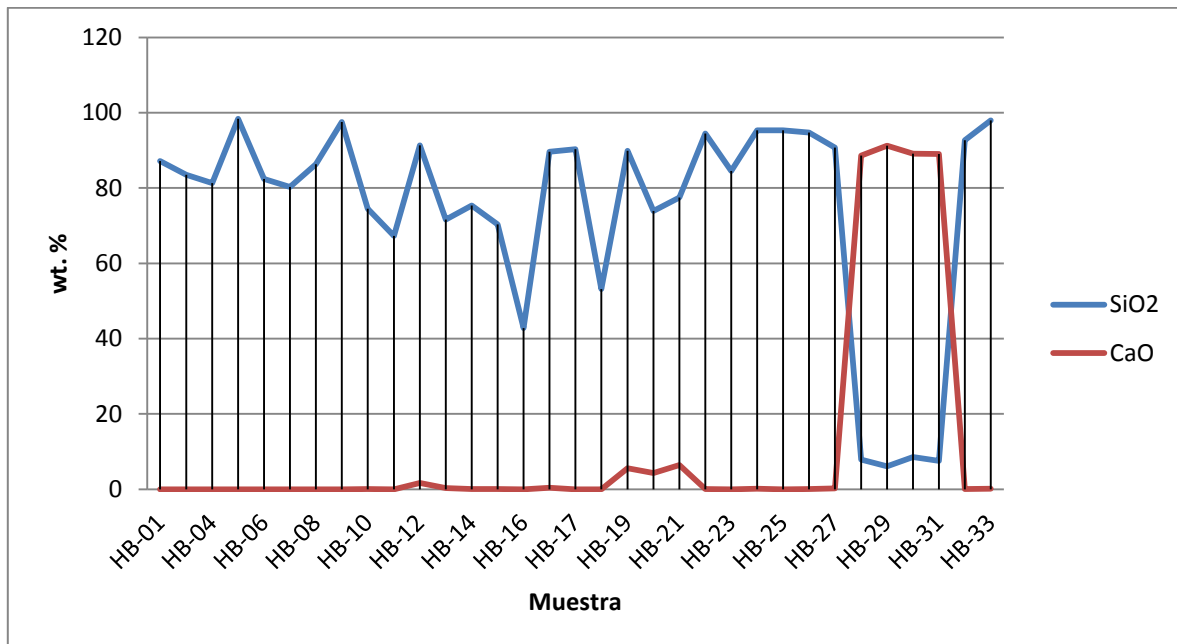


Figura 8. Grafica de SiO₂ - CaO.

La columna estratigráfica está compuesta de arenisca en su mayor parte y marca un cambio súbito (CaO - SiO₂) en las muestras HB-28 a HB-31 en donde se cree que existe *devonoscala* sp. (D. Vachard, comunicación escrita) y en donde se encuentran las dos especies de conodontos, *Palmatolepis gracilis gracilis* y *Palmatolepis glabra pectinata*. A la cima de la secuencia se puede encontrar un posible ciclo transgresivo-regresivo (Véase la Figura 8.)

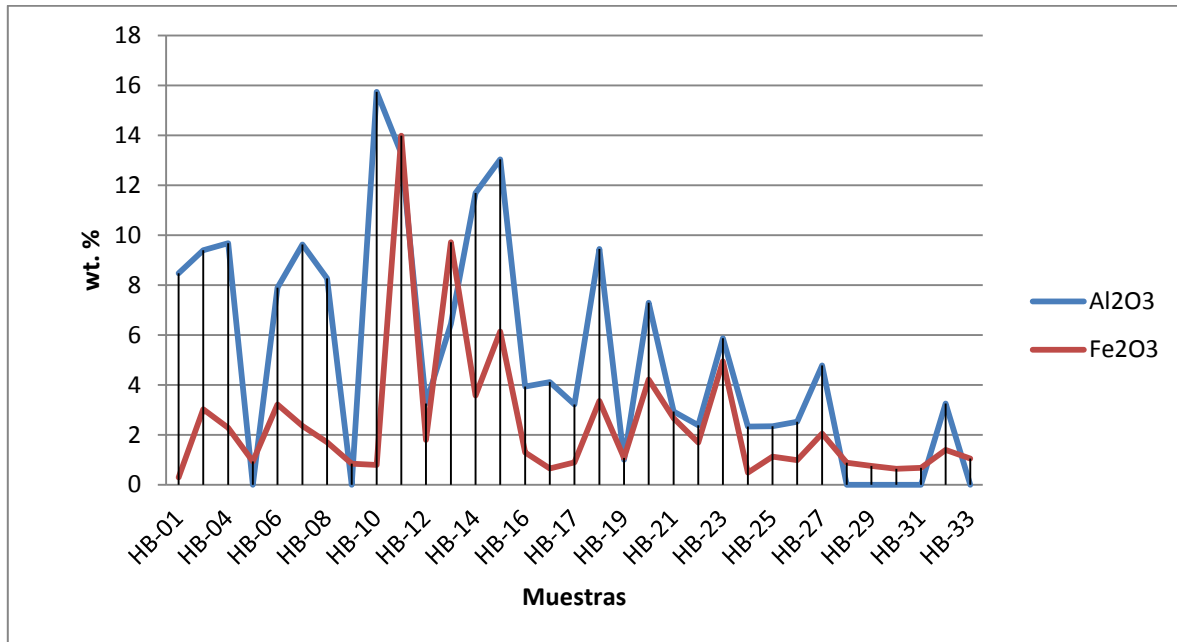


Figura 9. Grafica de Al₂O₃ - Fe₂O₃.

Los aportes terrígenos (hierro, aluminio) aparecen claramente en el número de muestra HB-11, lo que puede significar una fuerte caída del nivel del mar, posiblemente en el Frasniano-Fameniano, donde ocurre la gran extinción del Devónico, ocasionada por diversos factores; la eustasia como factor principal. (Véase la Figura 9)

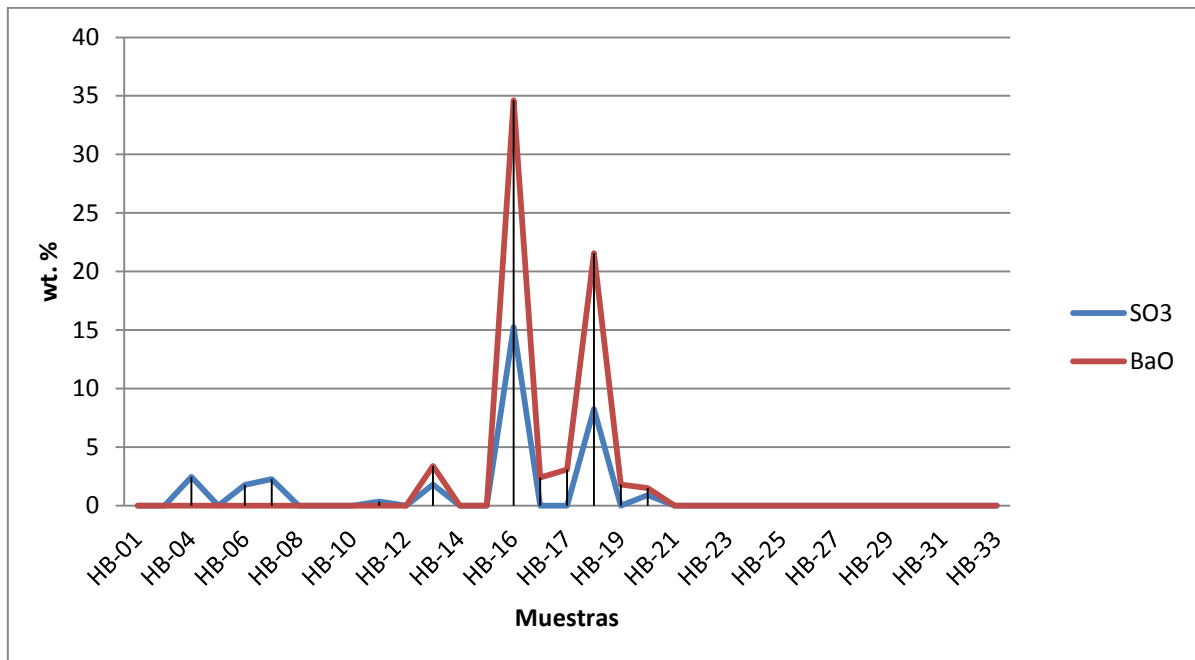


Figura 10. Grafica de BaO - SO₃.

A partir de la muestra HB-13 a la muestra HB-21 se observan curvas anómalas de BaO y SO₃ siendo en mayor porcentaje las curvas de BaO, datos ideales para la formación de BaSO₄ y asociado a un evento volcánico y así evitar la existencia de organismos en dichos estratos.



5. BIOESTRATIGRAFIA DE CONODONTOS

5.1 INTRODUCCION

Los conodontos son fósiles índices, debido a su facilidad para fosilizar y su amplia distribución geográfica son utilizados para datar rocas y correlacionarlas. Estos organismos ya extintos, aunque sus primeros restos fueron descritos hace más de 150 años son el centro de grandes discrepancias debido a sus afinidades biológicas y la función de sus partes esqueléticas mineralizadas. La definición de conodonto viene de la primera descripción de los mismos a finales del siglo XIX en el Ordovícico de Estonia por Christian Heinz Pander, quien observó la forma cónica de los dientes. (*In Navas-Parejo, 2014*)

Estos organismos vivieron desde el Cámbrico Superior hasta finales del Triásico, los cuales resultan aproximadamente 300 Ma. Por esto, su resistencia al metamorfismo, a su fácil extracción de las rocas y factores mencionados anteriormente, se considera en trabajos bioestratigráficos.

Los conodontos también son utilizados como herramientas para la búsqueda de hidrocarburos debido al cambio de color que presentan en base a la maduración de materia orgánica por el incremento de temperatura que sufrió a través del tiempo. Estos cambios de color se ven reflejados en una tabla denominada Índice de Alteración de Color o CAI en inglés, que básicamente es una escala que correlaciona el color del conodonto con la temperatura máxima que alcanzó la roca en algún momento desde su formación hasta la actualidad.

La parte del conodonto más común en fosilizar se encuentra en la región oral del organismo. A estas piezas se les denomina elementos conodontales o conodontos, con un tamaño de entre 200 μm y 2 cm de longitud. Es esta parte del organismo

que se preserva comúnmente por su fuerte mineralización de fosfato cálcico, concretamente por francolita, una variedad de hidroxiapatito. Este tipo de mineral les brinda una gran estabilidad química que favorece su fosilización, así como su resistencia a los ataques con ácidos, método habitualmente utilizado para extraerlos de las rocas carbonatadas que los contienen.

5.2 METODOLOGIA

Disolución de calizas para la separación de conodontos.

(In Navas-Parejo, 2014: modificado de Jeppsson, L., Anehus, R. and Fredholm, D., 1999)

1.- Fragmentación y pesada.

Se rompe la roca en fragmentos de entre 3 y 5 cm de diámetro y se pesa entre 1 y 1.250 k en una balanza de cocina, que es la cantidad que se suele procesar en una investigación preliminar.



2.- Disolución.

Para separar los elementos conodontales de la roca caliza que los contiene es necesario disolverla. Para ello se introducen los fragmentos en una redcilla de plástico y se los sumerge en la disolución que se habrá preparado en un cubo de polietileno de unos 12L de capacidad. Por cada kg de muestra se preparan 10L de disolución con 7,4L de agua, 600ml de ácido acético glacial y 2L de acetato cálcico.



El acetato cálcico se obtiene reciclándola de disoluciones previas de calizas con ácido acético, ya que es el producto que se genera tras la disolución de CaCO_3 con ácido acético. Como los elementos conodontales son de fosfato cálcico, resisten el ataque de este ácido, mientras que el carbonato cálcico de la roca se disuelve. La muestra se deja en la disolución aproximadamente una semana.

Siempre queda muestra sin disolver, se guarda el resto de muestra para disoluciones Posteriores y Quitamos la disolución de acetato, conservándola en un recipiente de polietileno cerrado. En el fondo queda el residuo procedente de la disolución de la caliza, Que es donde se encontrarán los elementos conodontales si es que la roca original los contenía.

3.- Lavado y tamizado.

Para recoger los elementos conodontales se tamiza el residuo, utilizando un juego de dos tamices, que se superponen y se sitúan 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 que tampoco nos interesa se queda retenida en el tamiz superior.



Los elementos conodontales quedan retenidos en el tamiz inferior junto con todas las partículas de la roca con tamaños comprendidos entre los dos tamaños de luz de malla de los tamices utilizados.

El residuo, con los restos de conodontos, que queda en el tamiz tras el lavado, se recoge en recipientes tales como unas capsulas de porcelana y se deja secar al aire. Una vez seco se guarda en unos pequeños botes de plástico para su estudio posterior.



Los tamices se sumergen en azul de metileno disuelto para tintar todas las partículas y evitar así la contaminación, ya que de producirse, las partículas contaminantes se identificarían rápidamente por su color azul.



Selección de elementos y clasificación.

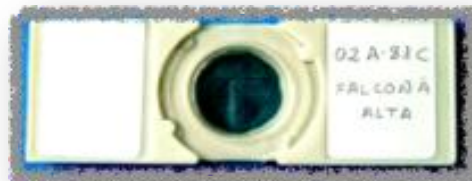
Una vez obtenido la disolución y tamizado de la roca, se procede a revisar el material en un microscopio estereoscópico esto con el fin de identificar los elementos conodontales.



Esto con la ayuda de una cuadrícula de 1 cm x 1 cm, en la cual se realiza una revisión de barrido de para no confundir material ya revisado y así facilitar la búsqueda de los elementos.



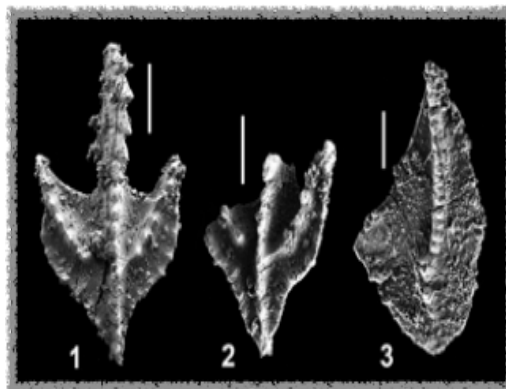
Ya que se ha revisado todo el material de roca y se ha obtenido los elementos de interés (clasificables), estos se depositan cuidadosamente en un porta muestras con fondo de cartón y cobertura de vidrio para proteger el material.



Al utilizar un microscopio electrónico de barrido (MEB), los elementos clasificables se tienen que colocar en un porta muestras especial al cual se le coloca una cinta de cobre, para realizar el vacío con argón y el baño de oro correspondiente.



Cuando los elementos están listos se procede a colocarlos en el MEB para realizar las imágenes a las escalas necesarias.





5.3 RESULTADOS

En el nivel carbonatado HB-30 se tomó una muestra para realizar estudios bioestratigráficos. Se disolvió un total de 450 gramos mediante una disolución de ácido acético tamponada con acetato de calcio según el protocolo publicado por Jeppsson *et al.* (1999).

La muestra liberó muchos fragmentos de elementos ramiformes y algunos elementos de plataforma (Pa). Dos de estos elementos Pa pertenecen a las especies *Palmatolepis gracilis gracilis* Branson y Mehl y *Palmatolepis glabra pectinata* Ziegler, morfotipo 1 Sandberg and Ziegler.

Las características principales de los elementos Pa de *Palmatolepis gracilis gracilis* es la presencia de una plataforma estrecha y relativamente corta y una quilla que rodea toda la plataforma (Fig. 11, foto 1).

Los elementos Pa de *Palmatolepis glabra pectinata* se caracterizan especialmente por la presencia de un parapeto alargado en la plataforma anterior interna, que es paralelo a la carena anterior (Fig. 11, foto 2). También se caracteriza por una carena sinuosa y un dentículo bien desarrollado. La superficie superior de todo el elemento presenta una textura como de lija. El morfotipo 1 se diferencia en la longitud del parapeto de la plataforma anterior interna, que es más corto que en el resto de especímenes de esta subespecie.

La presencia de estas dos especies indica que la muestra pertenece a la Zona superior de *rhomboidea* (parte inferior del Fameniense, Fig. 13).

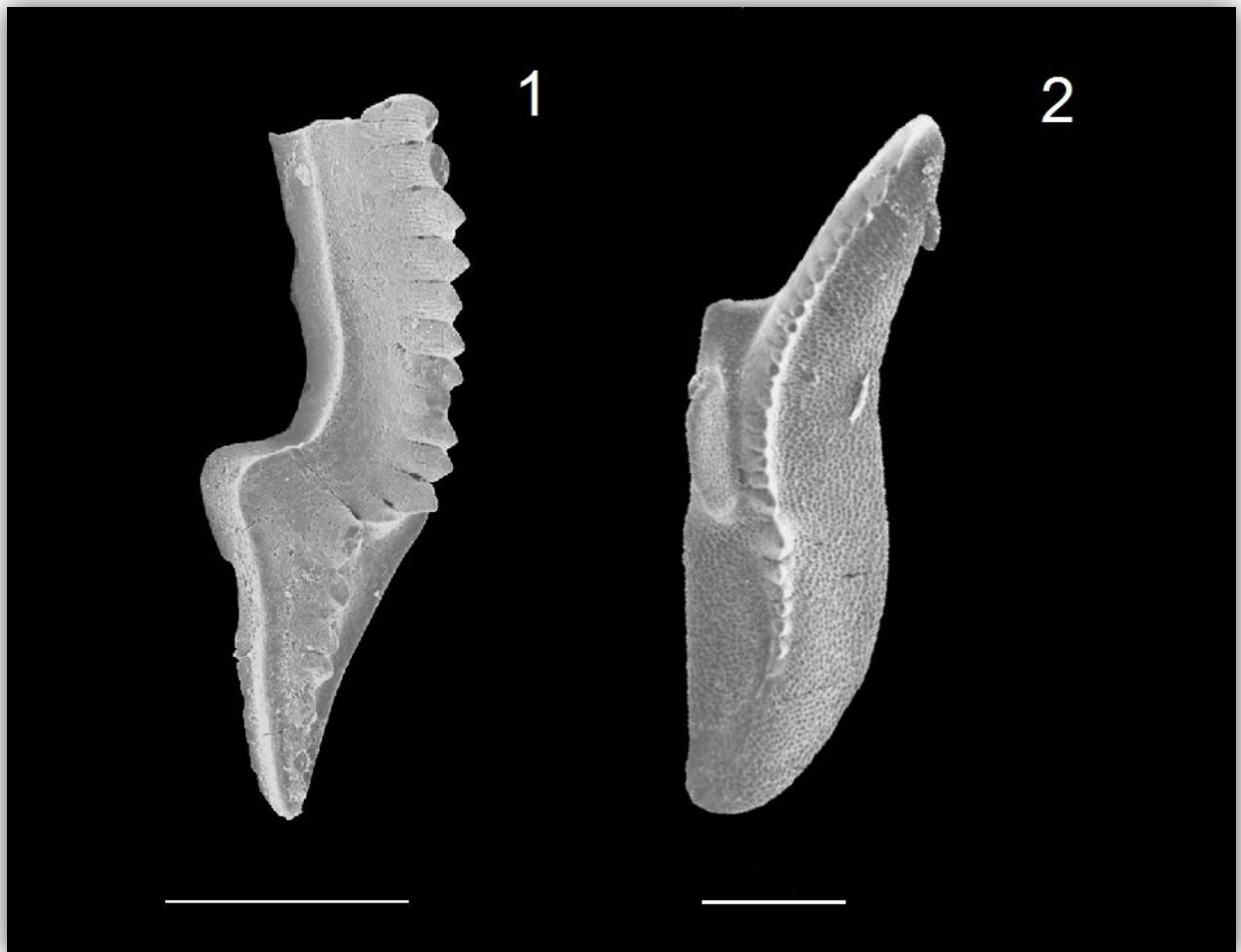


Figura 11. Conodontos del Fameniano (Devónico superior) de la sección del C. Guayacán (Cobachi). Todos son vistas orales de elementos Pa. Las escalas gráficas equivalen a 200 μm . **1.** *Palmatolepis gracilis gracilis*, ejemplar HB-30-1; **2.** *Palmatolepis glabra pectinata* morfotipo 1, ejemplar HB-30-2.

5.4 BIOZONA CORRESPONDIENTE

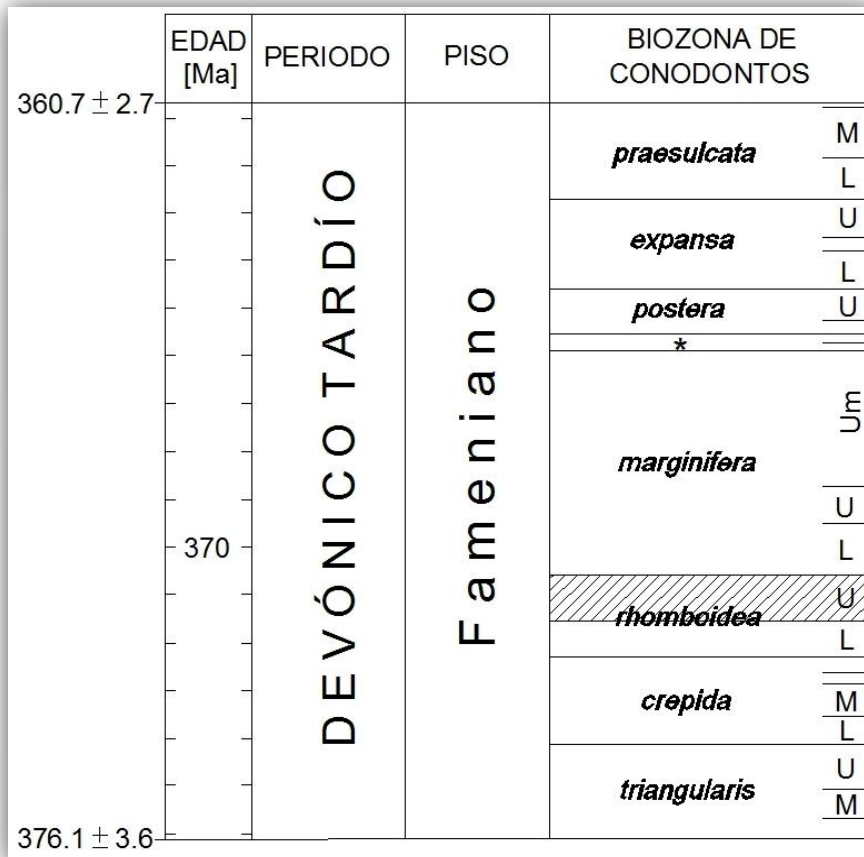
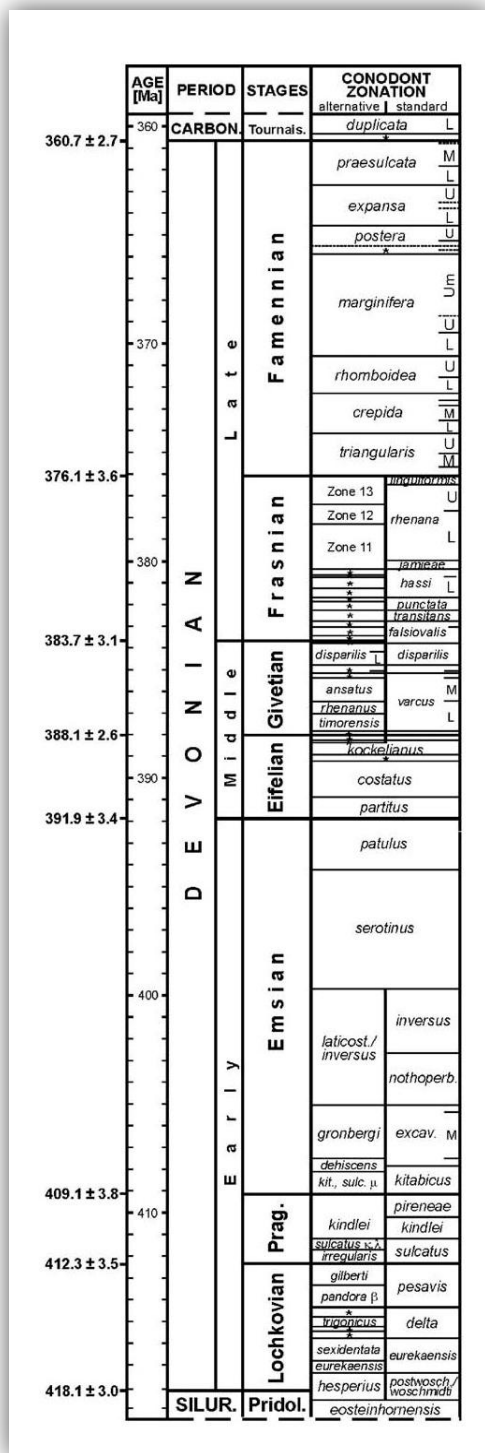


Figura 13. Biozonas de conodontos para el Famenario (Devónico tardío). El asterisco corresponde a la Zona de *trachytera*. El intervalo al que pertenece la muestra estudiada aparece achurado (Zona Superior de *rhomboidea*, de 370.5 a 371.5 Ma).

Figura 12. Tabla del tiempo geológico para el Devónico, con la división en pisos y su equivalencia con las biozonas de conodontos.



6. CONCLUSIONES

Se observaron diferencias litoestratigráficas en la sección, de trabajos realizados anteriormente en la zona, específicamente con la unidad dos descrita completamente como pedernal, esto no se vio en el campo.

Las curvas observadas en la gráfica de $\text{CaO} - \text{SiO}_2$ en las muestras HB-28 a HB-31 de la columna se interpretan como un cambio súbito del nivel del mar como resultado de un evento de transgresión.

Las curvas observadas en la gráfica de $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ las cuales nos marcan una fuerte caída del nivel del mar, se encuentra proporcionalmente a altos de curvas de la gráfica BaO y SO_3 las cuales están asociadas a un evento volcánico-hidrotermal.

Los depósitos de la sección son tipo cuencas oceánicas. Generalmente son hemipelagitas (es decir depósitos de decantación). A veces, pueden ser conturitas, es decir este depósitos de corrientes de fondo que re depositan elementos de plataformas someras traídos primero por corrientes de turbidita, al pie del talud continental.

La cima de la secuencia estudiada libero dos especies de conodontos que indican que la muestra pertenece a la biozona superior de *rhomboidea* del Devónico tardío.

Por primera vez en Sonora, México se caracterizan y presentan especies índices de conodontos que permiten ubicar el intervalo del Devónico Tardío con una precisión de 1 Ma. (370.5 a 371.5 Ma.).



7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, T. H., and Silver, L. T., 1977; U-Pb isotope age of granitic plutons near Cananea, Sonora: *Econ. Geology*, v. 72, p. 827-836.
- Biernat, G., 1967; New data of the genus *Dzieduszyckia* Simiradzki, 1909 (Brachiopoda): *Paleontological Acta Polonica*, v. 12, p. 133-156.
- Cloud, P. E., Jr, and Boucot, A. J., 1971; *Dzieduszyckia* in Nevada, in Dutro, J. T., Jr. (ed.), *Paleozoic perspectives, a tribute to G. A. Cooper: Smithsonian Contributions to paleobiology* 3, p. 175-180.
- Campillo, C. A., y Montes, P. M., 1983; *Geología del yacimiento de Barita de Cobachi*, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Tesis profesional. p. 67.
- Corelab, 1979; *Estudio geoeconómico del depósito de Barita de Cobachi*, Sonora. 87 p.
- Damon and Shafiqullah, 1982; *Geochronology of the Porphyry Copper Deposits and Related Mineralization of Mexico; The Canadian Journal of Earth Science*. 235 p.
- Dumble, E.T., 1900; *Notes on geology of Sonora, Mexico: American Institute of Mining Engineers Transactions*, v. 29, p. 122-152.
- Herrera, U. S., y Bartolini, N. C., 1983; *Geología del área de Lampazos Sonora, México*. Universidad de Sonora, Tesis profesional, 119 p.
- Hewett, R. L., 1978; *Geology of the Cerro La Zacatera area, Sonora, Mexico (MS thesis): Flagstaff, Ariz., Northern Arizona University*, 99 p.
- Himanga, J.C., 1977; *Geology of the Sierra Chiltepín, Sonora, Mexico: Flagstaff, Ariz., Northern Arizona University, M.S. thesis*, 99 p.
- Imlay, R. W., 1939; *Paleogeographic studies in northeastern Sonora: Geological Society of America Bulletin*, v. 50, p. 1723-1744.
- 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, v. 50, p. 1625-1722.

- Menicucci, 1975; Reconnaissance Geologique et minière de la region entre Hermosillo et le Río Yaqui (Sonora Central, Mexique These Docteur de Specialite, á L' Université Scientifique et Medicale de Grenoble). 270 p.

- Montijo, C. O., y Córdova, B. H., 1983; Geología del área sur del depósito de Barita de Cobachi, Sonora, Universidad de Sonora, Tesis profesional. p. 78.

- Navas-Parejo, P., y Martínez-Pérez, C., 2014; Paleobiología de conodontos: anatomía, función y afinidades biológicas. UNAM. p. 1-26.

- Noll, J. H., Jr., 1981; Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, Mexico: Flagstaff, Ariz., Northern Arizona University, M.S. thesis, 165 p.

- Palafox, J. J., 2011; Du Craton au Rhéique: Le Nord et le Centre de l'Etat du Sonora (Mexique) au Paléozoïque Superior (Dévonien-Pennsylvanien), lithostratigraphie, biostratigraphie, approche géochimique et implications géologiques. Université Lille 1. Ecole Doctorale Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement. Thèse de doctorat en Sciences de la Terre. 315 p.

- Paz. M. M., 1983; Geología de los basaltos de Moctezuma, Sonora, Tesis profesional, Universidad de Sonora. 103 p.

- Poole, F.G., and Dutro, J.T., Jr., 1988; Late Devonian fossils in seafloor hydrothermal-vent barites of Nevada (USA) and Sonora (Mexico) [extended abs.]: Barite Symposium Abstracts, Kutná Hora, Czechoslovakia, Geological Survey, Prague, p. 51-53.

- Peiffer-Rangin; Françoise, 1979, Les zones isopiques du Paléozoïque inférieur du nord-ouest mexicain, témoins du relais entre les Appalaches et la cordillère ouest américaine [Lower Paleozoic isopic zones in northwestern Mexico: Evidence of continuity between the Appalachians and the western American Cordillera]: Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Acadé des Sciences de Paris, ser. D, v. 288, no. 20, p. 1517-1519.



- Peiffer-Rangin; Françoise, Echavarrri-Pérez, Ariel, Salas-Pizá, Guillermo, and Rangin, Claude, 1980, Sur la présence d'Ordovicien supérieur à graptolites dans le nord-ouest du Mexique: Paris, Academia des Seances Comptes Rendus, v. 290, Ser. D., p. 13- 16.

- Pregger, B.H., 1981; A recently discovered Devonian bedded barite deposit in central Sonora, Mexico [abs.]: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 13, no. 2, p. 101.

- Rangin, Claude, 1977; Tectonicas sobrepuestas en Sonora septentrional: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v.1, no. 1, p. 44-47.

Stanley, K. O., Chamberlain, C. K., and Stewart, J. H. , 1977; Despositional setting of some eugeosynclinal Ordovician rocks, and structurally interleaved Devonian rocks in the cordilleran Mobile Belt, Nevada, in Stewart, J. H., Stevens, C. H. and Fritsche, A. E. (eds.), Paleozoic paleogeography Symposium 1, p. 259-274.