



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Estratigrafía y Sedimentología de la Sierra  
del Tentzo, Estado de Puebla, México.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

Ingeniera Geóloga

Presenta

*Mildred del Carmen Zepeda Martínez*

Directora: Dra. Elena Centeno García

Ciudad Universitaria, 2013.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesora, la *Dra. Elena Centeno* por haberme enseñado a ver de una forma extraordinaria el mundo de la Geología, por su paciencia, enseñanzas, anécdotas, motivación y oportunidades que me ha brindado. Pero sobre todo le agradezco por ser una gran amiga además de ser una gran maestra, le agradezco infinitamente el apoyo y confianza que ha brindado todo este tiempo.

Agradezco al *Dr. Silva Romo* y a la *Dra. Claudia Mendoza*, por su apoyo en clases, congresos y campo. Gracias a su apoyo, dedicación y paciencia la Geología de campo es una de las experiencias más amenas y gratificantes que tengo en la vida. Sus consejos y enseñanzas me acompañaron a lo largo de la carrera. Agradezco infinitamente sus comentarios enriquecedores que permitieron la culminación de este proyecto.

Quiero agradecer al *Dr. Michelangelo Martini*, que ha sido un gran maestro para mí, agradezco la confianza y las oportunidades que me ha brindado. Todos sus comentarios y enseñanzas siempre fueron un gran apoyo para este proyecto y para esta etapa en mi vida. Gracias por ser profesor, consejero y amigo.

Al *Mto. Emiliano Campos*, agradezco el apoyo y amistad que me ha brindado, su paciencia y comentarios fueron fundamentales para este proyecto.

A mis padres, *Cecilia* y *Agustín*, son a los que debo mi mayor agradecimiento. Gracias por su apoyo incondicional, alegría, consejos, confianza y todos los valores que me han enseñado desde niña, por enseñarme a hacer las cosas con pasión y entrega. Muchas gracias por estar conmigo siempre. Todo se los debo a ustedes. ¡Los quiero infinitamente!

A mi hermano, *Emmanuel*, que siempre has sido mi mejor amigo, siempre te llevo conmigo. Gracias por ser mi hermanito y amigo en todo momento, siempre haces que el difícil camino de crecer sea más liviano y divertido.

Agradezco a *toda mi familia*, a los que están a mi lado y a los que han partido. Gracias a todos porque siempre han llenado mi vida de amor y de momentos hermosos. Siempre los llevo en mi corazón.

Quiero agradecer especialmente al *Dr. Víctor Centeno* y a la *C.P. Amparo García*, por permitirme entrar en su hogar. Agradezco la oportunidad que me dieron de conocer el bello lugar donde realicé este proyecto, el cariño y confianza que me dieron al abrirme las puertas de su casa y familia.

A mis viejas: *Diana Flores*, *Mony Pérez* y *Mony Rodríguez*, por ser grandes compañeras, consejeras, amigas y hermanas. Les agradezco todos los momentos de alegría, desvelos, fiesta, viajes, todo lo que nos hizo crecer y madurar juntas. ¡Las quiero mucho!, ha sido un gran placer compartir esta gran aventura con ustedes.

A *Rodrigo Gutiérrez*, por hacer de mi vida un gran sueño. Gracias por tu amor, tiempo y apoyo a lo largo de estos años, por enseñarme a enfrentar y a disfrutar situaciones nuevas para crecer y ser mejor persona cada día. Gracias por creer en mí y nunca descuidarme. Tus consejos, motivación y compañía han sido muy importantes para mí.

A mis grandes amigas *Estefanía González* y *Adriana Esparza*, que durante años y a pesar de la distancia que a veces nos separa, han llenado mi vida de sonrisas, amistad, locura, amor y diversión.

A todos *mis amigos de la Facultad de Ingeniería*: Marcos Corro, Miguel Cruz, Héctor Pale, Carlos Correa, Javier Villegas, Paco Ruíz, Alonso Barriga, Marcelo Godefroy, Saúl Solís, Felipe Mitre, Osvaldo Álvarez, Arturo Morales, Paris Urban (†); a las Ultramáficas: Aura, Alba, Marlene, Claudia y Nancy. Gracias a todos por los grandes momentos, logros y sonrisas que compartimos a lo largo de la carrera.

Quiero agradecer a *mis amigos y maestros: Ángeles Verde, Betania Palacios y Fernando Núñez*, porque aportaron muchísimo a este proyecto, gracias por compartir conmigo su pasión por la Geología. Ustedes han hecho que el aprendizaje sea una experiencia muy divertida y grata.

A *toda la banda que conocí en el Instituto de Geología*: Caro, Marcela, Bernardo, Mario, Fabián, Edith, Sandra, Rafael, Gonzalo. Por su gran amistad, enseñanzas y compañerismo. Les agradezco por todos los momentos que compartimos dentro y fuera del Instituto.

También quiero agradecer a *Hilda López Soria*, porque gracias a su paciencia y tiempo logramos terminar este proyecto. Le agradezco todo el apoyo, ánimos y sonrisas que me brindó durante todo este tiempo. Gracias por ser amiga.

Infinitamente gracias a todos,

Mildred del C. Zepeda Martínez.

## Resumen

La Sierra del Tentzo se localiza en la parte central del estado de Puebla, México, para este trabajo se consideró como área de estudio la parte oriental de esta sierra, encontrándose en el límite de las provincias geológicas Mixteca y Faja Volcánica Transmexicana.

Se llevó a cabo una cartografía a detalle, y con base en las observaciones litológicas, petrográficas, sedimentológicas y paleontológicas, se reconocen cinco unidades planteadas en dos columnas estratigráficas: como basamento Paleozoico el Complejo Acatlán, y como cubierta sedimentaria a la Formación Agua del Cordero (Barremiano-Aptiano), Tecali (Albiano-Cenomaniano), Tentzo (Albiano-Cenomaniano) y Chiapa (Cenomaniano-Santoniano). Se plantea un escarpe asociado a una falla sinsedimentaria (Falla Grande) para el momento del depósito de la Formación Tecali.

El estudio sedimentológico detallado de dichas formaciones permite identificar seis facies principales y cuatro asociaciones de facies. Dichas asociaciones refieren un ambiente de depósito de talud para la Formación Tecali y para la formación Chiapa un ambiente de mar abierto.

Se reconocen ocho icnogéneros en la Formación Tecali, desde *Thalassinoides* hasta *Nereites*, sugiriendo las paleobatimetrías desde una zona sublitoral hasta una abisal. De acuerdo con el análisis composicional realizado a las areniscas de la formación Tecali, esta unidad se conforma por calcarenitas y areniscas híbridas, las cuales corresponden a una procedencia de bloques continentales lo que ubica a esta cuenca en un ambiente de extensión o *rift*.

La estratigrafía del área de estudio registra la transición de un ambiente continental a marino somero, pasa por un ambiente arrecifal hasta llegar a un ambiente de mar abierto, todo esto dentro del marco tectonoestratigráfico de la apertura del Golfo de México, siendo esta cuenca la que se ubica más al noroeste durante el Cretácico Inferior.

Posteriormente se plantea una reactivación de la Falla Grande como la Cabalgadura del Tentzo, esto debido al sistema de Fallas Papalutla activo durante la Deformación Larámide. Y finalmente en el Cenozoico la reactivación de las fallas originó depósitos lacustres y continentales.



## Abstract

The studied area is known as the Tentzo Range, and is located in central Puebla State, Mexico. This range is the limit between the Mixteca and Trans-Mexican Volcanic Belt Geological provinces.

The area was mapped in detail and lithological, petrographical, sedimentological and paleontological data were collected from the area. Results allow me to propose a division in five lithostratigraphic units, based on two stratigraphic columns, that are: Acatlán Complex (Paleozoic basement), Agua del Cordero Formation (Barremian-Aptian), Tecali (Albian-Cenomanian), Tentzo (Albian-Cenomanian) and Chiapa (Cenomanian-Santonian). A slope associated to a sedimentary fault (Falla Grande) is proposed at the time the Tecali Formation was deposited.

Six main facies and four facies associations were determined based on sedimentological observations. They are interpreted as deposits in different depositional environments: The Tecali Formation was deposited in a slope-environment, whereas the Chiapa formation was deposited in an open ocean environment.

Eight ichnofacies are recognized in Tecali Formation, that range from *Thalassinoides* to *Nereites*, suggesting paleo-bathymetries from sub-littoral to abyssal zone. According to the sandstones compositional analysis, this unit is formed by calcarenites and hybrid sandstones, which correspond to a continental block provenance, and is apparently associated with a rift or extensional environment.

The stratigraphy of the study area records the transition from a continental to shallow marine environment, through a reef to an offshore environment, all within the tectonostratigraphic framework of the Opening of the Gulf of Mexico. The age of the studied rocks correspond, to Early Cretaceous, and deposition was extended toward the northwest. Rocks were first folded and thrust toward the northeast during the end of the Cretaceous, and the Falla Grande Fault suffer strong deformation and thrusting. After that, the Falla Grande fault was reactivated due to the Papalutla fault system, active during Laramide deformation. Finally during Cenozoic there were normal and strike slip faults reactivation allowing sedimentary basins to form, and continental and lacustrine environments formed.



## Contenido

■ <b>Resumen</b>	i
■ <b>Abstract</b>	ii
■ <b>Capítulo I. Introducción</b>	<b>1</b>
I.1 Localización y vías de acceso	1
I.2 Fisiografía y Geomorfología	3
I.3 Antecedentes del área de estudio	4
I.4 Planteamiento del problema	7
I.5 Objetivos	7
I.6 Metodología de trabajo	8
■ <b>Capítulo II. Marco geológico regional</b>	<b>10</b>
II.1 Estratigrafía Regional	10
II.2 Geología Estructural Regional	12
II.3 Evolución tectónica	14
■ <b>Capítulo III. Resultados.</b>	<b>17</b>
III.1 Estratigrafía del área de estudio	17
■ <b>Capítulo IV. Asociaciones de facies e Interpretación del ambiente de depósito.</b>	<b>36</b>
IV.1 Análisis de facies sedimentarias	36
IV.1.1 Facies sedimentarias	37
IV.1.2 Asociaciones de facies	43
IV.1.3 Paleoambiente de depósito	53
IV.2 Análisis composicional de areniscas	54
IV.3 Icnofacies	57
■ <b>Capítulo V. Geología estructural del área</b>	<b>66</b>
■ <b>Capítulo VI. Discusión</b>	<b>69</b>
VI.1 Ambientes de depósito	69
VI.2 Procedencia de la Formación Tecali	71
VI.3 Evolución tectonoestratigráfica de la Sierra del Tentzo	75
■ <b>Conclusiones</b>	<b>77</b>
■ <b>Referencias</b>	<b>79</b>
<b>Apéndice A. Petrografía</b>	<b>85</b>
<b>Apéndice B. Contenido Microfaunístico</b>	<b>127</b>

**Anexo: Mapa Geológico de la Sierra del Tentzo, Puebla. Escala 1:25000**



## Capítulo I Introducción

### I.1 Localización y vías de acceso.

El área de estudio se ubica en la parte central del estado de Puebla, aproximadamente a 55 km al sureste de la ciudad Heroica Puebla de Zaragoza, entre los municipios de Tecali de Herrera, Tzicatlacoyan, Atoyatempan y San Juan Atzompa (Figura 1).

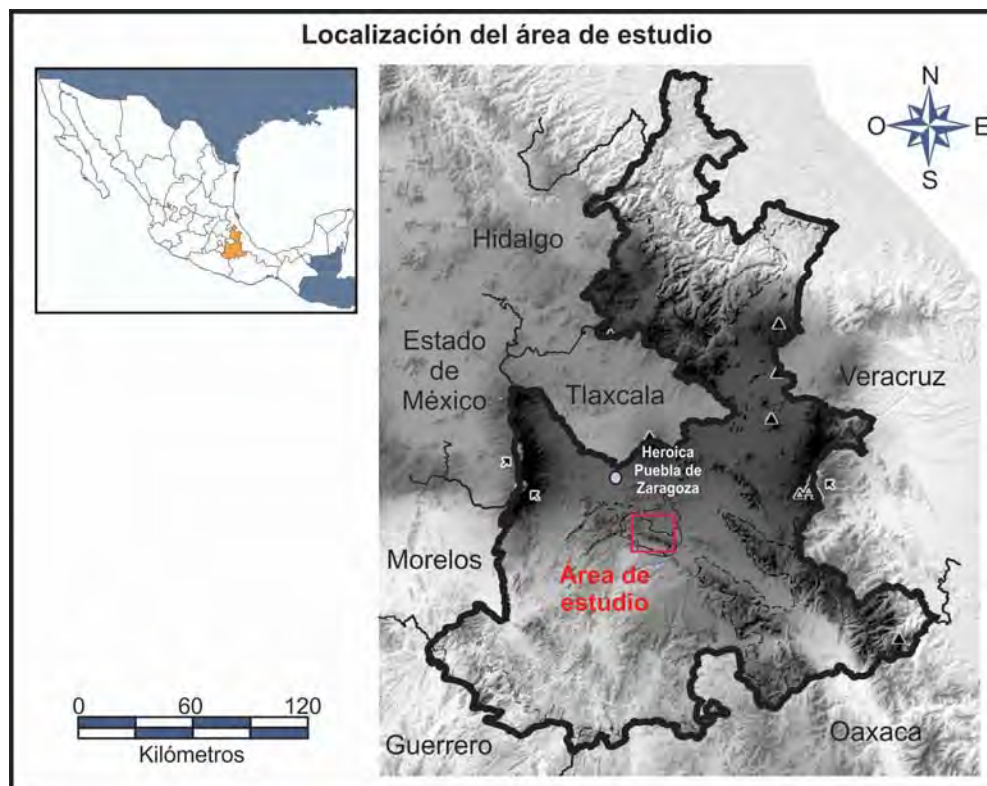


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

Las hojas topográficas E14B54 Tepeaca y E14B53 San Francisco Totimehuacán, del estado de Puebla, publicadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) comprenden el área de estudio, la cual se encuentra limitada por las coordenadas geográficas  $18^{\circ}55'$  a  $18^{\circ}45'$  latitud norte y  $98^{\circ}08'$  a  $97^{\circ}54'$  longitud oeste y abarca un área aproximada de  $187 \text{ km}^2$ .

En el área cartografiada se encuentran los poblados de Tecali de Herrera, Acuexcomac, Tzicatlacoyan, San Antonio Juárez, San Nicolás Huajuapán y San Juan Atzompa (Figura 2).

El acceso al área de estudio es por la carretera federal 150D Puebla-Orizaba, partiendo de la ciudad Heroica Puebla de Zaragoza rumbo a Tepeaca, y





posteriormente se toma la carretera estatal Tepeaca-Tecali de Herrera; o al norte de la presa Valsequillo, por la carretera a Los Cantiles que va directamente a Tecali de Herrera. Actualmente existen brechas transitables que facilitan el acceso a la parte occidental de la sierra, el acceso al lado oriental del Tentzo sólo es posible por la carretera que va de Tecali de Herrera a Atoyatempan. Para acceder a la parte norte es necesario ingresar por las brechas del poblado San Antonio Juárez y para la parte sur por la brecha que va de San Nicolás Huajuapan a San Juan Atzompa (Figura 2).

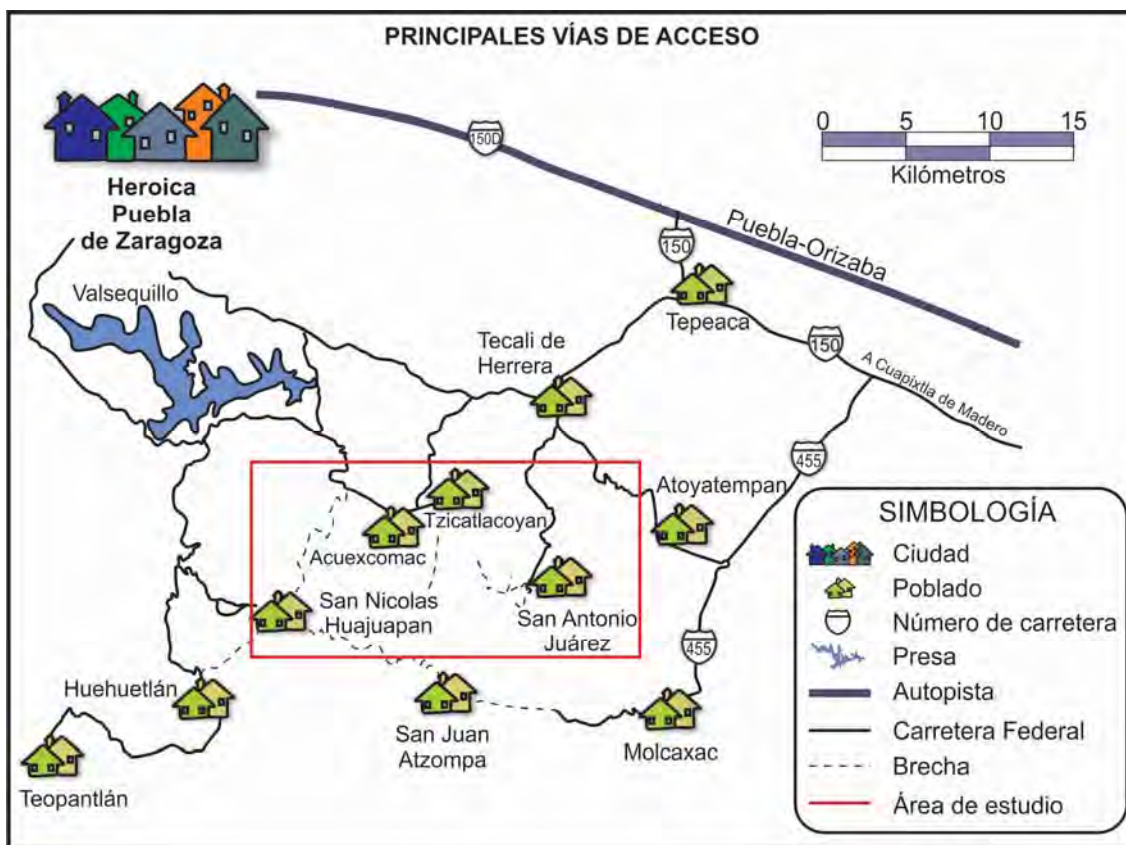


Figura 2. Principales vías de acceso en el área de estudio.



## I.2 Fisiografía y Geomorfología

La Sierra del Tentzo se ubica en el límite de las provincias geológicas Mixteca y Faja Volcánica Transmexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992) y, fisiográficamente, en los límites del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (figura 3), entre las subprovincias *Lagos y Volcanes de Anáhuac* y *Sur de Puebla* (INEGI).

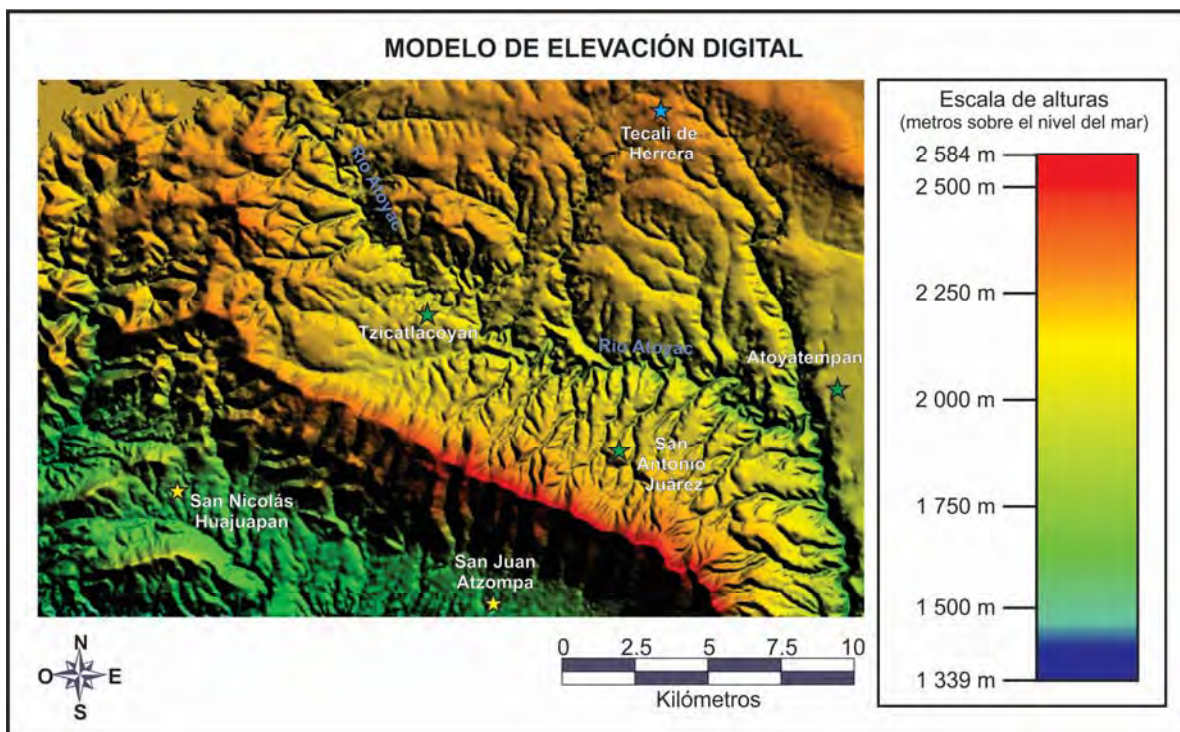


Figura 3. Mapa de las Provincias Fisiográficas de México. 1) Península de Baja California; 2) Llanura de Sonora; 3) Sierra Madre Occidental; 4) Sierras y llanuras del Norte; 5) Sierra Madre Oriental; 6) Grandes Llanuras de Norteamérica; 7) Llanura Costera del Golfo del Norte; 8) Llanura Costera del Pacífico; 9) Mesa del Centro; 10) Eje Neovolcánico; 11) Sierra Madre del Sur; 12) Llanura Costera del Golfo Sur; 13) Península de Yucatán; 14) Sierras de Chiapas y Guatemala; 15) Cordillera Centroamericana. El área de estudio se encuentra señalada con una estrella roja. Mapa modificado del INEGI.

Los picos Cerro Grande y Cerro Yololpa, son la mayor elevación de la Sierra del Tentzo, esta zona posee barrancas de profundidades considerables que aumentan hacia el oriente; mientras que el poniente de la zona de estudio se encuentra dominado por mesetas y barrancas de muy poca profundidad (Figura 4).

La Sierra del Tentzo es drenada por numerosos arroyos intermitentes que vierten sus aguas al río Atoyac. El drenaje del área tiene una densidad media-alta y presenta una configuración dendrítica subparalela, ésta última con orientación primordial NE-SW, siendo perpendicular a la orientación de la Sierra del Tentzo (Figura 4),





*Figura 4. Modelo de elevación digital de la zona de estudio.*

### I.3 Antecedentes del área de estudio

La Sierra del Tentzo es un área donde no se ha llevado a cabo un estudio geológico completo ni detallado, en algunos trabajos regionales o en zonas aledañas a ésta sólo se menciona a la Sierra del Tentzo de una forma muy generalizada. Los únicos trabajos que se han realizado en la zona de estudio se describen a continuación:

Padilla y Sánchez (1973), en su tesis de licenciatura realizó por primera vez la descripción de las unidades litológicas y la cartografía del área de estudio a escala 1:50,000. En este primer trabajo de la Sierra del Tentzo se propuso una columna estratigráfica con base en las características litológicas y contenido fósil, y se correlacionaron las unidades descritas en el área de estudio con unidades Cretácicas que afloran al este y suroeste de la Sierra del Tentzo, entre ellas la Formación Orizaba, Formación Maltrata y Formación Mexcala, y una unidad Cenozoica correlacionada con el Grupo Balsas (Figura 5). En este mismo trabajo el autor infirió un ambiente de depósito para cada una de ellas y menciona que existen trabajos previos cuya información es confidencial ya que fueron realizados por instituciones oficiales y por lo tanto no son de acceso público.



Monroy y Sosa (1984) describen para el área de estudio, diez unidades estratigráficas desde el basamento cristalino del Paleozoico Temprano hasta rocas volcánicas del Cuaternario, abarcando rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Figura 5) y presentan una nueva carta geológico-estructural de la Sierra del Tentzo a escala 1:2,500. Dividen estructuralmente a la Sierra del Tentzo en dos sectores de acuerdo a la vergencia de sus estructuras: el sector oriental con una dirección NW-SE y el sector occidental NE-SW. Adicionalmente, determinan que la configuración geomorfológica-estructural de la Sierra del Tentzo depende de la disposición del basamento en el tiempo del depósito de la columna sedimentaria mesozoica y del resultado de los esfuerzos laramídicos que afectaron al Sur de México. Dichos autores proponen una columna estratigráfica compuesta, de base a cima, por: 1) el Complejo Acatlán, 2) un paquete de conglomerados y areniscas continentales dividida en unidad A y unidad B, 3) a la unidad definida por Padilla y Sánchez (1973) como Formación Orizaba, la dividen en calizas de cuenca y calizas de plataforma, sin asignarle un nombre formacional, 4) a la Formación Maltrata de Padilla y Sánchez (1973), le denominan Formación Cuautla y 5) a la unidad clástica más joven también la describen como Formación Mexcala. En cuanto a las rocas cenozoicas, las subdividen en cuatro unidades: Formación Balsas, Rocas Ígneas, Depósitos Lacustres de Tlaxcala y Grupo Chichinautzin.

En ambos trabajos previos se considera que las rocas sedimentarias mesozoicas corresponden a depósitos cretácicos:

Monroy y Sosa (1984) reportan para el área de estudio una sucesión de areniscas y conglomerados continentales de este periodo. Ellos dividen esta unidad en dos, por evidencia micropaleontológica asignan una edad de Barremiano- Aptiano para la cima de esta unidad y para su base Cretácico Inferior, por su relación estratigráfica concordante con la unidad superior; se asoció con el inicio de una sedimentación deltaica cambiando de terrígena a calcárea con abundante microfauna de ambientes de planicies costeras someras. Padilla y Sánchez (1973) considera que estas capas rojas pertenecen a la Formación Mexcala, sin presentar ninguna evidencia para esta correlación estratigráfica.

La edad propuesta por Padilla y Sánchez basada en su contenido fósil para la Formación Orizaba es Aptiano Superior-Cenomaniano y propuso un ambiente marino somero para su depósito; dicha edad fue corroborada por Monroy y Sosa en 1984 que para las calizas de cuenca asignan la edad de Aptiano Superior, mientras que para las calizas de plataforma Albiano-Cenomaniano. Dichas edades son determinadas por la coexistencia de diferentes foraminíferos.



Para la Formación Maltrata, Padilla y Sánchez (1973) asigna una edad Turoniana de acuerdo con la definición anteriormente hecha por PEMEX y por la correlación estratigráfica con las formaciones Agua Nueva, Cuautla y Guzmantla, para esta unidad estratigráfica no realizó ningún estudio de microfauna y sugirió un ambiente de plataforma para esta formación. Por otro lado, Monroy y Sosa (1984) consideran esta unidad un equivalente lateral de la Formación Cuautla, y con base en su contenido micropaleontológico, coinciden con la edad asignada anteriormente por Padilla y Sánchez *op. cit.*

Sobreyaciendo a esta unidad calcárea se encuentra una intercalación de areniscas y lutitas, que Padilla y Sánchez (1973) y, Monroy y Sosa (1984), correlacionan con la Formación Mexcala, asignándole una edad de Coniaciano-Santoniano (Fries, 1960).

**TRABAJOS PREVIOS**

Era	Periodo	Época	Piso	Padilla y Sánchez (1973)	Monroy y Sosa (1984)
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno		Aluvión	Grupo Chichinautzin
		Pleistoceno			
	Neógeno	Plioceno		?	Sedimentos Lacustres de Tlaxcala
		Mioceno		?	Rocas igneas
	Paleógeno	Oligoceno			Grupo Balsas
		Eoceno			
Paleoceno					
Mesozoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiano		
			Campaniano		
			Santoniano	Fm Mexcala	Fm Mexcala
			Coniaciano		
			Turoniano	Fm Maltrata	Fm Cuautla
		Inferior	Cenomaniano	Fm Orizaba	Calizas de plataforma
			Albiano		Calizas de cuenca
			Aptiano		Unidad B
			Barremiano		Capas Rojas
			Hauteriviano		Unidad A
	Jurásico				
		Triásico			
	Paleozoico				Complejo Acahlan



No aflora 
                         
 Erosión o No depósito 

Figura 5. Tabla de correlación estratigráfica con base en las columnas estratigráficas propuestas en trabajos anteriores.



## **I.4 Planteamiento del problema**

Gran parte del país carece de una cartografía a detalle y bien definida, éste es el caso de la Sierra del Tentzo, donde los trabajos previos no llevaron a cabo una descripción detallada de las formaciones, por no ser su objetivo principal y por ser trabajos de carácter regional.

Los trabajos previos de la zona de estudio fueron realizados hace 39 y 28 años (Padilla y Sánchez, 1973 y, Monroy y Sosa, 1984, respectivamente), época donde el mayor problema en el manejo estratigráfico consistía en fusionar o extender la nomenclatura litoestratigráfica con apenas un ligero parecido entre las unidades en cuestión. Actualmente, no basta sólo con nombrar a las unidades litoestratigráficas, es necesario una descripción y análisis detallado de éstas para poder llegar a una mejor interpretación de depósito y paleogeografía, de esta forma se llegará a una mejor comprensión de la historia geológica de una región.

Por otro lado, las columnas estratigráficas propuestas en los estudios previos contienen inconsistencias; Padilla y Sánchez (1973), propone tres unidades cretácicas y una cenozoica; mientras que Monroy y Sosa (1984), proponen una estratigrafía compuesta por una unidad Paleozoica como basamento, cinco unidades Cretácicas y cuatro correspondientes al Cenozoico. Por esta razón, se requiere una descripción más detallada de la estratigrafía de la zona.

En el presente trabajo se realiza un estudio estratigráfico detallado basado en la descripción de facies, definidas a partir del registro cuidadoso de los atributos y rasgos geológicos de las rocas y del levantamiento de columnas detalladas, con el objetivo de aportar nuevos conocimientos para mejorar las interpretaciones de la evolución geológica de la región.

## **I.5 Objetivos**

- Elaborar un mapa geológico escala 1:25,000 de la Sierra del Tentzo.
- Realizar una sección geológica representativa que ayude a comprender las características estructurales de la Sierra del Tentzo.
- Definir la estratigrafía de la zona de estudio con base en el análisis de facies.
- Interpretar un ambiente de depósito para cada una de las formaciones descritas.
- Proponer un modelo de sedimentación del área de estudio.



## I.6 Metodología de trabajo

### ● **Recopilación bibliográfica**

Se llevó a cabo la recopilación y síntesis de trabajos de geología del área de estudio, entre los cuales se reunieron los mapas geológicos del SGM escala 1:250,000 donde el área de estudio cubre el cuadrante oriental de la carta de Cuernavaca E14-5 (1999) y el cuadrante occidental de la carta Orizaba E14-6 (2001), así como los trabajos y mapas geológicos de Padilla y Sánchez (1973), Monroy y Sosa (1984) y Silva-Romo (2010). En la búsqueda de información también se obtuvieron las bases topográficas E14B54 Tepeaca y E14B53 San Francisco Totimehuacán, del estado de Puebla, publicadas por el INEGI. También se obtuvieron las fotografías aéreas de la zona, publicadas por la misma institución, para la elaboración del mapa fotogeológico preliminar; se utilizaron las fotografías correspondientes a las líneas 172, 173 y 174, fotos 1 a la 3, 1 a la 4, y 1 a la 5, respectivamente, todas ellas escala 1:75,000. De igual forma se consultaron las fotografías aéreas publicadas por la Compañía Mexicana de Aerofoto, S. A.: fajas 35, 36 y 37, fotos 1 a la 4, 6 a la 10 y 2 a la 6, correspondientemente, éstas a escala 1:60 000 y la faja 27, fotografías de la 5 a la 7, escala 1:50,000.

### ● **Cartografía geológica**

El trabajo de campo cubrió un total de 29 días en tres campañas, éste consistió en el reconocimiento de las unidades litológicas presentes en el área de estudio, describiéndose detalladamente afloramientos, litologías, estructuras sedimentarias, relaciones de contacto, rasgos estructurales y columnas estratigráficas; llevando un estricto control con receptor GPS de la ubicación de cada característica antes mencionada, además del registro de algunas muestras colectadas dentro de las columnas estratigráficas medidas.

### ● **Trabajo de gabinete**

La reinterpretación de las fotografías aéreas se realizó para concluir el mapa geológico elaborado en campo y, posteriormente con las coordenadas obtenidas con el receptor GPS se elaboró un mapa geológico en el software ArcGIS 9.2.

Las muestras de mano colectadas fueron descritas detalladamente, se seleccionaron muestras representativas para su posterior laminación y análisis petrográfico. Las láminas delgadas de las muestras seleccionadas se elaboraron en el taller de laminación del Instituto de Geología.



Se llevó a cabo el análisis petrográfico de 42 láminas delgadas para el planteamiento de hipótesis de su ambiente de depósito, 5 de ellas se utilizaron para su análisis modal con el objetivo de definir su ambiente tectónico y corroborar la procedencia de esta unidad litológica.

De las láminas analizadas, se seleccionaron las que presentaban el contenido fosilífero adecuado para su determinación de edad, la Dra. María del Carmen Rosales-Domínguez analizó y determinó dicho material paleontológico.

La información recabada durante todo el proceso de esta investigación fue procesada, analizada, digitalizada e interpretada para la redacción de la tesis, elaboración del mapa geológico y de la sección estructural.





## Capítulo II. Marco geológico regional

### II.1 Estratigrafía Regional

En este capítulo se expone un resumen de la geología cercana a la zona de estudio, algunas formaciones mencionadas no afloran en la zona estudiada, pero se incluyeron con el objetivo de tener una visión más amplia de la estratigrafía y tectónica de la región.

La sierra del Tentzo se sitúa dentro del Terreno Tectonoestratigráfico Mixteco (Campa y Coney, 1983; Sedlock *et al.*, 1993) (Figura 6); éste consta del Complejo Acatlán como basamento, y su cubierta sedimentaria Paleozoica y Mesozoica que difiere de las columnas de los terrenos circundantes, además de las unidades Cenozoicas de traslape, comunes a todos los terrenos del Sur de México. El Complejo Acatlán está formado por rocas metasedimentarias, metavolcánicas, metagranitos y cuerpos ofiolíticos, presentándose en facies de esquisto verde, eclogitas y anfibolitas según la unidad a la que corresponden y cuyas edades abarcan del Ordovícico al Pérmico (Ortega-Gutiérrez, 1981; Ruiz *et al.*, 1988; Yañez *et al.*, 1991, Ortega *et al.*, 1999, Keppie *et al.*, 2004).

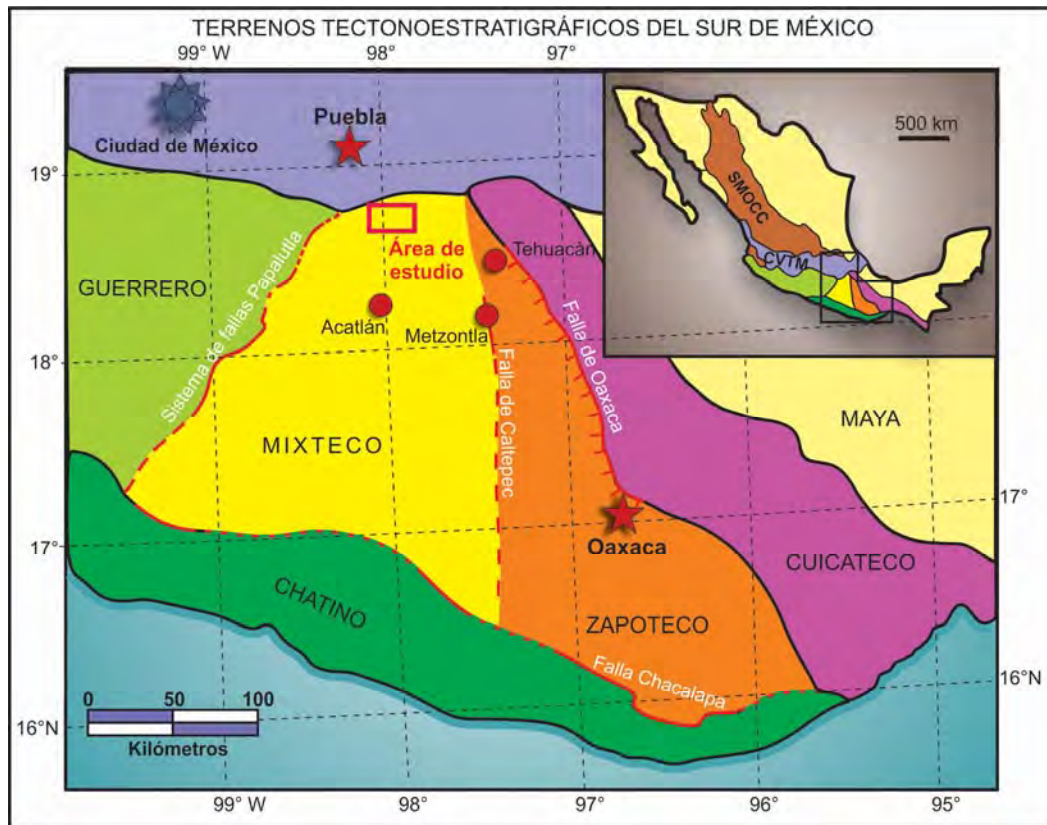


Figura 6. Ubicación del área de estudio en mapa de Terrenos Tectonoestratigráficos del Sur de México. (SMOCC: Sierra Madre Occidental; CVTM: Cinturón Volcánico Trans-Mexicano) Modificado de Ortega-Gutiérrez, 1999.



En la región de Los Reyes Metzontla, al sur del Estado de Puebla y al este-sureste del área objetivo del presente estudio se ha reportado que sobreyaciendo discordantemente al Complejo Acatlán se encuentra la Formación Matzitzi (Calderón-García, 1956; Aguilera, 1896; Centeno-García *et al.*, 2009). Esta formación se compone de una sucesión clástica formada en su mayoría por areniscas que van de arcosas, subcuarzoarenita a litarenita; y en menor cantidad lutita, lodolita carbonosa, arenisca conglomerática y conglomerado, con una gran diversidad de plantas fósiles, además de un (o una serie) de flujo(s) piroclástico(s) intercalado de composición félsica denominada Toba Atolotitlán (Centeno-García *et al.*, 2009). Se ha asignado una edad Pérmica para esta sucesión clástica (Weber *et al.*, 1987; Magallón-Puebla, 1991; Centeno-García *et al.*, 2009) y un ambiente de sedimentación fluvial (Centeno-García *et al.*, 2009).

En la misma zona la sucesión clástica pérmica está cubierta discordantemente por capas rojas constituidas por una alternancia de conglomerados, areniscas cuarzo feldespáticas (Calderón-García, 1956), que Morán-Zenteno *et al.* (1993) les asignó una edad del Jurásico por su posición estratigráfica y su semejanza litológica con las rocas que afloran en las localidades cercanas en Huajuapán de León y Santo Domingo Tianguistengo.

Posteriormente se depositó una segunda sucesión de capas rojas que cambia transicionalmente a areniscas y lutitas con intercalaciones de bancos calcáreos, que reciben distintos nombres según la localidad, y que sobreyacen a las sucesiones Jurásicas. Con base en su contenido fósil a estas unidades se les ha dado un rango de edad Barremiano-Aptiano (Alencaster, 1956; Reyerros-Navarro, 1963; De Cserna, 1970; Buitrón-Sánchez y Barceló-Duarte, 1980; Hernández-Láscares y Buitrón-Sánchez, 1992, Mendoza-Rosales, 2010). Por su litología y estructuras primarias se infiere que estas unidades se depositaron principalmente en un ambiente marino somero. En la Cuenca de Zapotitlán, dichas rocas se agrupan bajo los nombres de formaciones San Juan Raya y Zapotitlán del Barremiano-Aptiano.

Gruesos paquetes de calizas cubren de manera concordante las rocas clásticas en la región de Tehuacán. Dichos paquetes calcáreos corresponden con la Formación Miahuatepec del Aptiano. Mendoza-Rosales (2010) reporta que en el área de Tehuacán las relaciones estratigráficas están ocultas por la deformación, ya que las rocas clásticas están en contacto con la Formación Miahuatepec por una superficie de *detachment*; sin embargo la misma autora considera que el límite inferior de dichas calizas es transicional, ya que anteriormente se han reportado al poniente de la zona, paquetes de turbiditas siliciclásticas que cambian gradualmente a las turbiditas calcáreas de la Formación Miahuatepec. En otras localidades, como en la región de



Zapotitlán, las sucesiones calcáreas de la Formación Cipiapa con edad Albiano-Cenomaniano, descansan sobre capas rojas de las formaciones San Juan Raya y Zapotitlán de manera discordante.

En el área de Orizaba-Córdoba, el depósito calcáreo compuesto por las formaciones Orizaba, Guzmantla y Atoyac constituido por calizas cretácicas arrecifales sobreyacen a las secuencias de areniscas y conglomerados del Jurásico de la Formación Todos Santos (González-Alvarado, 1976; Ortuño-Arzate *et al.*, 2003; citados por Mendoza-Rosales, 2010). Este paquete calcáreo también se encuentra en contacto por cabalgadura con las formaciones Maltrata, San Felipe y Méndez del Cretácico Superior.

Las rocas del Cenozoico, formadas por muy diversas unidades cenozoicas depositadas en ambientes continentales, cubren de manera discordante a las unidades descritas anteriormente, en estas se pueden diferenciar rocas volcánicas, depósitos lacustres, fluviales, aluviales, paleosuelos y suelos recientes.

## II.2 Geología Estructural Regional

A continuación se presenta una breve descripción de las estructuras regionales mayores cercanas al área de estudio.

### Sistema de Fallas Papalutla.

Este sistema de fallas es un rasgo estructural mayor con rumbo general noreste-suroeste que va de Acapulco, Guerrero hasta Jalapa, Veracruz (Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2009). Sedlock *et al.* (1993) propusieron que esta estructura es el límite entre los terrenos Mixteco y Náhuatl. La falla Papalutla también es considerada como el límite de las provincias geológicas Plataforma Guerrero-Morelos y Mixteca (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

Cabe mencionar que el basamento de la Plataforma Guerrero-Morelos no se encuentra expuesto, sin embargo, los datos presentados por Levresse *et al.* (2007) sugieren que por lo menos para una parte de esta plataforma se puede inferir un basamento muy parecido al Complejo Acatlán.

La falla Papalutla se ha interpretado como una discontinuidad mayor que se extiende hacia el noreste hasta Veracruz (Silva-Romo, 2008). Funcionó como una falla de desgarre que delimita el extremo noroeste de las cabalgaduras del frente tectónico sepultado durante la deformación Laramídica (Silva-Romo, 2008). Finalmente, durante el Cenozoico se comportó como una falla lateral izquierda que involucró al basamento, y produjo cuencas trascurrentes con escalonamiento a la izquierda, y donde el escalonamiento fue a la derecha, generó fallas inversas (Silva-Romo, 2010).



### **Fallas y plegamientos contiguos.**

La Sierra del Tentzo se puede dividir en dos sectores, el sector oriental que abarca la zona objetivo de este trabajo, en la cual los ejes de plegamiento principalmente se encuentran orientados NW-SE y, la zona occidental se encuentran el Anticlinal y Sinclinal denominados San Bartolo, el Anticlinorio de San Diego y el Anticlinal de Teyuco, cuyos ejes axiales siguen una orientación NE-SW principalmente. Dichos sectores se encuentran separados por fallas de tipo lateral, que Monroy y Sosa (1984) reportan con una dirección NW-SE, y denominan como la Falla el Pithayo, Falla La Fábrica y Falla Huehuetlán que se ubican en la parte central de la Sierra del Tentzo.

En la carta estructural de los mismos autores se observa que el contacto oriental del basamento Paleozoico y las capas rojas del Cretácico Inferior es por cabalgadura en forma de escamas, hacia el sur de los poblados San Nicolás Huajuapán y Sta. Martha Yancuitalpan, y entre las escamas tectónicas se presentan pequeñas fallas laterales dextrales. Por otro lado, hacia el sector occidental, la sucesión sedimentaria de capas rojas sobreyace concordantemente a los esquistos del Complejo Acatlán y únicamente presenta algunas fallas normales hacia el noroeste del poblado Santiago Teopantlán.

### **Falla y pliegues de la Sierra del Tentzo**

Monroy y Sosa (1984) describen el sinclinal del Tentzo en la cúspide de dicha sierra, tiene una dirección axial NW-SE al igual que el anticlinal que lleva el mismo nombre, dichas estructuras están reportadas con una longitud aproximada de 12 km.

El anticlinal del Tentzo es un pliegue recumbente, su plano axial se descansa hacia el norte y el sinclinal es un pliegue asimétrico-isópaco. Ambos se encuentran dentro de las calizas que conforman a la sierra.

Los mismos autores nombran como Falla del Tentzo a la falla inversa ubicada en el sector oriental de la sierra, describen al plano de falla con una orientación NW-SE, ellos mencionan que dicha falla está definida por el cabalgamiento de las sucesiones calcáreas sobre la sucesión clástica en la cara norte de la sierra.



### II.3 Evolución tectónica

Aunque existe información estratigráfica referente al Terreno Mixteco, hay muchos problemas de interpretación para ciertas formaciones debido a la falta de información sedimentológica detallada; por esta situación, la evolución geológica del sur de México ha sido objeto de muchas y diversas discusiones. A continuación se describe de una forma generalizada la evolución geológica regional.

**Paleozoico:** El Complejo Acatlán, ha sido interpretado como el producto de la deformación y polimetamorfismo por colisión continental originado por las diversas interacciones entre Gondwana y Laurentia, antes y durante el ensamble de Pangea (Ortega-Gutiérrez et al., 1999; Keppie *et al.*, 2004).

A pesar de que el espesor del complejo puede ser más de 15 km, no se puede medir por la intensa deformación que posee; su estratigrafía se ha subdividido de acuerdo al estilo y número de eventos de deformación en los Subgrupos Petlalcingo y Acateco, la Formación Tecomate, Tronco de Totoltepec y los intrusivos San Miguel (Yañez et al., 1991), que a continuación se describen:

1) Subgrupo Petlalcingo, distinguido por metamorfismo de alta temperatura-moderada presión: Formaciones Cosoltepec, Chazumba y Migmatita Magdalena (recientemente propuestas como parte del Complejo Ayú del Jurásico Medio por Helbig et al., 2012), en este subgrupo se emplazaron los Intrusivos San Miguel. 2) Subgrupo Acateco, caracterizado por metamorfismo de alta presión, incluye a las Formaciones Xayacatlán y los Granitoides Esperanza. 3) Las Formaciones Tecomate, Tronco de Totoltepec y los Intrusivos San Miguel son las unidades con menor grado de metamorfismo.

#### **Mesozoico.**

**Jurásico:** Las rocas Mesozoicas más antiguas expuestas en el Terreno Mixteco consisten en conglomerados continentales del Jurásico Temprano. En la zona de Tezoatlán de Segura y Luna, en el estado de Oaxaca esta sedimentación se encuentra representada por las Formaciones Rosario, el Conglomerado de Cualac y el Grupo Tecocoyunca Inferior (Morán-Zenteno *et al.*, 1993), éstas dos últimas se han interpretado como un depósito contemporáneo y como un cambio de facies lateral. Después de un episodio de levantamiento largo con una intensa erosión del basamento metamórfico, en la región este del terreno Mixteco ocurre el depósito de las capas rojas contemporáneo a una fase de tectónica tensional con hundimiento (Morán-Zenteno *et al.*, 1993). Para el Jurásico Medio hay un proceso extensional asociado a la ruptura de Pangea, que fragmentó la corteza continental del sur de México, dando inicio a la apertura del Golfo de México. Asociado a la ruptura de



Pangea, se forma una gran provincia ígnea continental y el desarrollo del Golfo de México se produjo dentro del proceso de *rifting*, a partir de la rotación izquierda del Bloque de Yucatán con respecto a Norteamérica, mientras se separaba Sudamérica de ella (Pindell, 1945, 1994; Marton y Buffler, 1993; Bird *et al.*, 2005, citados por Mendoza-Rosales, 2010).

### **Cretácico:**

Para el Cretácico inferior, en el sur de México se formó un sistema de cuencas extensionales asociadas a la apertura del Golfo, sobre un basamento Precámbrío-Paleozoico adelgazado (Mendoza-Rosales *et al.*, 2010).

La sedimentación del Cretácico Temprano ocurrió de forma independiente y escalonada, en cuencas de medio graben limitadas por fallas normales y transcurrentes (Elías-Herrera *et al.*, 2005, Mendoza-Rosales, 2010) en un régimen extensional. Mendoza-Rosales *et al.*, (2010), mencionan que la sedimentación marina inicia en el oriente, en el bloque que limita al poniente la Falla Oaxaca, mientras tanto en el occidente iniciaba el depósito de sucesiones turbidíticas.

Para el Barremiano se inicia una etapa de volcanismo alcalino submarino intercalado con depósitos de turbiditas siliciclásticas, dicha etapa quedó registrada en la Cuenca de Chivillas (Mendoza-Rosales, 2010). Datos de circones detríticos indican que el pulso final de *rifting* del Golfo de México fue en el Barremiano (Mendoza-Rosales, 2010). Mientras al occidente se desarrollaron ambientes costeros y marinos someros. Globalmente existía una transgresión marina regional, sin embargo en el desarrollo de estas cuencas al occidente las condiciones que imperaban localmente se veían controladas por el aporte de sedimento y por la actividad de fallas sinsedimentarias más que por la misma transgresión.

Para el Cretácico Tardío, durante la deformación Larámide, la región noroeste del Terreno Mixteco estuvo sujeta a erosión y fue el área fuente de los conglomerados en la región de Valsequillo, esta sedimentación estuvo controlada principalmente por el Sistema de fallas Papalutla (Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2008; Silva-Romo, 2010). Durante este periodo, la Falla de Papalutla tuvo una cinemática lateral izquierda e involucró al basamento, y por su arreglo escalonado, produjo cuencas transcurrentes en esa zona con escalonamiento a la izquierda, simultáneamente donde el escalonamiento fue a la derecha, generó fallas inversas (Silva-Romo, 2010).

### **Cenozoico:**

Silva-Romo (2010) en su tesis doctoral hace un análisis de la evolución tectónica de la región durante el Cenozoico:

Durante el Eoceno medio?-tardío, el autor menciona una fase de deformación transcurrente donde discontinuidades preexistentes en el basamento fueron reactivadas y se crearon cuencas delimitadas por fallas laterales.



Para el Eoceno tardío el basamento presentaba extensos afloramientos en el suroeste de la región, y sierras alargadas con orientación SE-NW conformadas por sucesiones mesozoicas ocupaban el área noreste. El mismo autor reporta vulcanismo para este tiempo, el cual produjo brechas volcánicas y flujos de bloques y piroclastos, la fuente de éstos no se conoce con certeza.

A finales del Eoceno la deformación transcurrente cesó, predominó un embalse lacustre en la región y contemporáneamente ocurrió un incipiente vulcanismo explosivo. En el límite Eoceno-Oligoceno tuvo lugar una intensa actividad volcánica silícica explosiva en la región que cesó para el Oligoceno temprano.

Para el Mioceno-Plioceno, el área experimentó un levantamiento que Silva-Romo (2010) asocia al proceso de truncamiento del Sur de México y a la exhumación del Complejo Chatino.



## Capítulo III. Resultados

### III.1 Estratigrafía del área de estudio.

Con base en la cartografía de detalle del área de estudio se propone agrupar las diferentes litologías, en 4 unidades litoestratigráficas correspondientes al Mesozoico y 2 al Cenozoico, ya que cumplen con las características descritas en el código de nomenclatura estratigráfica (Barragan-Manzo *et al.*, 2010). Algunas de estas unidades ya han sido descritas en regiones circundantes, por lo que se propone la extensión de los nombres formacionales al área de estudio. Otras unidades no tienen totalmente las características de las formaciones previamente asignadas para el área de estudio, o bien no se parecen a formaciones descritas en otras áreas cercanas, por lo que en este trabajo se propone separarlas en formaciones nuevas. Al ser el presente un trabajo de tesis, se proponen de manera informal, los nombres correspondientes. A continuación se describen las características generales de cada unidad y al final se discuten las razones por las cuales se proponen los nombres indicados. El detalle sobre las facies que conforman las unidades marinas y su interpretación ambiental se presentan en el Capítulo IV del presente trabajo.

#### **Paleozoico:**

#### **Unidad de Basamento Metamórfico (Complejo Acatlán)**

**Localización y distribución:** Al sur de la zona de estudio se expone el basamento metamórfico, al suroeste de San Nicolás Huajuapán y al noroeste de Atotonilco, cerca de la Barranca Tlameyaya (Figura 7). Aflora desde los poblados de San Miguel Atlapulco y San Nicolás Huajuapán hacia el sur donde los afloramientos poseen una tendencia E-W.

**Litología:** En esta zona el basamento se compone de esquistos de color verde claro, que meteoriza a pardo, con una foliación plegada y segregaciones de cuarzo, además de filitas que van de color verde a rojizo y meteorizan a verde y pardo. En el camino de Atotonilco hacia San Nicolás Huajuapán, se encontraron intercalaciones de mármol y meta-caliza con lutitas de apariencia acerada con intensa deformación.

**Relaciones de contacto:** En el camino que va del poblado de Atotonilco a San Nicolás Huajuapán se observan esquistos verdes pertenecientes al Complejo Acatlán en contacto tectónico con capas rojas, en este afloramiento los esquistos verdes se encuentran cabalgando a estas capas rojas formadas por una intercalación de areniscas y lutitas rojas, observándose en ellas deformación.





En un afloramiento contiguo a la localidad El Pitayo, aflora un contacto estratigráfico discordante, donde las capas rojas descansan discordantemente sobre el basamento.

**Edad:** Por posición estratigráfica y por numerosas dataciones radiométricas, se le ha asignado una edad Pre-Mississippica a este complejo metamórfico (Ortega-Gutiérrez, 1981; Ruiz *et al.*, 1988; Yañez *et al.*, 1991; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999); en el área de estudio se decidió adoptar dicha edad únicamente por correlación estratigráfica.

**Definición:** Por la similitud que guardan estos esquistos con otros afloramientos cercanos descritos como Complejo Acatlán, en el presente trabajo se decidió denominar a estas rocas metamórficas con el mismo nombre. Ortega-Gutiérrez (1978) propuso el nombre de Complejo Acatlán como unidad litoestratigráfica equivalente a grupo para sustituir al de Formación Acatlán propuesto anteriormente por Fries y Rincón-Orta (1965) para describir a las rocas metamórficas expuestas en la Mixteca de los estados de Puebla y noroeste de Oaxaca, donde se encuentra su sección-tipo.



Figura 7. Complejo Acatlán, afloramiento sobre la carretera, al noroeste de Atotonilco.



## Cubierta Sedimentaria Mesozoica:

### Formación Agua del Cordero Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano)

**Localización y distribución:** Esta unidad aflora a lo largo del flanco sur de la Sierra del Tentzo hasta el poblado de San Nicolás Huajuapán, donde descansa discordantemente sobre el Complejo Acatlán, abarcando un área de 40 km<sup>2</sup> aproximadamente. Su espesor no fue calculado por no ser el objetivo del presente trabajo.

**Litología:** La formación Agua del Cordero corresponde a depósitos continentales (capas rojas) y está constituida por areniscas de grano medio a grueso, de clastos subangulosos a angulosos, de coloración pardo-rojiza que meteorizan a pardo, intercaladas con estratos o paquetes de estratos de lutitas de color rojizo que meteorizan a pardo y verde claro (Figura 8), también contiene estratos gruesos de conglomerados, formado por clastos subredondeados a subangulosos de cuarzo y cuarzo metamórfico, líticos volcánicos y metamórficos en una matriz arcillosa rojiza (Figura 8).



Figura 8. Fotografía de afloramiento sobre el camino entre San Nicolás Huajuapán y San Juan Atzompa, donde se aprecia la intercalación de areniscas de color pardo-rojiza con paquetes de lutitas de color rojizo.



En lámina delgada se observó que las areniscas varían composicionalmente de litarenitas a sublitanitas, con tamaño de grano de grueso a medio, pobremente clasificada, con clastos subangulosos a angulosos (apéndice A, muestras T-65 y T-216); hacia la parte superior de la columna, próxima a la Sierra del Tentzo, empiezan a observarse intercalaciones de caliza mudstone y wackestone-packstone (Figura 9), en éstas últimas en lámina delgada se observaron abundantes fragmentos de pelecípodos, frecuentes equinodermos y algunos foraminíferos bentónicos (apéndice A, muestras T-193, T-225 y T-226).



Figura 9. Fotografía tomada sobre la barranca Cerro Grande, al este del Cerro la Mina, donde se puede observar la intercalación de lutitas con calizas (límites indicados con la línea punteada), lo que indica un cambio transicional entre las formaciones Agua del Cordero y El Tentzo. El martillo tiene una longitud de 33 cm.

**Relaciones de contacto:** Las capas rojas de la formación Agua del Cordero sobreyacen discordantemente al Complejo Acatlán en un afloramiento cercano a la localidad El Pitayo, donde una brecha basal se depositó sobre las rocas metamórficas con una geometría de tipo onlap. Al norte del poblado de Atotonilco se observan las capas rojas deformadas y cabalgadas por los esquistos del basamento.

En las cañadas al sur de la Sierra del Tentzo, se observa que esta sucesión clástica cambia transicionalmente a la sucesión calcárea de la formación El Tentzo.

En el camino que va de San Juan Atzompa a Molcaxac, los depósitos del reciente descansan discordantemente sobre las capas rojas de esta formación.

**Edad:** Monroy y Sosa (1984) identificaron en las calizas intercaladas en esta sucesión clástica, abundantes fragmentos de moluscos y microfauna, entre las que se clasificaron al foraminífero *Chofatella decipiens* y al alga *Salpingoporella* sp., ambos de edad Barremiano-Aptiano Inferior.



Durante el trabajo de campo no se encontraron macrofósiles índice completos dentro de esta sucesión, únicamente se observaron en las calizas intercaladas hacia la cima fragmentos de moluscos y de macrofauna indeterminable.

Para el análisis microfaunístico se colectaron tres muestras de las calizas intercaladas con lutitas en la cima de dicha sucesión, dos de ellas al noreste del cerro La Mina (apéndice A, muestras T-225 y T-226) y una al norte de San Nicolás Huajuapán (apéndice A, muestra T-193a), en dichas muestras se determinaron los foraminíferos *Choffatella decipiens*, *Evertiyclammina hedbergi*, *Protopeneroplis* sp., *Pseudocyclammina lituus*, *Cuneolina* cf. *laurentii* y *Cuneolina* spp. y estomiosféridos, esta relación microfaunística nos hace confirmar una edad del Barremiano-Aptiano para estas capas rojas (ver apéndice B).

**Definición:** Monroy y Sosa (1984) las definieron informalmente como Capas Rojas y la describieron como una sucesión continua compuesta por conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas de coloración rojiza con algunos horizontes de caliza con bioclastos y microfósiles. Silva-Romo (2010) las considera como parte de la unidad Agua del Cordero, miembro que pertenece a la Formación San Juan Raya, propuesto informalmente por Calderon-García en 1956. Mendoza-Rosales (2010) en el área de San Juan Raya propone como formación Agua del Cordero a una intercalación de conglomerados y areniscas, con clastos de esquisto verde, granito y cuarzo metamórfico, con intercalaciones de brechas de clastos de esquistos y cuarzo metamórfico procedentes del complejo Acatlán y areniscas conglomeráticas. En el presente trabajo esta intercalación se describió con base en los afloramientos expuestos en el camino que va de la localidad de San Nicolás Huajuapán a San Juan Atzompa y sobre la barrancas de la cara sur de la Sierra del Tentzo, y se propone nombrarla como formación Agua del Cordero ya que corresponde litológicamente y estratigráficamente a lo descrito por Mendoza-Rosales (2010).

## **Formación El Tentzo**

### **Aptiano superior-Cenomaniano inferior**

**Localización y Distribución:** Esta unidad conforma la parte superior de la Sierra del Tentzo, y el camino que va de San Martín Teteles a San Nicolás Huajuapán. Abarca desde la base del frente sur de la Sierra del Tentzo hasta su cima y las laderas altas de dicha sierra, con una tendencia noroeste-sureste y, desde el suroeste de San José Balvanera hasta el norte de San Nicolás Huajuapán, donde se extiende con una orientación preferencial noreste-suroeste.



**Litología:** En el frente sur de la Sierra del Tentzo hasta su cima se observan estratos tabulares de 30 cm a 2 m de calizas de color gris claro y tonos rosados al fresco, y gris claro a gris oscuro en las superficies meteorizadas (figura 10); al sur del poblado San José Balvanera se observan calizas masivas o en estratos muy gruesos con la misma coloración y alternadas con brechas calcáreas con fragmentos briozoarios (figura 11) en estratos de 20 a 40 cm.

Se identificaron mudstone y wackestone con abundantes foraminíferos, tanto bentónicos como planctónicos, floatstone de muy abundantes bioclastos y brechas intraformacionales de calizas, con fragmentos de gasterópodos, pelecípodos, ostreidos y equinodermos (apéndice A, muestras T-59b, T-73, T-75, T-77, T-128, T-136 y T-305). Las calizas se encuentran en cambio de facies tanto verticales como laterales con las brechas calcáreas, sin tener un patrón regular definido que permita diferenciarlos en la cartografía, por lo cual se agruparon en la misma unidad.

Los estratos se encuentran muy afectados por disolución, por lo que presentan morfologías de tipo lapiaz a la cima de la sierra y sobre el camino que va de San Nicolás Huajuapán a San José Balvanera. Se observan estilolitas paralelas a la estratificación en el flanco sur de la sierra y al sur de San Antonio Juárez.

En las cañadas recorridas al sur del Tentzo se observaron esporádicos nódulos y escasas bandas de pedernal negro.



Figura 10. Estratificación de la formación El Tentzo. A. Muestra estratos delgados a medios. B. Se observan estratos de hasta 2 metros de grosor.





**Figura 11.** A. Fotografía de brecha intraformacional sobre el camino de San José Balvanera a San Nicolás Huajuapa, las flechas indican los fragmentos de briozoarios, el martillo tiene una longitud de 33 cm. B. Ampliación de briozoarios dentro de intraclastos calcáreos.

**Relaciones de contacto:** El contacto inferior es transicional con las capas rojas de la formación Agua del Cordero. Dicho contacto inicia con una alternancia de paquetes de lutitas calcáreas y estratos delgados de calizas hasta estratos gruesos de calizas masivas, y aflora en la barranca al noreste del Cerro La Mina.

Al oeste de la zona de estudio se encuentra en contacto por falla con la formación Chiapa. La falla es subvertical y con base en las estrías en los espejos de falla y medias lunas se determinó una cinemática de tipo lateral derecha.

En la parte alta del frente norte de la Sierra del Tentzo cabalga a la formación Chiapa.

**Edad:** A pesar de la gran abundancia de macrofósiles de esta formación, no se encontró algún macrofósil índice, sin embargo se realizó el análisis microfaunístico de 5 láminas delgadas (apéndice A, muestras T-75, T-77, T-136 y T-305) encontrándose *Choffatella decipiens*, *Nannoconus* sp., *Hedbergella* sp., *Debarina* sp., *Nummuloculina heimi*, *Dictyoconus walnutensis* y *Cuneolina* sp., restringiendo la edad del Aptiano al Cenomaniano Inferior (ver apéndice B).



**Definición:** Esta formación ha sido descrita anteriormente como perteneciente a la Formación Orizaba (Padilla y Sánchez, 1973); en 1984, Monroy y Sosa (1984) las describieron informalmente como calizas de cuenca del Aptiano superior y calizas de plataforma del Cretácico Medio; y Silva-Romo (2010) en su tesis doctoral las menciona nuevamente como la Formación Orizaba que sobreyace a una sucesión de calizas aptianas innominadas. Rocas similares conforman la Formación Cipiapa del Albiano-Cenomaniano y la Formación Miahuatepec del Aptiano en la Cuenca de Zapotitlán (Calderón, 1956; Buitrón-Sánchez y Barceló-Duarte, 1980; Mendoza-Rosales, 2010).

En el presente estudio se propone separar en una nueva unidad, y nombrar como formación El Tentzo a esta sucesión carbonatada, que es correlacionable con las Formaciones Cipiapa y Miahuatepec. Se decidió no extender la nomenclatura de las formaciones expuestas en otras áreas por los siguientes criterios:

- Se decidió abandonar el nombre de Formación Orizaba porque dicha formación fue depositada en una cuenca diferente a la de la zona de estudio, esto lo podemos inferir porque existe un alto intermedio entre las dos cuencas. Además, debido a su carácter arrecifal probablemente la Formación Orizaba no tuvo grandes dimensiones como para extenderla hasta la cuenca donde se depositó la formación El Tentzo.
- Tiene características sedimentológicas muy similares a la Formación Cipiapa, sin embargo en el área objetivo del presente estudio no se presenta una discordancia sobre la sucesión clástica del Aptiano, como la observada en la localidad tipo de la Formación Cipiapa, además de que su rango estratigráfico abarca también el Aptiano.
- La Formación Miahuatepec puede satisfacer el rango estratigráfico para esta sucesión, sin embargo sus características litológicas, sedimentológicas y faunísticas pertenecen a un ambiente de depósito profundo, y la formación propuesta en este trabajo corresponde a facies someras.

## **Formación Tecali**

### **Albiano superior-Cenomaniano inferior**

**Localización y Distribución:** Esta sucesión se extiende paralelamente a la sierra desde las laderas altas de la cara norte de la Sierra del Tentzo, cerca del poblado de San Antonio Juárez, hasta Tecali de Herrera.



**Litología:** Está representada por una sucesión rítmica de areniscas y lutitas, teniendo intercalaciones frecuentes de calizas, brechas calcáreas y calizas arcillosas (figura 12 y 13); presentándose en estratos de 5 a 20 cm de espesor, de geometría tabular que en algunas ocasiones varía de grosor lateralmente.

Las lutitas son de color café rojizo a gris claro e meteorizan a café rojizo-amarillento, se presentan en forma de láminas a grandes paquetes que llegan a medir de 25 cm hasta 1.22 m; mientras que las areniscas son de color café claro a pardo y en superficies meteorizadas café claro a rojizo; su composición varía entre calcarenitas y areniscas híbridas (apéndice A, muestras T-8, T-145, T-146b, T-168, T-215, T-265, T-271, T-308 y T-309). Estas areniscas tienen intercaladas brechas calcáreas y estratos de hasta 1.5 m de wackestone de color café claro al fresco y gris claro a la intemperie, de abundantes ostrácodos desarticulados, abundantes calciesferas, comunes foraminíferos bentónicos, comunes bioclastos recristalizados, traza de espículas, equinodermos y fragmentos de bivalvos (apéndice A, muestras T-2, T-4, T-26, T-106a, T-208 y T-267).



Figura 12. A. Fotografía donde se observa la alternancia de areniscas y lutitas de la formación Tecali.





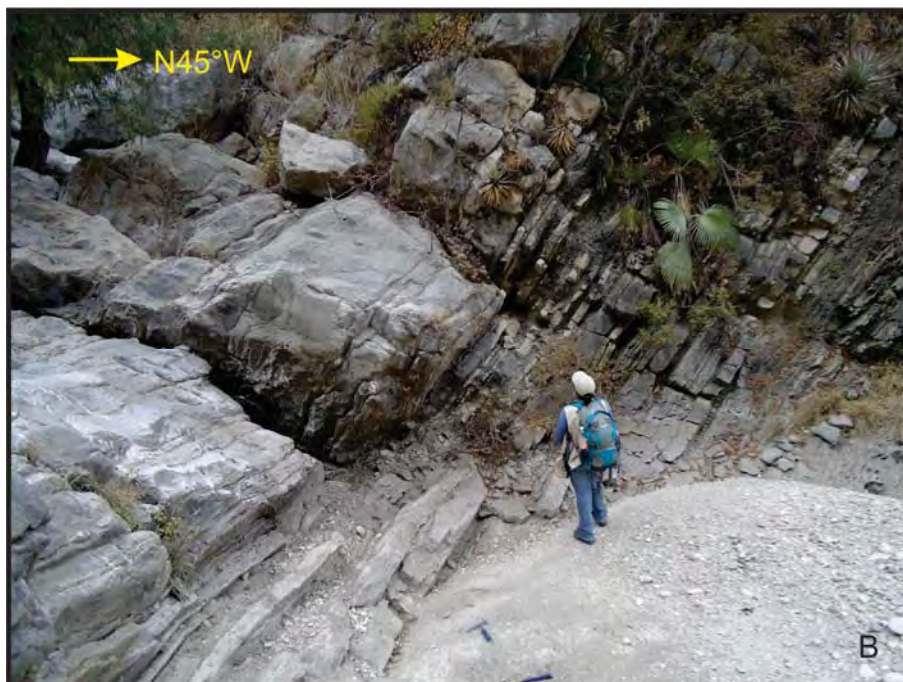


Figura 13. En esta fotografía se muestra uno de los paquetes calcáreos intercalados en esta unidad, cuyos contactos son concordantes con los paquetes turbidíticos.

La total ausencia de macrofósiles completos o en óptimas condiciones es notable en este miembro, exclusivamente en las areniscas expuestas al sur de Tecali de Herrera, sobre la carretera federal que va de Aquiles Serdán hacia Concepción Cuautla, se encontraron restos de bivalvos en el fondo de un icnofósil vertical (figura 14).

Esta formación se caracteriza por la gran cantidad de estructuras formadas en las areniscas y margas por la acción de organismos (icnofósiles), ausencia de macrofósiles, pliegues y fallas sinsedimentarias (figura 15), así como una serie de estructuras sedimentarias que nos dan la pauta para considerarlas como un depósito turbidítico.

La bioturbación de esta formación se describe en términos de intensidad o porcentaje (Tucker, 2003) como grado 4 a 5, que va de 51 a 95%, correspondiendo a una bioturbación alta-intensa (figura 16).

De acuerdo con el análisis sedimentológico que se hizo en esta unidad, fue posible determinar cinco facies para esta sucesión sedimentaria, las cuales se describirán con mayor detalle en el siguiente capítulo.



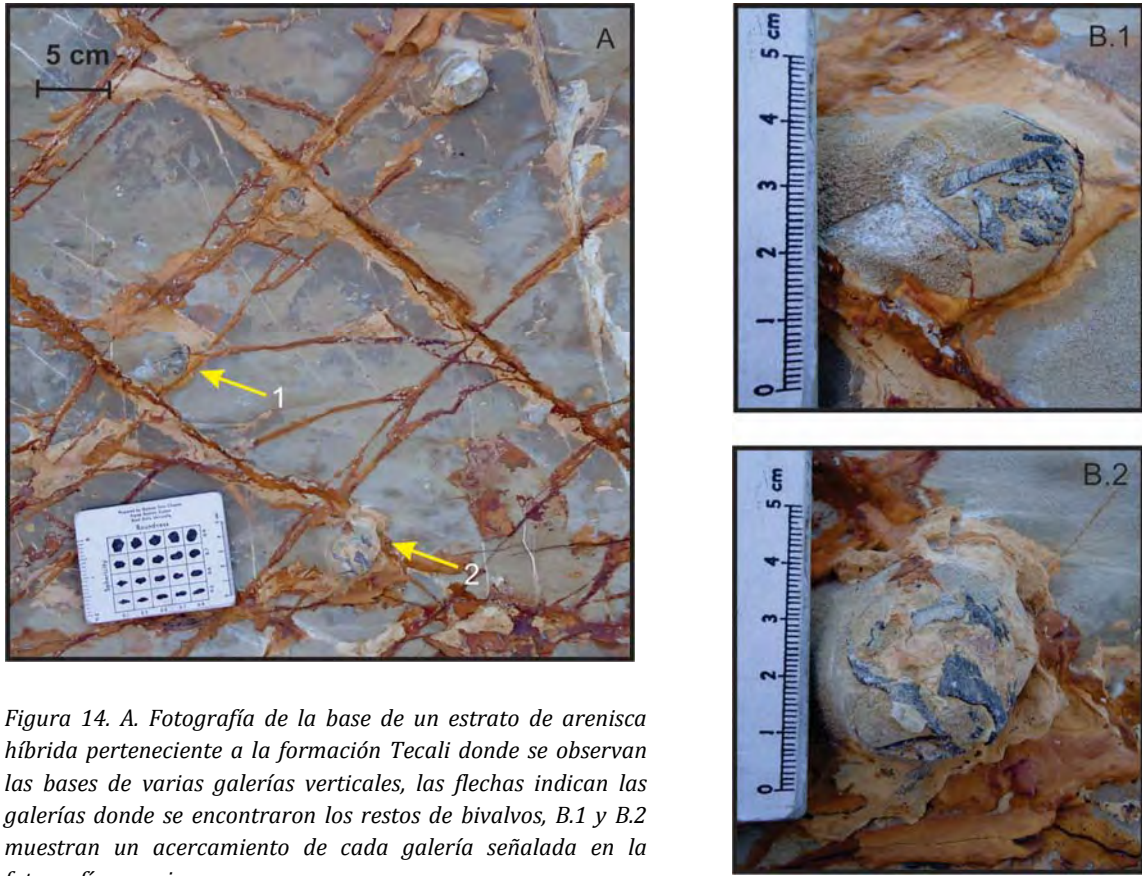


Figura 14. A. Fotografía de la base de un estrato de arenisca híbrida perteneciente a la formación Tecali donde se observan las bases de varias galerías verticales, las flechas indican las galerías donde se encontraron los restos de bivalvos, B.1 y B.2 muestran un acercamiento de cada galería señalada en la fotografía superior.



Figura 15. Fotografía tomada al noroeste de San Antonio Juárez, donde se puede observar un pliegue sinsedimentario.





Figura 16. Fotografía de la cima de un estrato de areniscas perteneciente a la formación Tecali donde se puede observar el grado de bioturbación alta-intensa.

**Relaciones de contacto:** En este trabajo no se observó su base estratigráfica. Su contacto estratigráfico superior cambia transicionalmente a las calizas de la formación Chiapa y, se encuentra cubierta en discordancia angular por los depósitos lacustres de la Formación Pie de Vaca al poniente del poblado Acuexcomac, y por conglomerados del Cuaternario cerca de San Antonio Juárez y al poniente de Tzicatlacoyan.

**Edad:** La edad para esta sucesión sedimentaria se ha asignado en trabajos previos únicamente por correlación estratigráfica: Padilla y Sánchez (1973) le asignó una edad del Santoniano-Maastrichtiano, mientras que Monroy y Sosa (1984) determinaron una edad Coniaciano-Santoniano.

En el presente trabajo se analizaron los microfósiles de 2 láminas delgadas colectadas de estratos de calizas intercalados en esta unidad (apéndice A, muestras T-26 y T-168). En las láminas analizadas del se observó la presencia de *Nummuloculina heimi*, *Dicyclina schlumbergeri* y en la matriz abundantes calciesferúlidos, por lo que debido a la coexistencia de esta microfauna se determina una edad del Albiano superior-Cenomaniano inferior (ver apéndice B).



**Definición:** Fue denominada como la Formación Mexcala por Padilla y Sánchez (1973), Monroy y Sosa (1984) y mencionada como dicha formación por Silva-Romo (2010).

La descripción de esta sucesión sedimentaria se realizó con base en los recorridos hechos sobre las barrancas del frente norte de la Sierra del Tentzo, teniendo como afloramientos tipo los expuestos en las cañadas cercanas al poblado de San Antonio Juárez y al Cerro Colorado.

En este trabajo se propone como formación Tecali a la sucesión de areniscas y lutitas con esporádicas intercalaciones de calizas y comunes brechas calcáreas, expuesta desde el poblado Tecali de Herrera hasta San Antonio Juárez, con el argumento de que es necesario abandonar el nombre de Mexcala para esta unidad sedimentaria por las siguientes razones:

- La Formación Mexcala tiene una naturaleza calcárea en su parte basal y un incremento de rocas clásticas hacia la cima, mientras que en la zona de estudio ocurre lo contrario, de base a cima incrementa su composición calcárea.
- Las areniscas de la Formación Mexcala se componen principalmente de granos de caliza y dolomita, cuarzo, feldespatos y minerales máficos, y la formación Tecali propuesta en este trabajo no contiene clastos de dolomita ni minerales máficos.
- En las capas conglomeráticas de la cima de la Formación Mexcala contienen principalmente clastos de cuarzo y otros minerales de origen ígneo. En la zona de estudio, la cima de la formación posee se caracteriza por una composición detrítica calcárea.
- Debido a las diferencias composicionales y estratigráficas, además de su distribución que hay entre la Formación Mexcala y la formación Tecali, se infiere que dichas formaciones se depositaron en cuencas diferentes.

### **Formación Chiapa Cenomaniano-Santoniano**

**Localización y distribución:** Esta sucesión calcárea se localiza en las laderas de la cara norte de la Sierra del Tentzo, distribuyéndose paralelamente a dicha sierra desde sus laderas más altas hasta San Isidro Chiapa y San Antonio Juárez, y en el poniente se ubica al oeste de San José Balvanera y al norte de San Martín los Teteles.

**Litología:** Está compuesta por estratos tabulares de 10 a 50 cm de espesor, de calizas y calizas con alto contenido de arcilla de color gris claro a la intemperie y gris claro a café claro al fresco con láminas, estratos o paquetes de estratos de lutitas calcáreas intercaladas, de color gris claro a la intemperie y al fresco (figura 17); en el flanco



norte de la sierra, cerca de San Antonio Juárez se observaron paquetes de lutitas carbonosas intercaladas. Además de las lutitas, se observaron brechas calcáreas con abundantes intraclastos, fragmentos de pelecípodos y gasterópodos, frecuentes foraminíferos bentónicos y traza de briozoarios (apéndice A, muestra T-100 y T-108) y la presencia esporádica de calcarenitas (apéndice A, muestras T-209a y T-229). Entre las calizas colectadas se describieron wackestone-packstone de muy abundantes foraminíferos plantónicos, radiolarios y traza de foraminíferos bentónicos y wackestone-packstone con abundantes fragmentos de pelecípodos y bioclastos (apéndice A, muestras T-91, T-107, T-119a, T-126, T-209b y T-210).

En esta unidad fue posible determinar cuatro facies, éstas se describirán con mayor detalle en el siguiente capítulo, así como las columnas estratigráficas medidas para esta sucesión sedimentaria.

**Relaciones de contacto:** Su límite superior se describe como un contacto tectónico con las calizas de la formación El Tentzo del Aptiano superior-Cenomaniano: en el frente norte de la Sierra del Tentzo se encuentra cabalgada por dichas calizas, mientras que al oeste de la zona de estudio, sobre el camino que va de San José Balvanera a San Nicolás Huajuapán se encuentra en contacto con la misma unidad sedimentaria por una falla lateral dextral.

Su límite estratigráfico inferior es transicional con la sucesión de areniscas y lutitas de la formación Tecali del Albiano superior-Cenomaniano inferior.



Figura 17. Fotografía tomada en una ladera del frente norte de la Sierra del Tentzo, se observan estratos de calizas de la formación Chiapa.



**Edad:** Padilla y Sánchez (1973) describió a esta sucesión como la Formación Maltrata, asignándole una edad del Turoniano; mientras que Monroy y Sosa (1984) la correlacionaron con la Formación Cuautla y, por medio de un análisis microfaunístico determinaron que su edad también es Turoniana.

En el presente trabajo se analizaron los microfósiles de 6 láminas delgadas (apéndice A, muestras T-91, T-107, T-119a, T-126, T-209, T-210), con las cuales se determinó una edad del Cenomaniano al Santoniano por la siguiente relación microfaunística: *Whiteinella* sp., *Whiteinella* spp., *Whiteinella aprica*, *Whiteinella báltica*, *Whiteinella archaeocretacea*, *Dicarinella* spp., *Dicarinella* cf. *algeriana*, *Dicarinella* cf. *hagni*, *Dicarinella* cf. *primitiva*, *Dicarinella* cf. *concovata*, *Pessagniella turona*, *Helvetoglobotruncana praehelvetica*, *Helvetoglobotruncana* cf. *helvetica*, *Hedbergella* sp., *Pithonella ovalis*, *Calcisphaerula innominata*, *Clavihedvergella moremani*, *Heterohelix* spp., *Marginotruncana* sp. (ver apéndice B).

**Definición:** Fue denominada como la Formación Maltrata por Padilla y Sánchez (1973) en su tesis de licenciatura; Monroy y Sosa (1984) al igual que Silva-Romo (2010) la nombraron como Formación Cuautla.

En el presente trabajo se realizó un estudio sedimentológico a detalle de esta sucesión, la descripción de ésta se realizó con base en los recorridos hechos al norte de la Sierra del Tentzo, teniendo como afloramientos tipo los expuestos en las cañadas al poniente de San Isidro Chiapa y al sur del poblado de San Antonio Juárez. Se propone nombrar a esta unidad sedimentaria como formación Chiapa y descartar los nombres que anteriormente le han asignado porque:

- La Formación Maltrata está constituida principalmente por calizas en estratos delgados con pedernal negro, y hacia la base presenta intercalaciones de pizarra arcillosa de color amarillo, en la zona de estudio esta unidad no presenta pizarra arcillosa ni pedernal.
- La Formación Cuautla se compone por calizas con estratificación gruesa, delgada a mediana, y caliza clástica de estratificación delgada a mediana, presentando nódulos y lentes de pedernal, por lo que difiere en sus características litológicas a la formación Chiapa propuesta en este trabajo.
- Por las características litológicas, relaciones estratigráficas y distribución de las formaciones anteriormente mencionadas, se infiere que éstas se depositaron en cuencas diferentes a la de la zona de estudio.



## ***Cubierta Sedimentaria Cenozoica***

### ***Formación Pie de Vaca***

#### ***Eoceno***

***Localización y distribución:*** Esta unidad se localiza al norte de la Sierra del Tentzo, sobre el río Atoyac al noreste de San Isidro Chiapa, y al sureste de El Calvario, sobre el camino a Acuexcomac.

***Litología:*** Se caracteriza por una intercalación de calizas mudstone de ooides, bivalvos, ostrácodos y otros bioclastos con travertinos de color blanco (apéndice A, muestras T-80 y T-180), en estratos delgados a gruesos, planares y lenticulares que se acuñan en pocos metros de distancia, algunos estratos de caliza presentan bandas de pedernal de color blanco, ámbar y rosado (Figuras 18 y 19). Presenta estructuras sedimentarias como marcas de flama y carga, bioturbación, algunas veces se observan carpetas de algas paralelas a la estratificación y también presentan acumulaciones de ostrácodos muy pequeños.

En la cañada al oriente de San Isidro Chiapa, se observan algunas huellas de vertebrados, los cuales fueron reportados anteriormente por Silva-Romo (2010).

***Relaciones de contacto:*** Descansa discordantemente sobre las formaciones Tecali y Chiapa al oriente de San Isidro Chiapa y está cubierta discordantemente por el Miembro Cebolleja de la Formación Ahuehuetes al sureste de El Calvario.



*Figura 18. Estratos de calizas lacustres de la Formación Pie de Vaca sobre el Río Atoyac, al norte de la Sierra del Tentzo.*





Figura 19. Estratos delgados de calizas lacustres con bandas de pedernal blanco y ámbar, Formación Pie de Vaca.

**Edad:** Silva-Romo (2010) le asigna una edad del Eoceno tardío por encontrarse debajo del Miembro Cebolleja, la cual fue fechada por el mismo autor encontrándose en el límite Eoceno-Oligoceno.

**Definición:** Pantoja-Alor *et al.* (1988) denomina como Formación Pie de Vaca a una sucesión clástica y calcárea de 53 m, la cual sobreyace discordantemente a la Formación Tlayúa en el área de Tepexi de Rodríguez, Puebla. El mismo autor define su base como calizas lacustres amarillentas con intraclastos de caliza, pedernal y rocas ígneas en estratos delgados y medianos con bandas de sílice, continuando a paquetes de conglomerados con clastos de caliza, pedernal, sílice y rocas volcánicas en estratos gruesos. Beraldi-Campesi (2003) (citado por Silva-Romo, 2010), propone dos columnas estratigráficas para esta formación, la primera se caracteriza por la presencia de conglomerados y areniscas, con intercalaciones de margas calcáreas y calizas lacustres en su base y calizas con bandas de pedernal, estromatolitos, calizas laminadas, calizas oolíticas, estratos de yeso con algunos horizontes con nódulos y depósitos de tipo géiser de magnesita en la cima. La segunda columna únicamente se presenta una sucesión calcárea. En 2010, Silva-Romo propone nombrar como Formación Pie de Vaca a la sucesión de calizas lacustres, en su trabajo menciona las localidades de los Ahuehuetes, Tejaluca, Zacapala y otras tres nuevas localidades: Tejaluca-Huehuetlán el Grande, río Atoyac al norte de la Sierra del Tentzo y cerca de Molocayan; y al resto de las localidades propuestas por Pantoja Alor *et al.* (1988) como parte de la Formación Pie de Vaca decide llamarlas Formación Ahuehuetes y Formación Ajamilpa.

De acuerdo con sus características sedimentológicas y relaciones estratigráficas, en este proyecto se ha decidido nombrar a esta sucesión de calizas lacustres como Formación Pie de Vaca.





**Formación Ahuehuetes**  
**Miembro Cebolleja**  
**Eoceno Tardío-Oligoceno temprano**

**Localización y distribución:** Esta unidad se extiende en los lomeríos y mesetas al norte de la Sierra del Tentzo, desde el poblado El Calvario hasta el sur de Acuexcomac (figura 20). Tiene un espesor aproximado de 120 m.

**Litología:** Se compone de ignimbrita lítica no soldada, con fragmentos muy gruesos y bloques de caliza, cristales de cuarzo, y pómez, tiene intercalaciones de ignimbrita cristalina no soldada de grano fino con un alto contenido de cristales de cuarzo y pómez (figura 21). Al sureste de la zona el paquete ignimbrítico es de menor espesor y se intercala con paquetes de lodolita tobacea de color blanco algunas veces laminadas paralelamente a la estratificación.

**Relación de contacto:** Descansa discordantemente sobre las calizas lacustres de la Formación Pie de Vaca, y es cubierta discordantemente por depósitos cenozoicos no diferenciados.

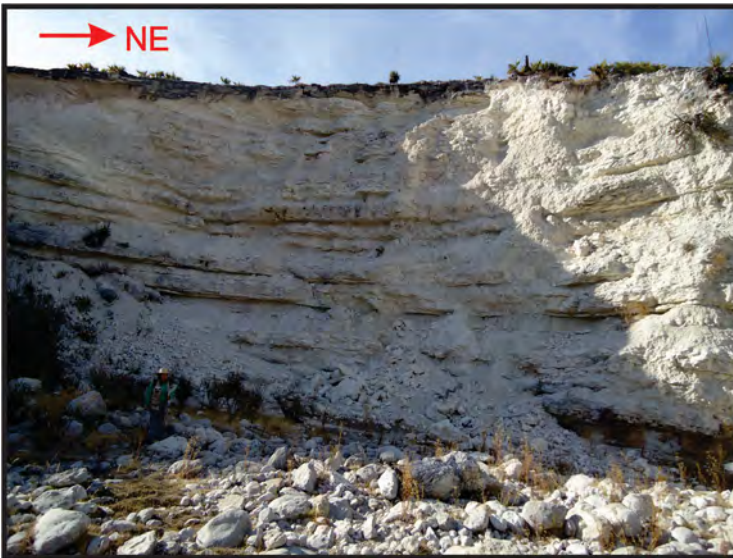
**Edad:** Silva-Romo (2010) le asigna una edad Eoceno tardío-Oligoceno temprano con base en fechamientos de biotitas pertenecientes al Miembro Cebolleja de la Formación Ahuehuetes.

**Definición:** En su tesis doctoral, Silva-Romo (2010) define a la Formación Ahuehuetes como la unidad piroclástica y epiclástica de carácter silícico con flora fósil en la localidad Ahuehuetes (al sureste de la zona de estudio), dicha unidad sobreyace a la Formación Pie de Vaca en el área de Huehuetlán-Tepexi. El Miembro Cebolleja, definida por el mismo autor, se compone de ignimbritas y rocas epiclásticas, teniendo una base caracterizada por flujos ignimbríticos con lentes de conglomerado con matriz tobácea, donde los clastos pertenecen a las calizas mesozoicas y volcánicos. Y la parte superior está constituida por ignimbritas y toba silícica subacuosa con pómez y en algunos horizontes presenta paleosuelos. Debido a las características litológicas y sedimentológicas descritas en campo, y sus relaciones de contacto con otras unidades, en este trabajo se propone nombrar a la unidad compuesta por ignimbritas como Miembro Cebolleja de la Formación Ahuehuetes.





**Figura 20.** La ignimbrita del Miembro Cebolleja, Formación Ahuehuetes, forma las mesetas y lomeríos al norte de la Sierra del Tentzo.



**Figura 21.** Intercalación de ignimbrita lítica y cristalina con algunos estratos de lodolita tobacea al norte de la Sierra del Tentzo

### ***Depósitos recientes*** ***Cuaternario indiferenciado***

Al sur y en el sector noroeste de la zona de estudio se observan depósitos de gran espesor compuesto por intercalaciones de paleosuelos, capas de caliche y lentes de conglomerado, dicho paquete cubre discordantemente a las unidades sedimentarias antes mencionadas. Para este trabajo se agrupó en una sola unidad para su cartografía y se considera como la unidad más joven del área.



## **Capítulo IV.**

### **Asociaciones de facies e Interpretación del ambiente de depósito**

#### **IV.1 Análisis de facies sedimentarias**

El presente trabajo se enfocó al estudio de las rocas clásticas y calcáreas del flanco norte de la Sierra del Tentzo, agrupadas en las formaciones Tecali y Chiapa. Dichas unidades registran un cambio transicional de una sucesión clástica a una calcárea, distinguiéndose así, cinco tipos litológicos fundamentales: areniscas, lutitas, calizas clásticas y calizas.

El estudio sedimentológico detallado de dichas formaciones ha permitido identificar seis facies principales: turbiditas clásicas, areniscas masivas (o sin estructuras), conglomerados, bloques, slumps con olistolitos y calizas-lutitas. Las primeras cinco facies se nombraron tomando como modelo el presentado por Posamentier y Walker (2006), quienes se enfocan principalmente en los aspectos descriptivos y ambientales más que en la mecánica de fluidos y su depositación. Sus descripciones se presentan en el siguiente subcapítulo.

##### **IV.1.1 Facies sedimentarias**

###### ***Turbiditas clásicas***

Esta facies se compone por la alternancia de lutita, limolita y arenisca.

Las areniscas son de color café claro a la intemperie y al fresco, principalmente de grano fino, bien clasificadas, con granos subredondeados, grano-soportadas, con poca matriz arcillosa con clastos de cuarzo, feldespato y líticos calcáreos. Los estratos de arenisca son medianos a delgados, discontinuos con base erosiva y/o estructuras de carga, en su cima presentan rizaduras o galerías verticales y horizontales, y como estructuras primarias muestran gradación normal, laminación paralela, cruzada y/o convoluta.

Los estratos de limolita y lutita calcárea son principalmente delgados con base y cima planas, de color gris claro a la intemperie y gris claro-negro al fresco, algunas veces presentan laminación paralela.

Al sureste del poblado San Antonio Juárez se presentan estratos o paquetes gruesos de lutita de color gris claro en superficies meteorizadas y gris oscuro a negro al fresco, estos paquetes presentan un gran contenido de materia orgánica lo que hace que adquiera un color negro intenso y una textura carbonosa, algunas veces llegan a despedir un aroma aceitoso.



Internamente la facies de turbiditas clásicas presenta algunas o todas las divisiones propuestas por Bouma en 1962 (figura 22). Esta facies fue descrita en las cañadas que rodean al Cerro Colorado, al norte de la Sierra del Tentzo, dentro de la Formación Tecali.

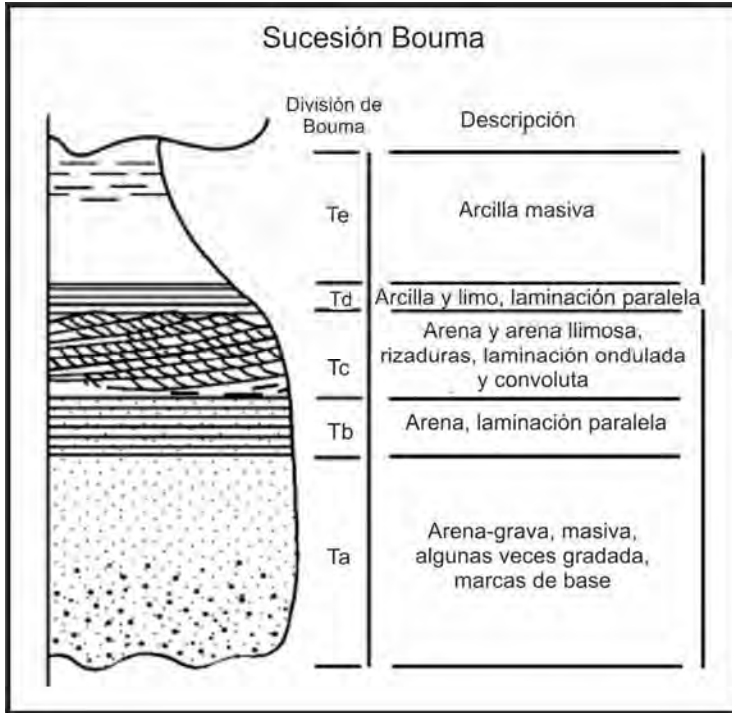


Figura 22. Columna tipo de la sucesión Bouma para turbiditas de grano medio. Modificada de Collinson y Thompson, 1989.

### ***Areniscas masivas o sin estructuras***

Estas areniscas se presentan en estratos gruesos, que van desde 30 cm hasta poco más de 1 m (figura 23), con bases erosivas y en las cimas algunas veces presentan icnofósiles. Las areniscas generalmente son gruesas a medias, subredondeadas a subangulosas, moderadamente clasificadas, grano-soportadas y la poca matriz que contienen es arcillosa. Esta facies se registró en la columna A, al este del poblado San Antonio Juárez, dentro de la Formación Tecali.



Figura 23. Fotografía de afloramiento de la Formación Tecali, donde las flechas amarillas muestran el inicio de estratos gruesos de areniscas sin estructuras.



### ***Facies de conglomerados***

Esta facies caracterizada por conglomerados, se presenta intercalada en la mayor parte de la formación Tecali y algunas veces en la formación Chiapa.

Los conglomerados presentan clastos subredondeados a angulosos, mal clasificados, matriz-soportada, contiene una matriz arcillo-calcárea de color café claro a parda; presentan estructuras de rompecabezas y en algunos clastos estructuras de inyección, entre sus componentes se observan intraclastos y extraclastos de calizas e intraclastos de areniscas de grano grueso hasta areniscas conglomeráticas (figura 24).

La facies con estas características se encuentra intercalada esporádicamente en la formación Tecali, ya sea en estratos o en forma masiva y no presentan ningún arreglo interno, y fue descrita en las laderas de la cara norte del Tentzo por su constante ocurrencia en esta zona.



*Figura 24. Fotografía tomada sobre el frente norte de la Sierra del Tentzo, donde se observa un conglomerado con clastos de arenisca y de caliza en una matriz arcillo-calcárea. El martillo tiene una longitud de 33 cm.*

Algunas veces la matriz arcillo calcárea es muy escasa o casi nula en los conglomerados haciendo que éstos tengan un arreglo grano-soportado (figuras 25 y 26). Estas características sólo se muestran en la cima de la Sierra del Tentzo y al sur de San José Balvanera.



*Figura 25. Fotografía de conglomerado, grano-soportado con intraclastos y extraclastos de caliza.*





Figura 26. Conglomerado conformada por bloques de calizas sobre el frente norte de la Sierra del Tentzo. El martillo tiene una longitud de 33 cm.

### ***Facies de bloques***

Esta facies se presenta en diversas escalas, en la zona de estudio se observan depósitos de slumps de centímetros a varios metros de espesor. Se caracterizan por ser depósitos caóticos, sin estratificación y por tener fragmentos de estratos arenosos o calcáreos con deformaciones plásticas y pliegues sinsedimentarios, dentro de una matriz arcillosa masiva o con laminaciones convolutas, marcas de carga y flama, laminaciones interrumpidas y/o desorganizadas (figura 27).

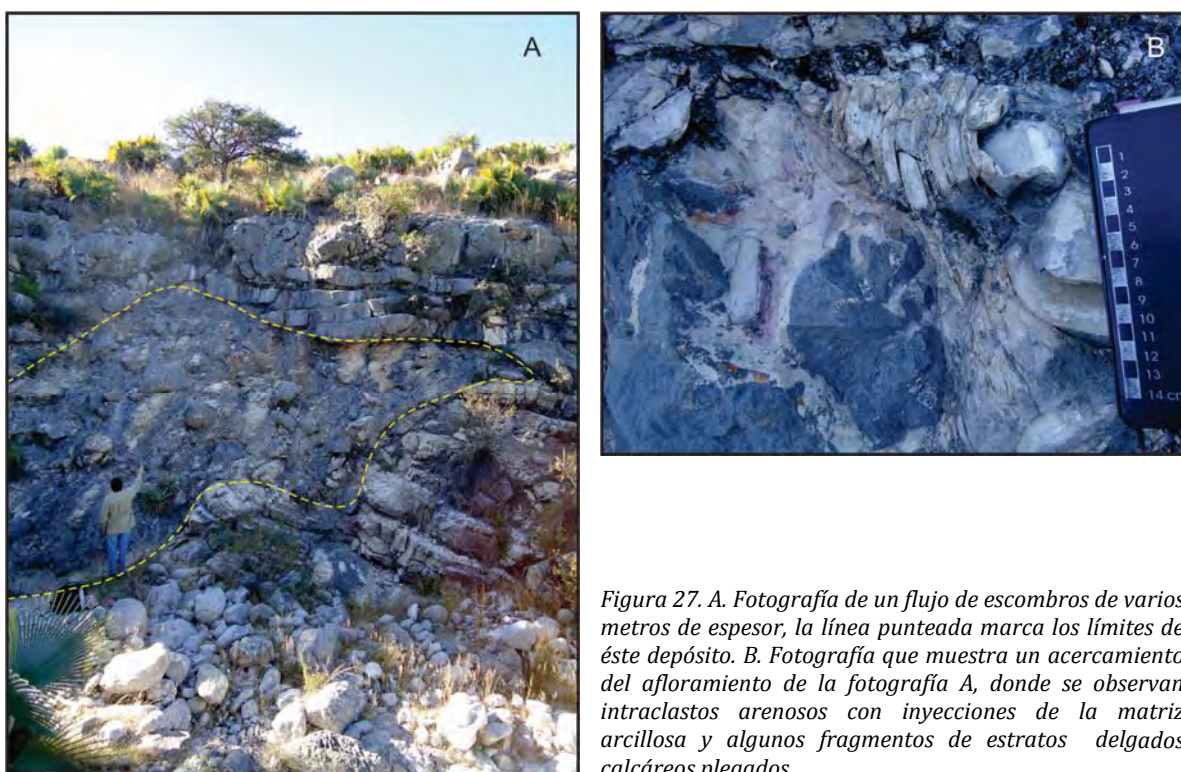


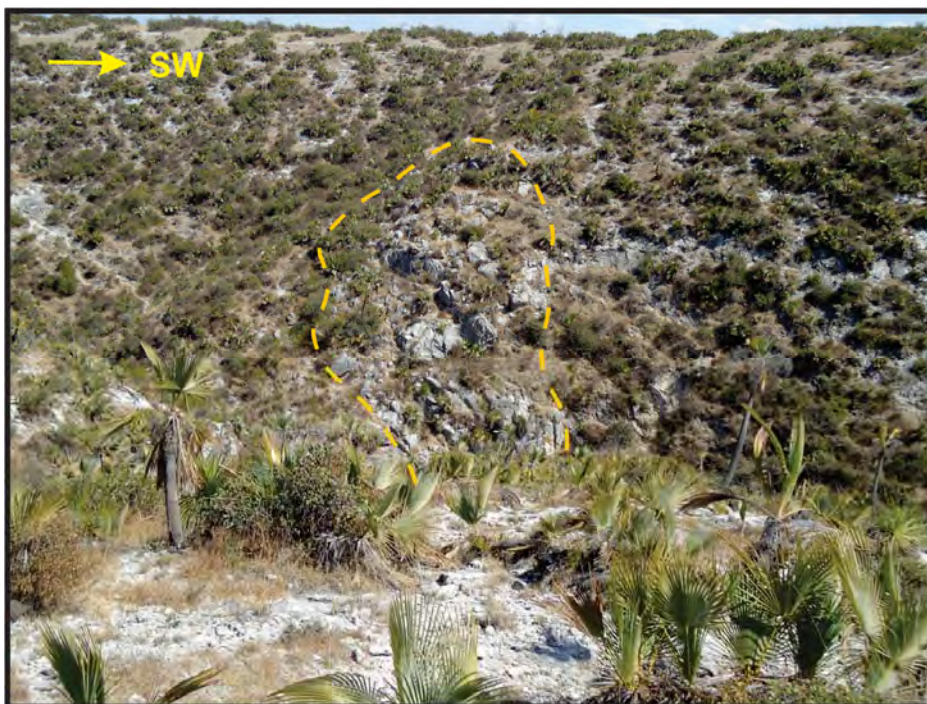
Figura 27. A. Fotografía de un flujo de escombros de varios metros de espesor, la línea punteada marca los límites de éste depósito. B. Fotografía que muestra un acercamiento del afloramiento de la fotografía A, donde se observan intraclastos arenosos con inyecciones de la matriz arcillosa y algunos fragmentos de estratos delgados calcáreos plegados.



### ***Facies de slumps con bloques estratificados***

Esta facies se caracteriza por la presencia de pliegues sinsedimentarios y bloques estratificados (olistolitos), el afloramiento más grande medido se observó a lo largo de 20 metros con un bloque de 6 por 8 m. aproximadamente, éste se ubica a tres barrancas al oeste de la barranca Tonalaque, en el flanco norte de la Sierra del Tentzo, (figura 28). Estos bloques se observan acompañados de pliegues sinsedimentarios de areniscas, calizas y lutitas calcáreas, dentro de una matriz arcillosa masiva o con intensa deformación sinsedimentaria (figuras 29 y 30).

No se observa ningún tipo de organización interna en los deslizamientos descritos en el trabajo de campo y se encuentran erosionados intensamente, por lo que no se pudo hacer mediciones de la orientación de ejes y direcciones de los pliegues sinsedimentarios originados por tal evento para el cálculo de su posible dirección de flujo o paleopendiente. Esta facies fue descrita al sur del poblado San Antonio Juárez, se observa principalmente dentro de la Formación Tecali y ocasionalmente en la base estratigráfica de la Formación Chiapa.



*Figura 28. Fotografía tomada desde el lado oeste de la barranca, la línea punteada marca el bloque exótico de caliza, dentro de la Formación Tecali.*



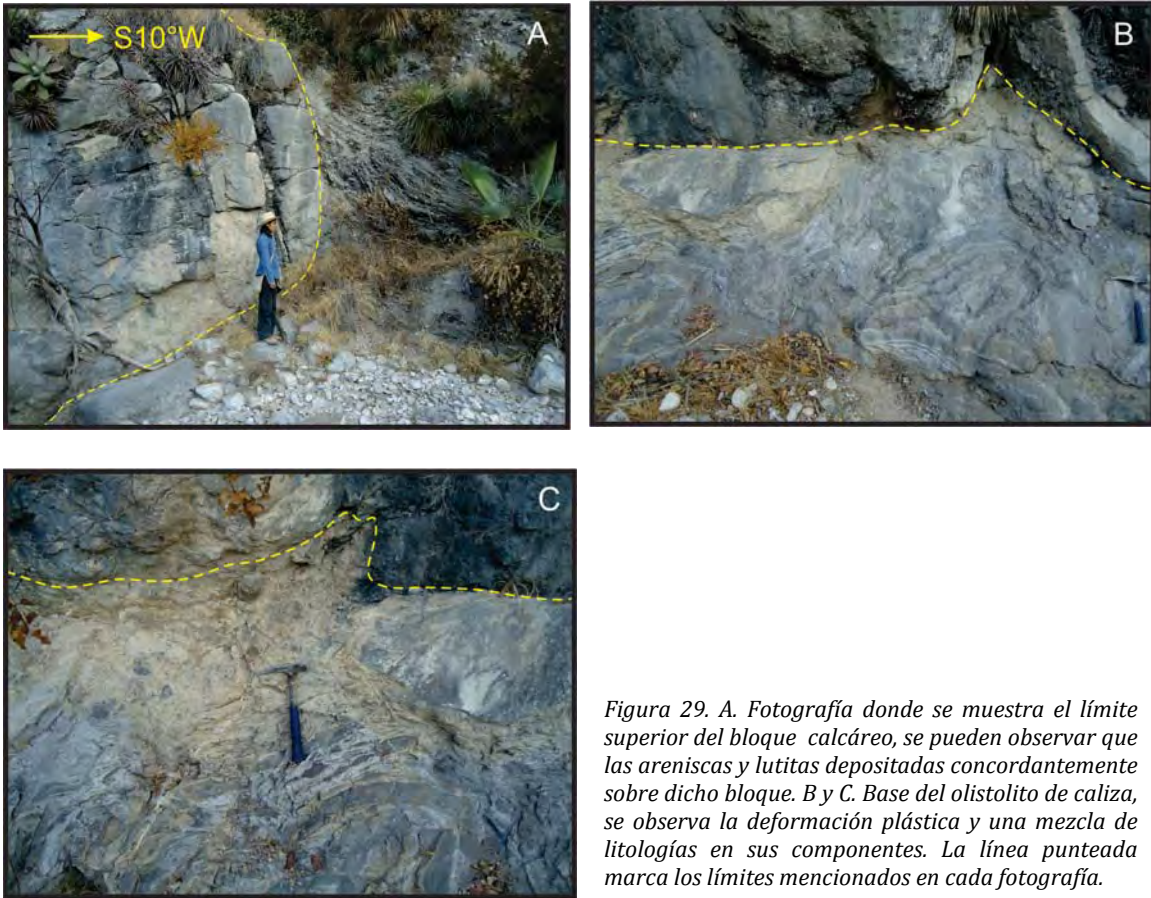


Figura 29. A. Fotografía donde se muestra el límite superior del bloque calcáreo, se pueden observar que las areniscas y lutitas depositadas concordantemente sobre dicho bloque. B y C. Base del olistolito de caliza, se observa la deformación plástica y una mezcla de litologías en sus componentes. La línea punteada marca los límites mencionados en cada fotografía.



Figura 30. A. Muestra la continuación del depósito de slump a 15 metros aproximadamente de su cima, el rectángulo con línea punteada marca un afloramiento donde se tomó la fotografía B, en la que se observa la deformación plástica de las areniscas incorporadas a este depósito caótico.





En esta facies también se presentan olistolitos de caliza con bioclastos o completos de aguas someras; en estos afloramientos la deformación sinsedimentaria es mínima o nula. Los bloques caídos u olistolitos no se presentan en las columnas estratigráficas medidas ni esquemáticas, sin embargo por su ocurrencia en la zona de estudio se creyó conveniente mencionarla y describirla. Se presenta esporádicamente en las laderas más altas de la cara norte de la Sierra del Tentzo (ver mapa anexo) en la formación Tecali y en la base estratigráfica de la formación Chiapa (figura 31).



*Figura 31. Imagen donde se muestra un bloque caído perteneciente a la formación El Tentzo dentro de la formación Chiapa al sur del poblado San Antonio Juárez.*

### ***Facies caliza-lutita***

La facies calcárea se presenta en estratos delgados a medianos, midiendo de 3 a 20 cm de espesor, de color gris claro a la intemperie y café claro al fresco, en esta facies se presentan texturas mudstone, wackestone-packstone intercaladas con paquetes de lutitas calcáreas y margas (figura 32), algunas veces presenta bioturbación. Se presenta formando la Sierra del Tentzo y sus laderas, donde fue descrita.



*Figura 32. Facies calcárea, en estratos delgados a medianos.*



#### IV.1.2 Asociaciones de Facies

La Formaciones Tecali y Chiapa, se encuentran deformadas en su mayoría a nivel afloramiento, presentando pliegues y fallas que no permiten medir una columna continua, por lo que se decidió realizar la medición de pequeñas columnas en los afloramientos donde la roca presenta menor deformación, en zonas más deformadas se elaboraron columnas esquemáticas, con las columnas obtenidas se determinaron las asociaciones de facies más importantes.

El levantamiento de las columnas que a continuación se describen, se hizo desde los estratos más antiguos expuestos en las barrancas cercanas al poblado de San Antonio Juárez, al norte de la zona de estudio hasta las rocas más jóvenes, en las laderas altas de la cara norte de la Sierra del Tentzo. Para la representación de las columnas estratigráficas se empleó la nomenclatura descrita en la figura 33. Las columnas A y B (figuras 34 y 35) se localizan en la barranca al oeste del Cerro Colorado y, las columnas C, D y E (figuras 38, 39 y 40) se sitúan al noreste y sureste del poblado de San Isidro Chiapa, siendo la columna A la que ocupa un lugar estratigráfico antiguo y, E la más joven (ver mapa anexo). Las primeras dos columnas pertenecen a la Formación Tecali y, las tres restantes a la Formación Chiapa y la zona de transición entre las dos unidades sedimentarias. Las columnas B y D fueron medidas y las otras se reconstruyeron con base en las observaciones hechas en las localidades antes mencionadas. Con el análisis sedimentológico de dichas columnas se identificaron cuatro asociaciones de facies y dos ambientes de depósito para las localidades indicadas anteriormente, que a continuación se describen:

Leyenda de las columnas estratigráficas			
Granulometría		Litologías	
Lu	Lutita		Lutita
Li	Limolita		Arenisca
Af	Arena fina		Caliza
Am	Arena media		Caliza arenosa
Ag	Arena gruesa		Brecha calcárea
Ac-Cgf	Arena conglomerática o Conglomerado fino		Arenisca con laminación cruzada
Cgm	Conglomerado medio		
Cgg	Conglomerado grueso		
Estructuras sedimentarias			
	Superficie erosionada		Estructuras de carga
	Superficie ligeramente erosionada		Estructuras de flama
	Rizaduras asimétricas		Laminación convoluta
	Laminación paralela		Slump
	Laminación cruzada		Intraclastos
	Gradación grano decreciente		Icnofósiles

Figura 33. Leyenda utilizada en las columnas estratigráficas medidas.



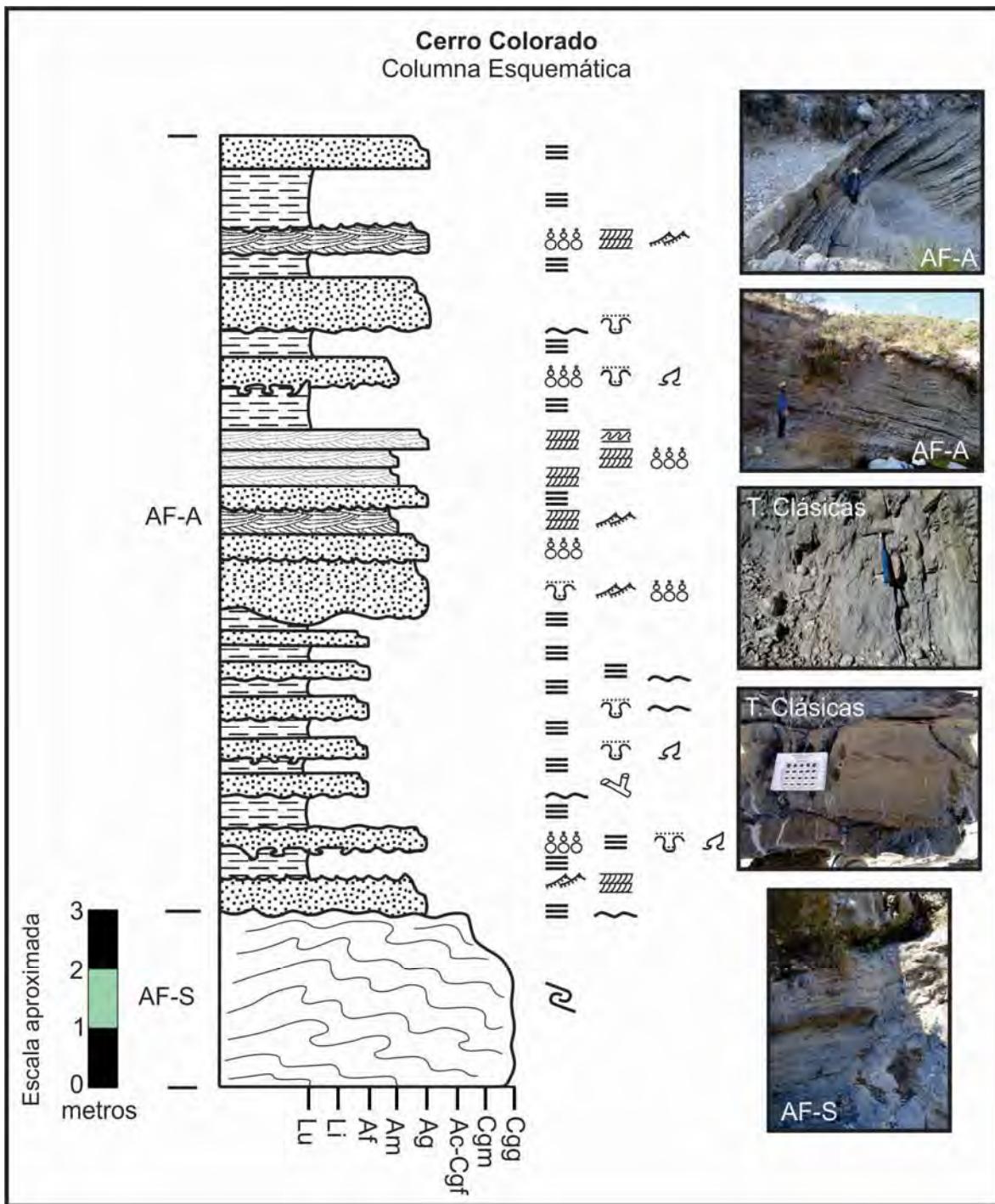


Figura 34. Columna A, reconstruida al suroeste del Cerro Colorado.



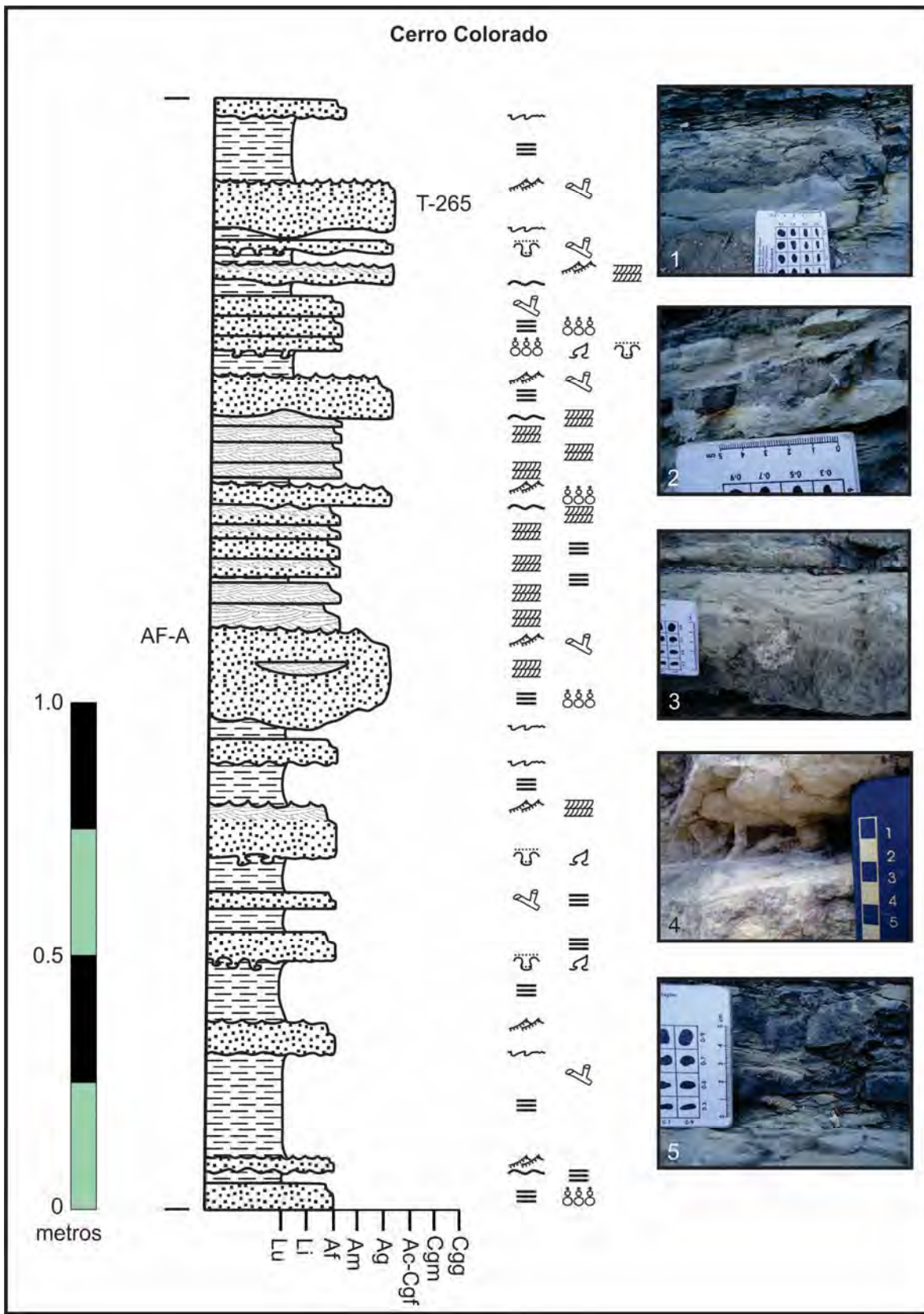


Figura 35. Columna B, medida al suroeste del Cerro Colorado. Las fotografías muestran estructuras sedimentarias dentro de las turbiditas clásicas: 1 y 2) Marcas de carga y flama; 3) Gradación normal; 4 y 5) Bioturbación.



### ***AF-A: Asociación de facies A (Turbiditas clásicas/areniscas masivas)***

Esta asociación de facies está compuesta por una alternancia rítmica de turbiditas clásicas y areniscas masivas. Las turbiditas clásicas están formadas por areniscas de grano fino a medio y lutitas calcáreas con diferentes estructuras sedimentarias que constituyen las cinco o algunas de las divisiones de la sucesión Bouma (1962) (figura 36). Mientras que los estratos gruesos de arenisca masiva o sin estructuras sedimentarias son paquetes de estratos medios a gruesos de areniscas gruesas y se presentan esporádicamente dentro de las sucesiones turbidíticas. Esta asociación de facies se presenta desde el Cerro Colorado (figura 37) y el poblado de San Antonio Juárez hasta Tecali de Herrera, extendiéndose en toda la parte norte de la zona de estudio.



*Figura 36. Fotografía de un estrato de arenisca donde se observa la sucesión completa de Bouma (1962).*



*Figura 37. Afloramiento donde se observan estratos de areniscas y lutitas intercaladas, lugar donde se midió la columna B.*



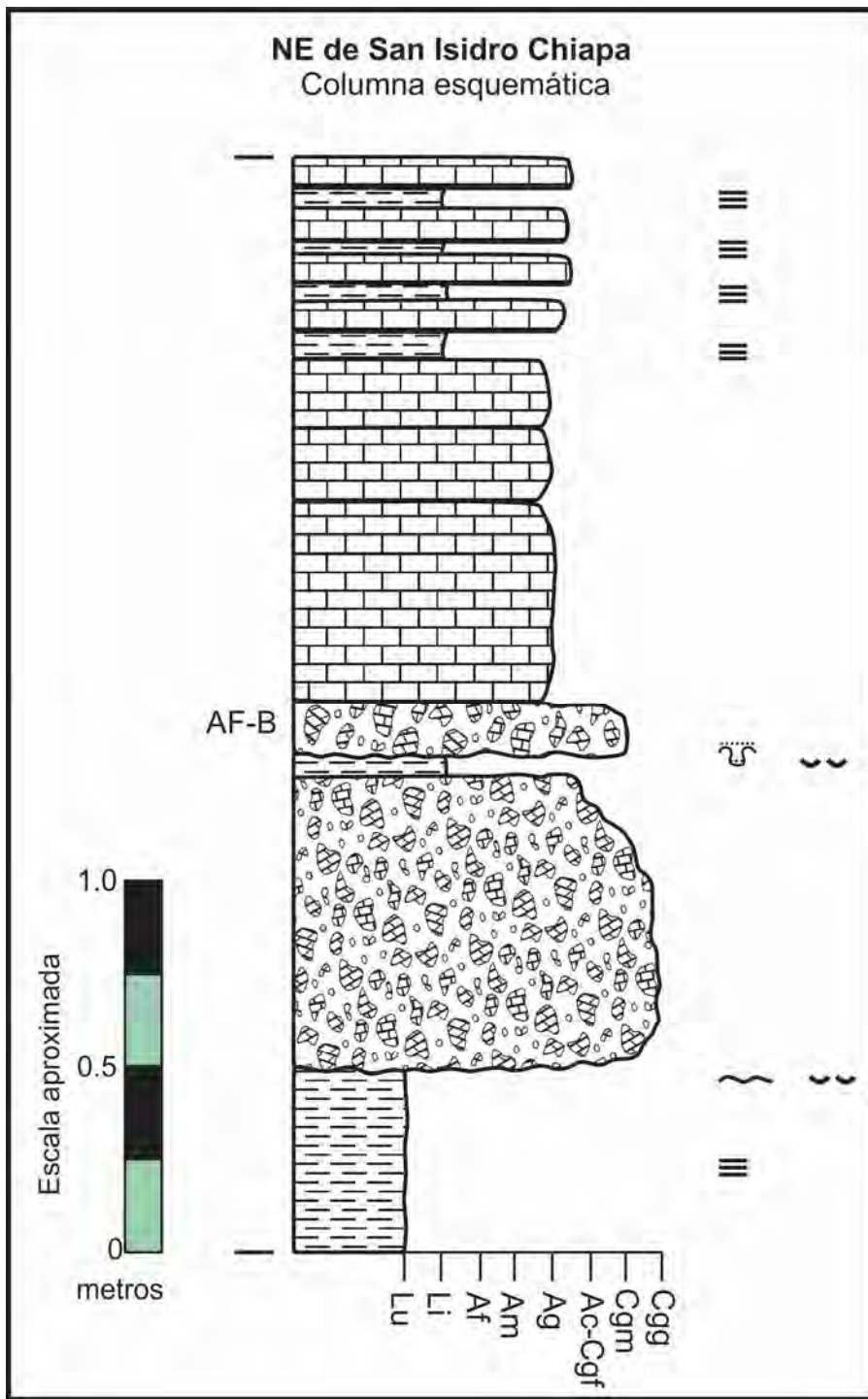


Figura 38. Columna C, observada al sureste de San Isidro Chiapa.



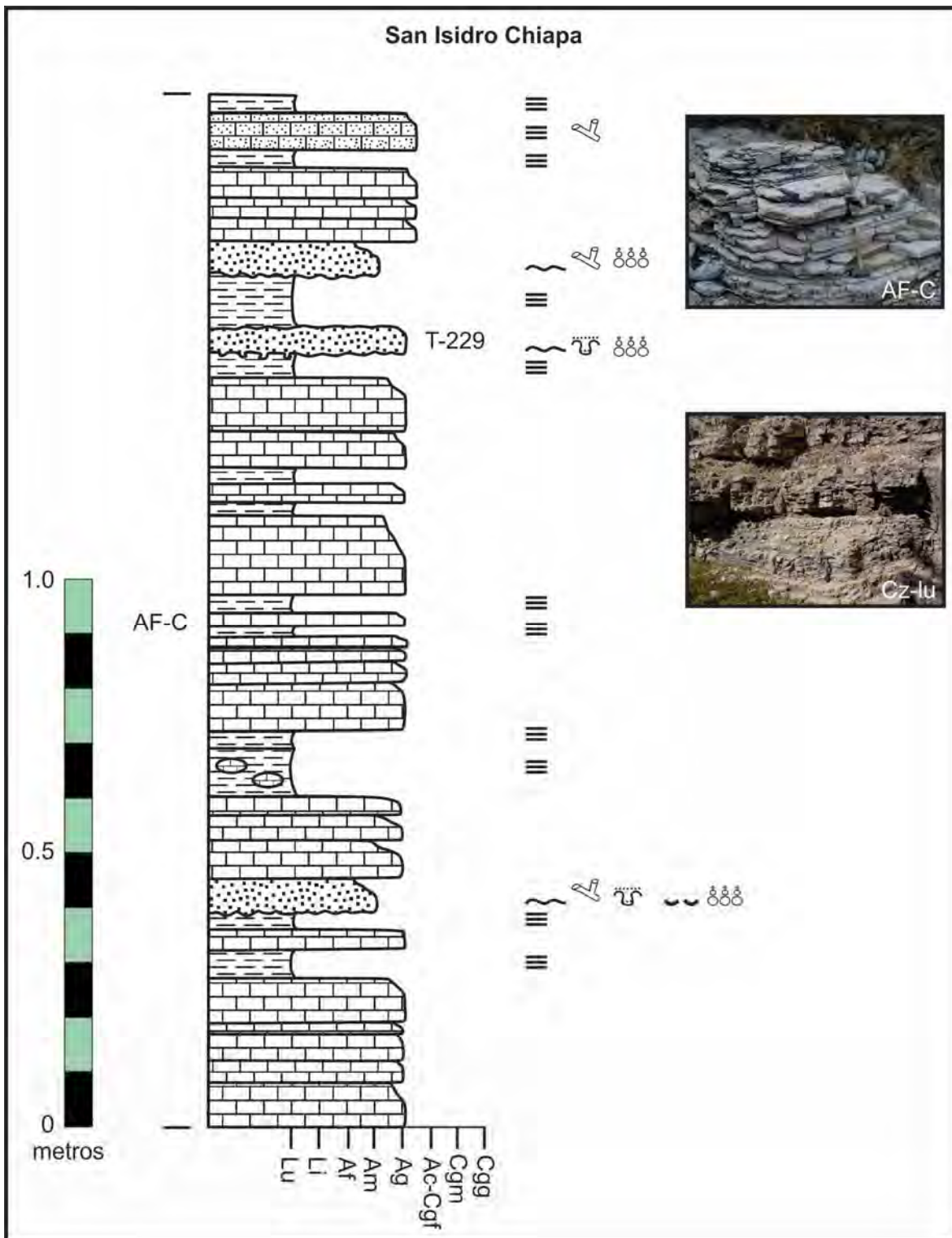


Figura 39. Columna estratigráfica D, medida al sureste de San Isidro Chiapa.



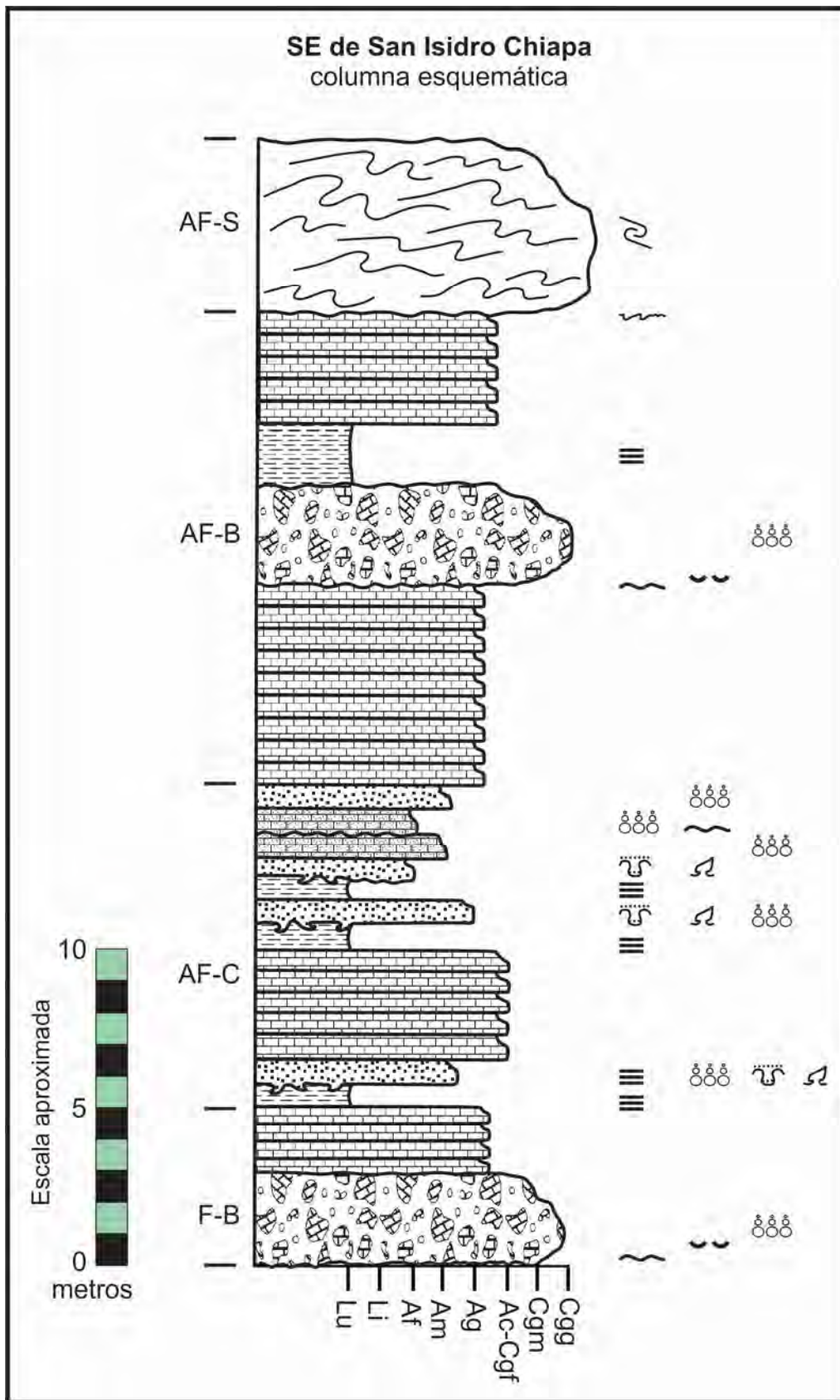


Figura 40. Columna E, reconstruida al sureste de San Isidro Chiapa.





### **AF-B: Asociación de facies B (Cz-lu/Conglomerados)**

Esta asociación de facies se conforma por la alternancia de calizas y lutitas calcáreas con conglomerados.

Los estratos de calizas y lutitas calcáreas son delgados a medianos y tabulares, y es común encontrar calizas arcillosas intercaladas en dicha sucesión. En las calizas se observa bioturbación vertical y oblicua de color gris oscuro, y las lutitas presentan laminación plano-paralela.

Los conglomerados se presentan en estratos delgados a gruesos (figura 41), y algunas veces en forma masiva, predominantemente no presenta un arreglo interno definido, sin embargo en algunos afloramientos se observó una gradación normal pasando de conglomerado fino a arenisca de grano fino.

Esta asociación de facies se encuentra principalmente en la base estratigráfica de la Formación Chiapa.



*Figura 41. Se muestra la AF-B, estrato de conglomerado intercalado entre calizas y lutitas, fotografía tomada al sur del Cerro Colorado.*



### AF-C: Asociación de facies C (Cz-lu/Turbiditas clásicas)

La asociación de facies C consta de una alternancia de areniscas de grano medio, grueso, y escasamente grano fino, lutitas calcáreas y calizas (figura 42).

Las areniscas se presentan en estratos delgados a gruesos, con bases ligeramente erosivas con estructuras de carga y/o flama, y algunas veces intraclastos, algunas veces en sus cimas planas o sinuosas, se observaron icnofósiles horizontales, además de presentar laminación paralela, y gradación grano-decreciente, presentando de esta forma algunos de los horizontes de la sucesión Bouma (1962).

Lo estratos de calizas son de espesor delgado a medio, principalmente son mudstone, wackestone y calizas arenosas, en estas últimas se observaron estructuras primarias como laminación paralela e icnofósiles en su cima.

Las lutitas se presentan en menor proporción, de color gris claro a negro, algunas veces laminadas o en paquetes delgados.

La asociación de facies C se presenta hacia la cima estratigráfica de la formación Tecali y esporádicamente en la base de la formación Chiapa.



Figura 42. Asociación de facies C, se puede observar estratos de caliza, arenisca y lutitas, esta fotografía se tomó en una parte invertida del miembro B de la Fm. San Antonio Juárez, debido al plegamiento que ésta posee.



### **AF-S: Asociación de facies S (Bloques/Slumps con bloques estratificados)**

Esta asociación de facies se presenta a diversas escalas, desde algunos centímetros hasta varios metros de espesor, consiste en paquetes de arenisca, lutita, limolita y/o caliza con deformación sinsedimentaria, éstos se encuentran limitados por estratos sin perturbar tanto en la cima como en la base (figura 43). Algunos de estos paquetes están acompañados por grandes bloques estratificados, cuya descripción se mencionó en el subcapítulo anterior.

La asociación de facies S se observa principalmente en la formación Tecali, intercalado con las turbiditas clásicas, y algunas veces en la base estratigráfica de la formación Chiapa.



*Figura 43. Horizonte donde se observa un boudinage sedimentario, en un depósito de slump, dicho paquete se encuentra limitado por estratos sin perturbar.*



### IV.1.3 Paleoambiente de depósito

La asociación de facies A, turbiditas clásicas y areniscas masivas o sin estructuras reflejan diversos eventos turbidíticos, los cuales se pueden originar por dos mecanismos: algunos empiezan por grandes slumps que aceleran y empiezan a ser turbulentos; y también se pueden originar por la descarga de sedimentos de ríos directamente en el talud (Posamentier y Walker, 2006). La sucesión Bouma es el reflejo de la desaceleración de una corriente repentina en una pendiente, y la mayoría de las veces no se preservan todos los horizontes de esta sucesión. Mientras que las areniscas sin estructuras o masivas son el registro de diversos flujos de turbidez que han sido amalgamados, cuyos planos de amalgamación son denotados por 1) cambios abruptos del tamaño de grano, 2) capas de clastos *ripped-up*, o 3) simplemente la desaparición de partes delgadas de lutitas (Posamentier y Walker, 2006).

La asociación de facies B y C, además de su contenido fosilífero de tipo plantónico hacen referencia a un depósito de mar abierto o profundo, donde de pronto ocurren aportaciones turbidíticas de grano fino a medio, llegando a aportar clastos con fauna proveniente de aguas someras.

La facies S corresponde a flujos de escombros y slumps con grandes bloques, estos se interpretan como depósitos por gravedad en una zona de talud, en algunas ocasiones presentan bloques caídos de calizas preservados con importante contenido fosilífero de ambientes someros, lo que nos hace pensar por las dimensiones de éstos en una pendiente pronunciada e inestable o en un escarpe de dimensiones considerables limitando un arrecife o un ambiente marino somero.

La facies de conglomerados se compone por clastos calcáreos, el tamaño y la composición de éstos son diversos, desde mudstone a rudstone con fragmentos y fósiles completos de bivalvos, gasterópodos, corales y foraminíferos y algunas veces presentan un poco de bioturbación; estas características sugieren un acarreo repentino o catastrófico de sedimentos acumulados previamente en un ambiente marino somero.

Los conglomerados y slumps se encuentran intercalados esporádicamente en las dos unidades estratigráficas, debido a desprendimientos masivos de sedimentos provenientes del talud de la cuenca por deslizamientos, derrumbes y como flujos de escombros.



## IV.2 Análisis composicional de areniscas

Este análisis se efectuó en cinco muestras seleccionadas de arenisca de grano medio a grueso de la formación Tecali, para describir detalladamente sus componentes y plantear la evolución de los mismos a lo largo del depósito de esta sucesión. De estas cinco muestras, una se colectó en un afloramiento fuera del área de estudio y que aparentemente corresponde a la parte basal de la unidad (muestra T-309), ubicada al norte del poblado de Aquiles Serdán; esto con la finalidad de entender el comportamiento de la sedimentación en la porción más antigua.

El análisis modal se realizó mediante el conteo de 500 puntos por muestra utilizando el método de Gazzi-Dickinson (Gazzi (1967) y Dickinson (1970)), considerando que éste elimina el efecto del tamaño de grano, el análisis se efectuó según las características mineralógicas y texturales de cada muestra.

Una vez realizado el conteo y cálculo del porcentaje de componentes de cada lámina delgada, se procedió a clasificar dichas muestras en un diagrama ternario basado en la abundancia relativa de extraclastos no calcáreos (ENC), extraclastos calcáreos (EC) e intraclastos calcáreos (IC), usando los criterios propuestos por Zuffa (1985) (figura 44).

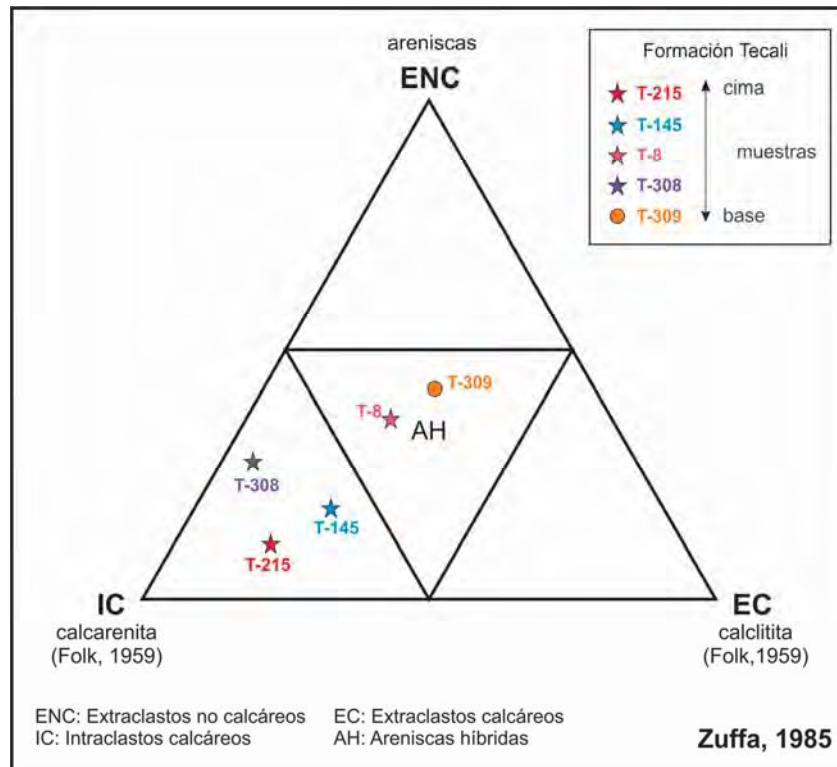


Figura 44. Diagrama ternario para la clasificación de las muestras seleccionadas para el análisis composicional (Zuffa, 1985). Las muestras señaladas con estrellas se encuentran dentro del área de estudio, mientras que el círculo pertenece a la muestra colectada fuera de ésta, todas las muestras pertenecen a la formación Tecali.



El contenido de IC es importante en la mayoría de las muestras, en la muestra T-309 y T-8 destaca el contenido de cuarzo monocristalino y policristalino a diferencia de las otras muestras y los feldespatos potásicos son más comunes que las plagioclasas en las areniscas seleccionadas. El contenido de moscovita en las muestras es muy bajo, sin embargo es notable su presencia en la muestra T-308, muy poco contenido en las muestras T-145 y T-8, mientras que en las muestras T-215 y T309 es nulo (tabla 1 y figura 45).

Para las muestras T-215, T-145 y T-308 se observa un alto contenido de IC, que va desde 58.39% hasta 72.33%, un bajo contenido de ENC y EC que van de 11.33% a 27.80% y de 4.88% a 23.36 %, respectivamente (tabla 1 y figura 45); por estas proporciones de componentes caen dentro del campo de las calcarenitas (Zuffa, 1985) (figura 44 y tabla 2).

La muestra T-8 tiene un contenido similar de IC y ENC, 38.6% y 36.5% respectivamente, y un porcentaje relativamente bajo de EC, 24.83%; mientras que la muestra T-309 tiene un porcentaje alto de ENC: 42.39% y un contenido similar de IC y EC, 27.92% para el primero y 29.7% para el segundo. Estas dos muestras a pesar de su ligera variación de contenido pertenecen al campo de las areniscas híbridas (Zuffa, 1985) (figura 44 y tabla 2).

<b>ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE ARENISCAS</b>					
	<b>T-215</b>	<b>T-145</b>	<b>T-8</b>	<b>T-308</b>	<b>T-309</b>
Cuarzo monocristalino	19	32	65	42	79
Cuarzo policristalino	11	7	4	1	66
Plagioclasa	1	0	0	0	4
Feldespato K	3	10	36	9	18
Moscovita	0	1	1	5	0
IC (caliza)	181	134	108	106	110
IC (bioclasto)	36	26	4	32	0
EC (caliza)	48	58	64	10	111
EC (calcita)	1	6	8	0	6
Matriz calcárea	9	87	94	124	46
Cementante calcáreo	191	139	116	171	60
<b>Total</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>

Tabla 1. Resultados del análisis modal en las 5 muestras seleccionadas de la formación Tecali. Donde IC: Intraclastos calcáreos y, EC: Extraclastos calcáreos.



Los líticos presentes en las muestras seleccionadas únicamente son de naturaleza calcárea, ningún otro tipo de lítico fue encontrado en las muestras para la formación Tecali.

<b>ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE ARENISCAS-CLASIFICACIÓN</b>					
Las cantidades están expresadas en porcentaje (%)					
	<b>T-215</b>	<b>T-145</b>	<b>T-8</b>	<b>T-308</b>	<b>T-309</b>
<b>ENC</b>	11.33	18.25	36.55	27.80	42.39
<b>IC</b>	72.33	58.39	38.62	67.32	27.92
<b>EC</b>	16.33	23.36	24.83	4.88	29.70
<b>Nombre de la roca</b>	<b>Calcarenita</b>	<b>Calcarenita</b>	<b>Arenisca Híbrida</b>	<b>Calcarenita</b>	<b>Areniscas Híbrida</b>

Tabla 2. Cálculo de porcentajes y clasificación con base a Zuffa (1985) de las muestras seleccionadas de la formación Tecali. Donde IC: Intraclastos calcáreos y, EC: Extraclastos calcáreos.

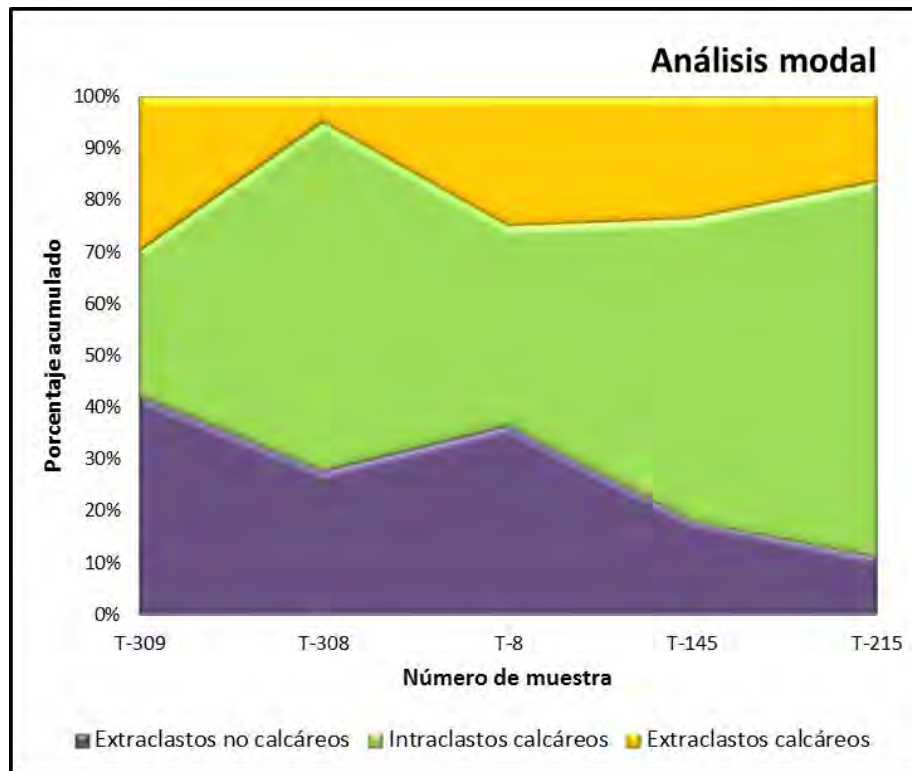


Figura 45. Gráfica donde se muestra el porcentaje acumulado de los componentes de cada muestra analizada.



### IV.3 Icnofacies

Los icnofósiles son una herramienta muy útil no sólo para la interpretación del ambiente depositacional de una roca, sino también para la reconstrucción de la historia local de los cambios ambientales y la evolución de una cuenca; esta información la obtenemos a partir del conocimiento de los factores que influyen en la vida y desarrollo de dicho individuo.

En los 50's y 60's, Adolph Seilacher definió el concepto de icnofacies basado en el hecho de que muchos de los parámetros que controlan la distribución de organismos marinos cambia progresivamente con el incremento de la profundidad del agua (figura 46) (Pemberton y MacEachern, 2005).

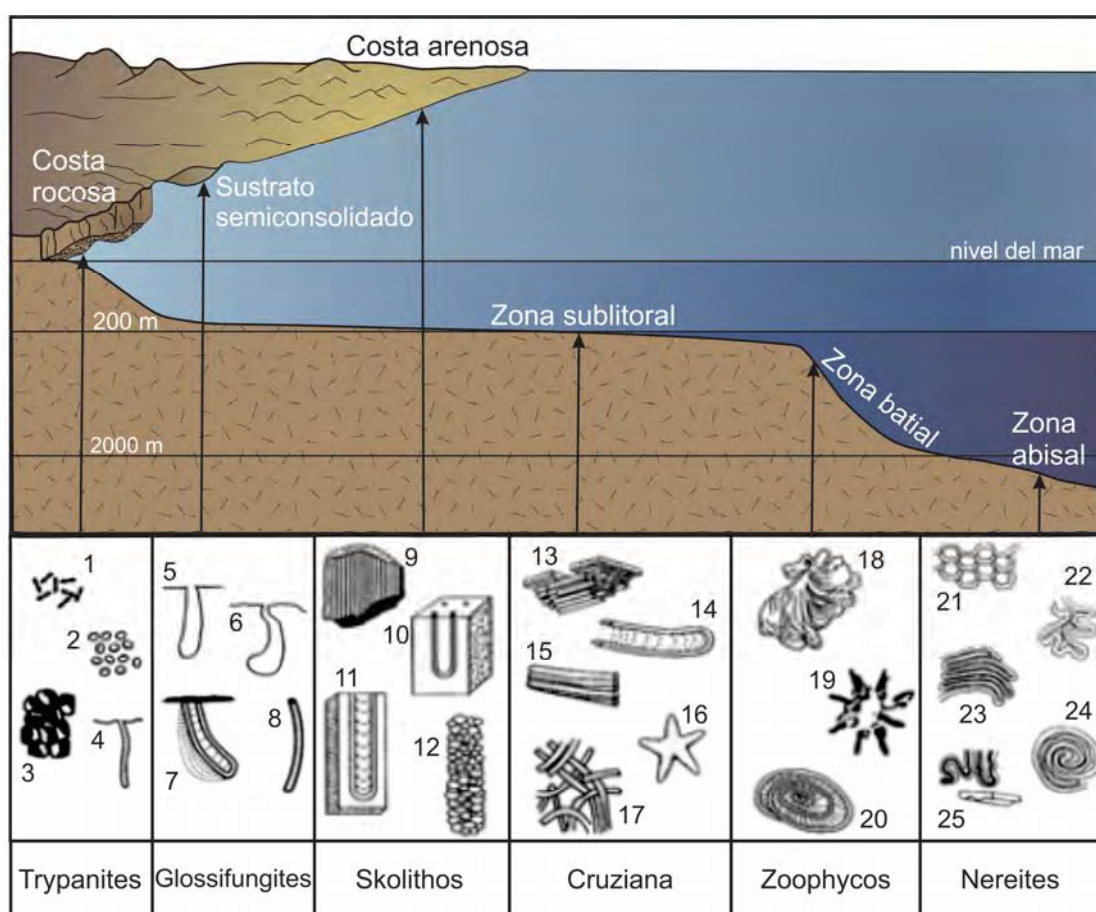


Figura 46. Distribución ambiental de las diferentes icnofacies, en cada una de ellas se observan los icnogéneros más comunes: 1) *Caulostrepsis*; 2) perforaciones de *Equinoides*; 3) *Entobia*; 4) *Trypanites*; 5, 6) *Gastrochaenolites*; 7) *Diplocraterion* (*Glossifungites*); 8) *Skolithos*; 9) *Skolithos*; 10) *Arenicolites*; 11) *Diplocraterion*; 12) *Ophiomorpha*; 13) *Phycodes*; 14) *Rhizocorallium*; 15) *Teichichnus*; 16) *Asteriacites*; 17) *Planolites*; 18) *Zoophycos*; 19) *Lorenzina*; 20) *Zoophycos*; 21) *Paleodictyon*; 22) *Cosmorhapse*; 23) *Helminthoidea*; 24) *Spirorhapse*; 25) *Taphrhelminthopsis*. Modificado de Pemberton et al. 1992.





Las icnofacies reflejan las adaptaciones de los organismos a factores ambientales como son la tasa de sedimentación, la coherencia del sustrato, salinidad, nivel de oxígeno, turbidez, luz, temperatura y energía hidrodinámica (Frey *et al.* 1990; Bromley y Asgaard, 1991; citados por Pemberton y MacEachern, 2005).

Por consiguiente, podemos definir a las icnofacies como un grupo de icnofósiles asociados a un conjunto particular de condiciones ambientales, y según la interacción que hay entre el organismo y el sedimento podemos clasificarlos en:

- Icnofósiles de descanso y locomoción: cuando la actividad del organismo se desarrolla en la superficie de los estratos.
- Icnofósiles de vivienda y alimentación: se encuentran en el interior del estrato.

Algunas icnofacies son una combinación de dichas actividades. Las icnofacies reciben el nombre del icnogénero más representativo, es decir, el icnofósil más distintivo. Cabe mencionar que la distribución de los icnogéneros no es exclusiva de cada icnofacies, por lo que podremos encontrar el mismo en diferentes icnofacies.

En este proyecto se tomaron algunas muestras y fotografías de los icnofósiles observados en la Formación Tecali, cada uno acompañado de sus coordenadas de ocurrencia, para su posterior clasificación y análisis. Esta formación muestra hacia su base estratigráfica un grado de bioturbación alto-intenso, mientras que hacia su cima posee un grado de bioturbación bajo a escaso según la escala de Tucker (2003). La Formación Tecali contiene una asociación de icnofósiles alta en abundancia y variedad. Se reconocieron ocho icnogéneros, dominados por *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Taenidium*, *Rhizocorallium*, *Zoophycos*, *Nereites* y en menor proporción *Lorenzia* y *Gastrochaenolites*. Estos icnogéneros pertenecen a las icnofacies *Glossifungites*, *Cruziana*, *Zoophycos* y *Nereites*, cuyas distribuciones son controladas principalmente por la energía hidrodinámica, la coherencia del sustrato y los niveles de oxígeno. A continuación se describirán las características de las icnofacies reconocidas en el área de estudio:

### ***Glossifungites***

Se desarrollan en sustratos firmes pero no litificados, como lodo y limo. Poseen estructuras cilíndricas verticales y subverticales, en forma de U, o cavidades en forma de saco; éstos pertenecen al rango de icnofósiles de vivienda. Los organismos que los producen suelen ser sedimentívoros y suspensívoros, es decir se alimentan de los nutrientes suspendidos en el agua o arrastrados en el sedimento a causa del oleaje o corrientes.

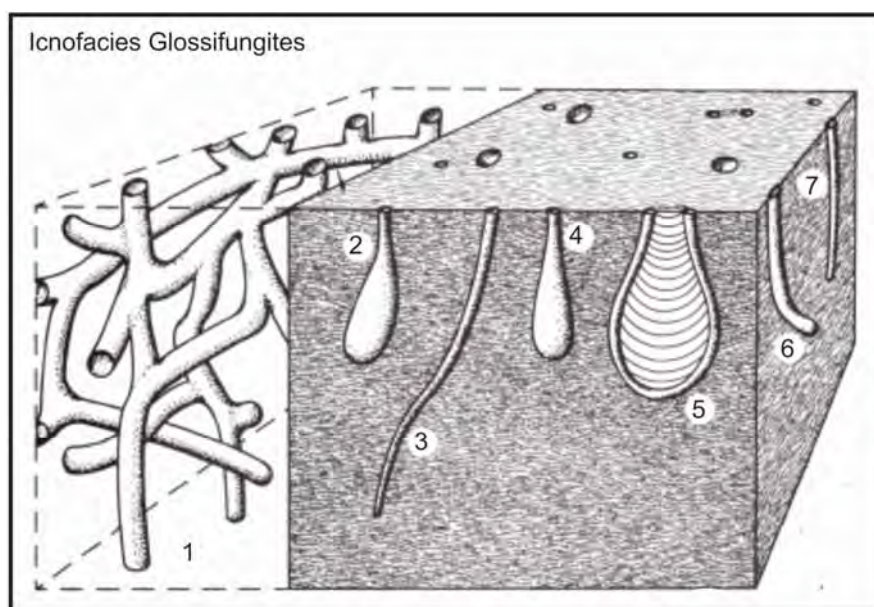


Los ejemplos típicos de la icnofacies *Glossifungites* ha sido reconocida en ambientes marinos marginales o someros (Pemberton *et al.*, 1992), sin embargo también ha sido reportado en ambientes marinos profundos asociados con cañones submarinos (Hayward, 1976).

Los icnogéneros más comunes de esta facies son *Diplocraterion*, *Skolithos*, *Psilonichnus*, *Arenicolites*, *Conichnus*, *Bergaueria* y *Gastrochaenolites*, otras estructuras que constituyen esta facies *Spongiomorpha*, *Rhizocorallium*, *Thalassinoides* y *Fuersichnus* (MacEachern y Burton, 2000).

Cuando en la icnofacies *Glossifungites* se observa la presencia de *Zoophycos*, *Thalassinoides* y/o *Rhizocorallium* se puede asociar a un depósito de tipo offshore (MacEachern *et al.*, 2000), por lo tanto esta asociación de icnogéneros sugiere una facies distal de *Glossifungites* (figura 47).

La icnofacies *Glossifungites* es muy escasa en la zona de estudio, sin embargo se pudieron determinar los icnogéneros *Gastrochaenolites* algunas veces acompañados de *Thalassinoides* y con restos de *Rhizocorallium* en afloramientos o estratos cercanos (figura 48). Esta icnofacies se presenta únicamente en afloramientos cercanos a los grandes deslizamientos o slumps.



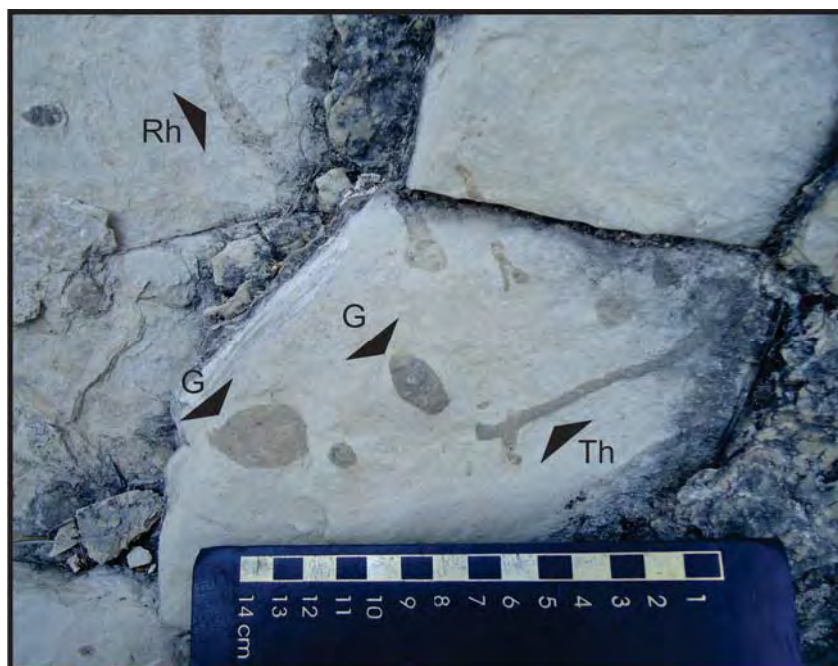
Ekdale *et al.*, 1984.

Figura 47.  
Representación esquemática de los icnofósiles caracterizados de la icnofacies *Glossifungites*:  
1) *Thalassinoides*; 2 y 4) *Gastrochaenolites*; 3 y 7) *Polychaete*; 5) *Rhizocorallium*, 6) *Psilonichnus*.



Figura 48: Fotografía de arenisca de grano fino donde se observa la asociación de galerías que permitió la diferenciación de la icnofacies Glossifungites en la zona de estudio.

G: Gastrochaenolites;  
Th: Thalassinoides;  
Rh: Rhizocorallium.



### ***Cruziana***

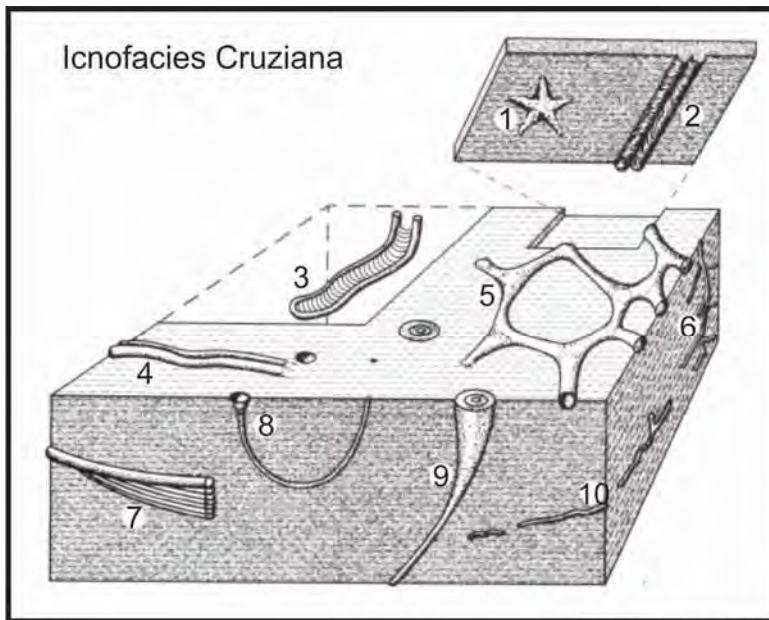
La icnofacies *Cruziana* representa una de las más amplias asociaciones de icnofósiles. Se desarrolla en sedimento pobremente clasificado, no cohesivo, arenas de grano fino, limos, wackestones y packstones. Se encuentra en un ambiente de plataforma media a externa, entre la línea de marea baja y el nivel de base del oleaje, con profundidades de 10 a 100 metros aproximadamente, varía de condiciones de moderada a baja energía (offshore a shoreface) y de salinidad uniforme.

Se caracteriza por estructuras horizontales, verticales e inclinadas, que son resultado de una amplia variedad de categorías etológicas, incluyendo locomoción, alimentación, descanso y vivienda. Las principales fuentes de alimento son nutrientes en suspensión, alimento transportado por corrientes, nutrientes depositados y la depredación; predominan los rastros producidos por fauna móvil y en menor proporción túneles de viviendas permanentes, esta mezcla de estructuras originan gran diversidad y abundancia de icnofósiles.

*Asteriacites*, *Cruziana*, *Rhizocorallium*, *Aulichnites*, *Thalassinoides*, *Chondrites*, *Teichichnus*, *Arenicolites*, *Rosselia* y *Planolites* son los principales icnogéneros que conforman esta icnofacies (figura 49 y 50); algunos autores mencionan que la aparición en esta facies de *Thalassinoides* y/o *Chondrites* pueden representar una parte distal de la icnofacies *Cruziana* o cercana a *Zoophycos* (Bressan y Palma, 2009), perteneciendo así a la parte baja de la zona de transición-offshore a la zona de offshore (figura 50).



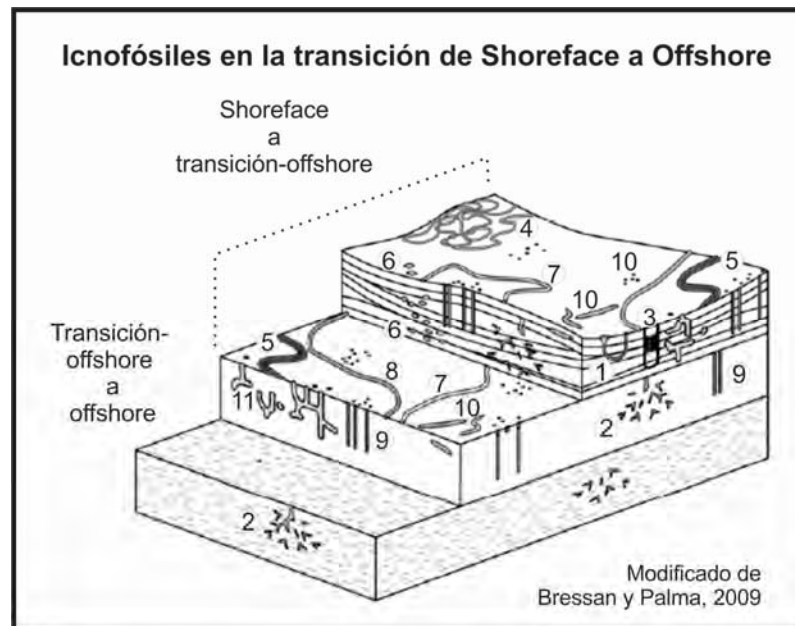
Consecuentemente, para la zona de estudio se consideró como icnofacies *Cruziana* distal a la asociación de los icnogéneros *Thalassinoides*, *Rhizocorallium*, *Teichichnus* y *Taenidium* (figura 51), al igual que la icnofacies Glossifungites se presenta en zonas cercanas a los grandes deslizamientos marcados en el mapa de este proyecto como megabrecha.



Ekdale et al., 1984.

Figura 49. Icnogéneros que componen la icnofacies Cruziana: 1) Asteriacites; 2) Cruziana; 3) Rhizocorallium; 4) Aulichnites; 5) Thalassinoides; 6) Chondrites; 7) Teichichnus; 8) Arenicolites; 9) Rosselia; 10) Planolites. Ekdale et al., 1984.

Figura 50. Esquema donde se representa el cambio de la icnofacies Cruziana en la transición de shoreface a offshore. Icnogéneros: 1) Arenicolites; 2) Chondrites; 3) Diplocraterion; 4) Gordia; 5) Gyrochorte; 6) Lockeia; 7) Palaeophycus; 8) Planolites; 9) Skolithos; 10) Taenidium; 11) Thalassinoides. Modificado de Bressan y Palma, 2009.



Modificado de Bressan y Palma, 2009



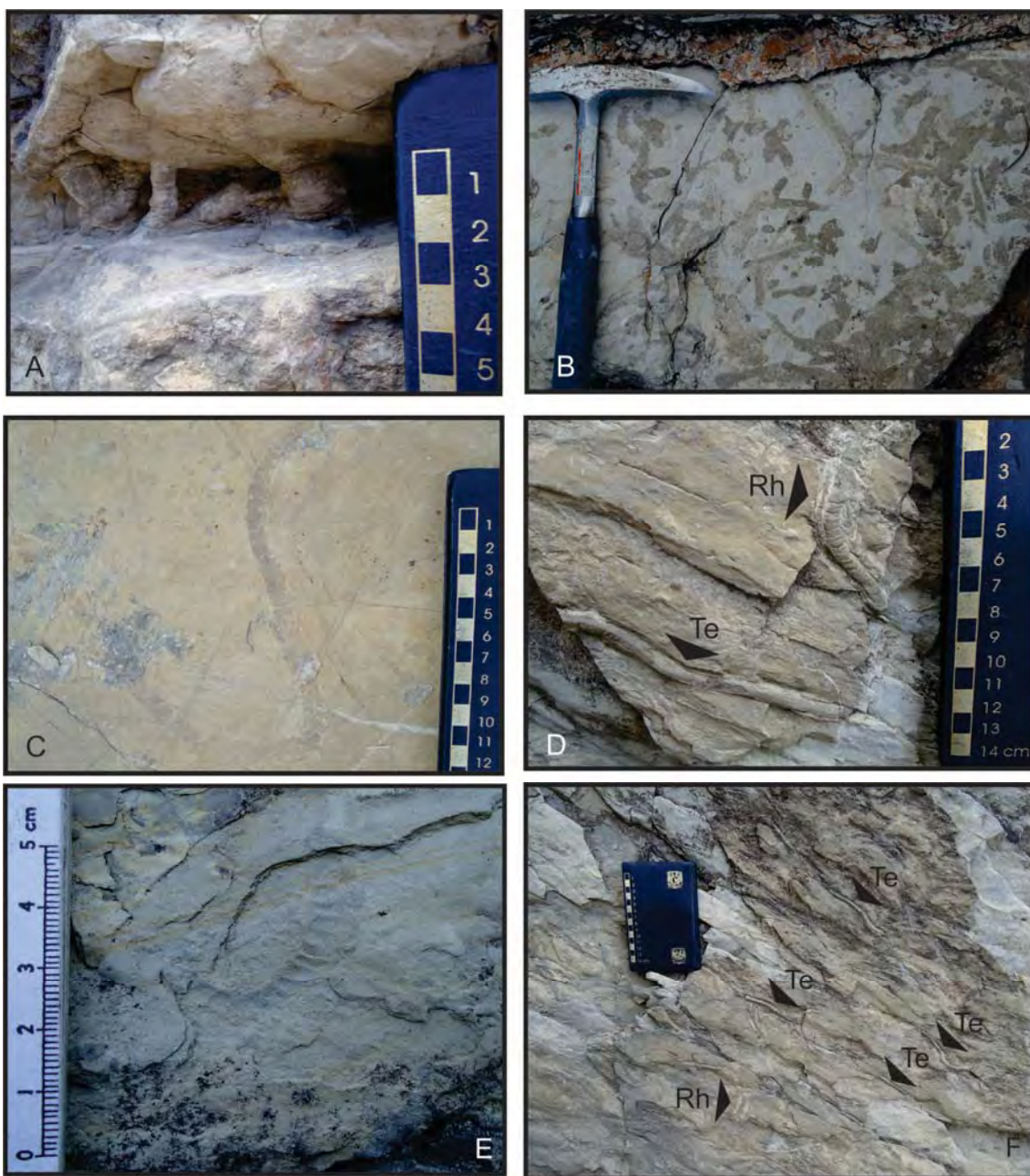


Figura 51. Fotografías de icnofósiles observados en la formación Tecali que definen la icnofacies Cruziana distal. A y B) *Thalassionoides*; C) *Rhizocorallium*; D y F) *Rhizocorallium* (Rh) y *Teichichnus* (Te); E) *Taenidium*



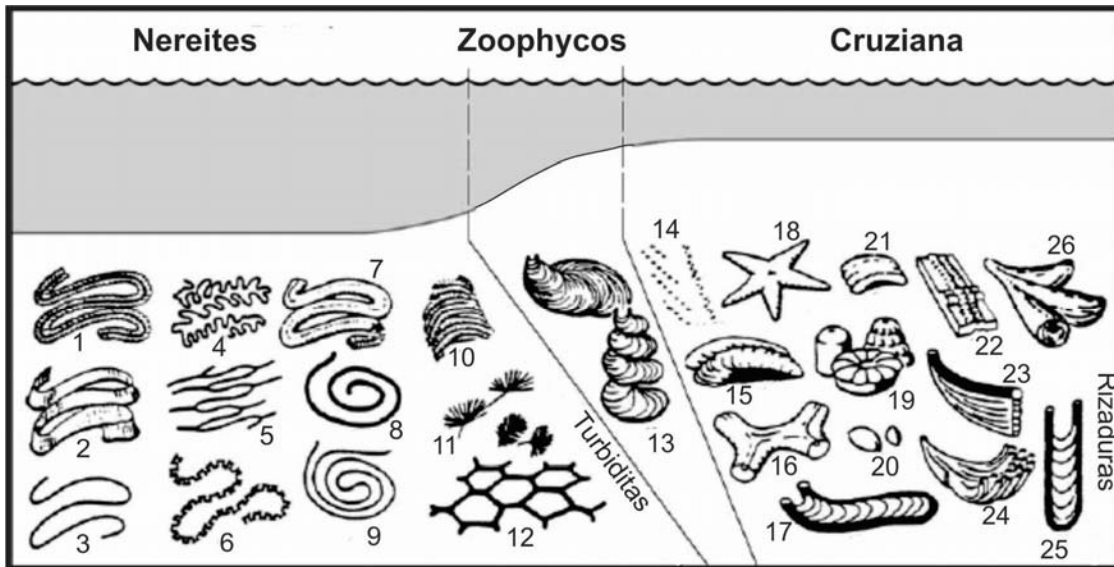
## Zoophycos

Esta icnofacies se caracteriza por su baja diversidad, pero las estructuras pueden llegar a ser abundantes, se encuentran comúnmente en lutita, limolita, arenisca de grano fino, mudstone, wackestone. Cuenta con galerías relativamente simples a moderadamente complejas, típicamente planares o ligeramente inclinadas, en forma de capas, cintas, lóbulos o espirales.

Se distingue por desarrollarse en fondos tranquilos, donde son perturbados por tormentas o por eventos turbidíticos, bajo estas condiciones la bioturbación tiene el tiempo para destruir completamente la fábrica de depósito original y sólo el nivel más bajo de las galerías son preservadas.

La icnofacies *Zoophycos* tiene un amplio rango de batimetría, pero el más común se reporta entre las icnofacies *Cruziana* y *Nereites* (figura 52), en una posición más o menos correspondiente con el talud continental (de 100 a 2000 m. aproximadamente). Uno de los controles ambientales principales para esta icnofacies es el nivel bajo de oxígeno, asociado con la acumulación de detritos orgánicos.

Los icnogéneros determinantes para esta icnofacies son *Zoophycos*, *Lorenzina*, *Phycosiphon* y *Spirophyton* (Pemberton *et al.*, 1992), algunas veces *Thalassinoides*, *Chondrites* y *Scolicia* (MacEachern *et al.* 2008) (figura 52).



Modificado de Seilacher, 2007

Figura 52. Esquema donde se muestran los icnogéneros que definen las icnofacies *Cruziana*, *Zoophycos* y *Nereites* con sus respectivas estructuras sedimentarias relacionadas. 1) *Nereites*; 2) *Dictyodora*; 3) *Helminthoidea*; 4) *Cosmorhaphie*; 5) *Urohelminthoidea*; 6) *Paleomeandron*; 7) *Scolicia Meanders*; 8) *Spirophytus*; 9) *Spirorhaphie*; 10) *Lophoctenium*; 11) *Oldhamia*; 12) *Paleodictyon*; 13) *Zoophycos*; 14) huellas de Artropodo; 15) *Cruziana*; 16) *Ophiomorpha*; 17) *Rhizocorallium*; 18) *Asteriacites*; 19) *Actinian*; 20) *Lockeia*; 21) *Curvolithus*; 22) *Gyrochorte*; 23) *Teichichnus*; 24) *Phycodes*; 25) *Diplocraterion*; 26) *Asterosoma*. Modificado de Seilacher, 2007.



En la porción norte de la zona de estudio se encontraron los icnogéneros *Zoophycos* en mayor abundancia, cabe mencionar que esta icnofacies se observó en el trabajo de campo entre las icnofacies *Cruziana* y *Nereites*, siempre en zonas muy marcadas (figura 53).

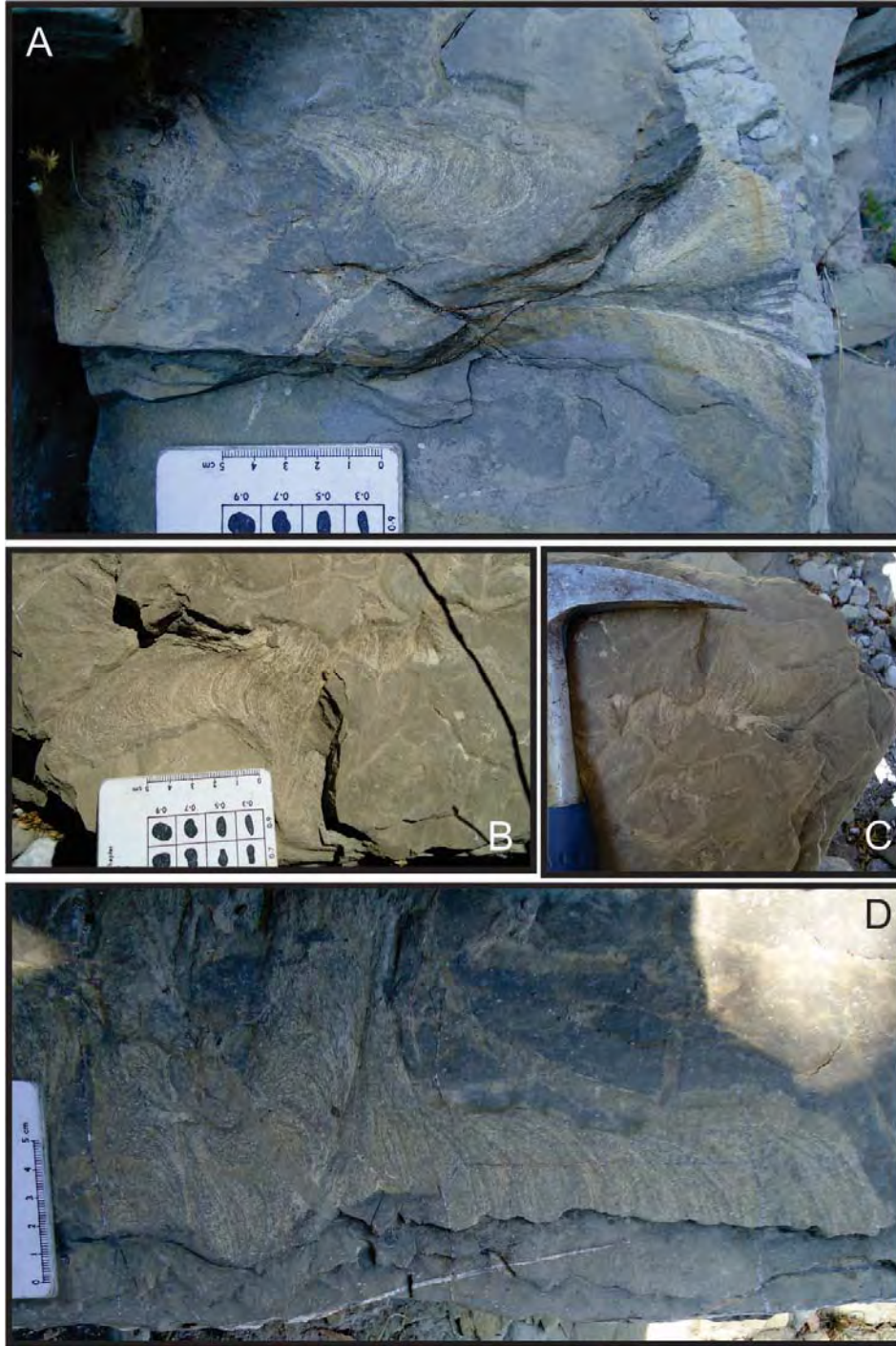


Figura 53. Fotografías donde se muestran diferentes afloramientos de la formación Tecali donde se observó el icnogénero *Zoophycos*, en las figuras A y C el icnofósil se conservó en diferentes capas dentro del estrato, mientras que en las fotografías B y D sólo se conservó la parte más profunda de la galería.



## *Nereites*

Los patrones y estructuras de las galerías, reflejan un comportamiento eficiente y muy bien organizado de estos organismos perforadores-alimentadores, generalmente son planares, aunque también las hay espirales, polilobulados y de otras formas más complejas. Esta icnofacies cuenta con una baja abundancia pero gran diversidad de ejemplares (Pemberton *et al.*, 1992).

Se desarrollan en aguas profundas, desde la zona batial hasta la abisal (1000 a 5000 m. de profundidad aproximadamente), en aguas tranquilas pero bien oxigenadas, estos lugares regularmente son perturbados por eventos de gravedad y por flujos turbidífticos (Pemberton *et al.*, 1992).

Los icnogéneros *Helminthoidea*, *Taphrhelminthopsis*, *Paleodictyon*, *Spiroraphe*, *Cosmoraphe* y *Nereites* son los principales en esta icnofacies (figura 52) (Seilacher, 2007).

Esta facies fue descrita en la parte norte de la zona de estudio de acuerdo a la observación del icnogénero *Nereites*, el cuál es el más distintivo de esta icnofacies (figura 54).



Figura 54. Fotografías de diferentes afloramientos donde se observó el icnogénero *Nereites*.





## Capítulo V. Geología estructural del área

Las principales estructuras geológicas en la Sierra del Tentzo son pliegues, fallas normales, inversas y laterales. A escala regional se infiere, por las edades paleontológicas, la presencia de un corrimiento tipo cabalgadura, hacia la base de la formación El Tentzo (Cabalgadura del Tentzo). Además de estas estructuras se infiere, por la naturaleza de la sedimentación, la existencia de una falla normal sinsedimentaria (Falla Grande). A continuación se describen dichas estructuras:

### Cabalgadura del Tentzo y Falla Grande

En la sección geológica y en el mapa se observa claramente la diferencia en la estratigrafía de la margen sur con respecto a la margen norte de la Sierra del Tentzo. En la margen sur aflora el basamento seguido de capas rojas cretácicas que a su vez son cubiertas transicionalmente por la formación El Tentzo. En cambio en la margen norte no aflora el basamento, y la unidad más antigua es la formación Tecali (clástica) que cambia transicionalmente hacia arriba de la columna a la formación Chiapa (calcárea). En la parte alta del flanco norte de la sierra, la formación El Tentzo descansa sobre la formación Chiapa con una zona de contacto deformada. El contraste de edades y la zona de deformación sugieren que dicho contacto es tectónico, de bajo ángulo y que corresponde, por las diferencias de edad a una cabalgadura. La deformación en la zona de contacto está constituida por pliegues isoclinales, algunos tipo funda, zonas de poco espesor de cizalla y el desarrollo de clivaje apretado en las zonas con lutitas. A esta falla se le denomina Cabalgadura del Tentzo, y por la relación de corte con la cubierta sedimentaria se le asigna una edad post-Santoniana.

Las características sedimentológicas de la formación Chiapa y la composición clástica de la formación Tecali, la edad y espesores de estas unidades estratigráficas sugieren que existió en la zona un escarpe durante el tiempo del depósito de la formación Tecali. La presencia de bloques caídos con las características sedimentológicas y composicionales de la formación El Tentzo, los pliegues sinsedimentarios y brechas intraformacionales dentro de las sucesiones turbidíticas de la formación Tecali, nos hace inferir que este escarpe estuvo asociado a una falla activa del Albiano Superior al Cenomaniano Inferior, siendo esta edad la correspondiente al depósito de la cima de las formaciones Tecali y El Tentzo, a esta falla sinsedimentaria se le denominó Falla Grande. Para este proyecto no fue posible determinar la cinemática de esta falla sinsedimentaria, pero se infiere que este plano de falla fue un plano de debilidad que en una edad post-Santoniana fue reactivada como la Cabalgadura del Tentzo.



## Pliegues

En el trabajo de campo se observó que las formaciones Tecali y Chiapa esencialmente presentan pliegues con charnelas muy angulosas (tipo chevrón y kink, ver figura 55), pliegues cerrados con charnelas angulosas y flancos planos (pliegues angulosos), pliegues muy cerrados cuyas líneas de charnela no son preservadas y flancos planos (isoclinales); y algunas veces pliegues abiertos con charnelas subredondeadas y flancos planos a ligeramente curvados (pliegues subredondeados); hacia el norte de la zona llegan a aparecer pliegues de tipo funda y disarmónicos. Principalmente los ejes axiales de los pliegues medidos en estas formaciones tienen una orientación preferencial NW-SE siendo algunos casi E-W.



Figura 55. Pliegue chevrón en la zona de estudio.

Para las capas de carbonatos de la formación El Tentzo se observan pliegues más abiertos, definiendo en el flanco sur de la Sierra una deformación ligera donde la orientación preferencial de los planos axiales de los pliegues es NW-SE.

Las capas rojas de la Formación Agua del Cordero poseen una deformación intensa, por lo que en el sur de la zona de estudio se observan pliegues muy cerrados y a veces volcados en diferentes direcciones, para este nivel estratigráfico no se midieron rumbos y echados a detalle.

## Otras fallas inversas

En el camino que va del poblado de Atotonilco a San Nicolás Huajuapán, fuera del área de estudio, se observó un contacto por falla inversa, del Complejo Acatlán sobre las capas rojas.



Regionalmente se puede observar que los pliegues de la Sierra del Tentzo tienen una vergencia hacia el norte; y al sur del poblado Sn. Nicolás Huajuapán, fuera del área de estudio, se observan escamas de basamento cabalgando a las capas rojas de la Formación Agua del Cordero.

### **Fallas laterales y normales**

Al oeste de San José Balvanera, se describió una falla lateral derecha por medio de indicadores cinemáticos como espejos de falla, estrías y crecimiento de cristales en media luna. Dicha falla se puede seguir a lo largo de planos paralelos entre si con una orientación preferencial SE-NW algunas veces N-S, desde el noroeste del área de estudio hasta el Cerro Coyotepec, al norte de San Nicolás Huajuapán.

En el flanco sur de la Sierra del Tentzo se definió por fotogeología una falla con 8 km de largo aproximadamente, dicha falla se orienta paralelamente a la sierra, en el trabajo de campo no se hizo una colecta de datos detallados de esta estructura por lo que no se determinó su sentido.



## Capítulo VI. Discusión

De acuerdo con el trabajo de campo, la descripción de las columnas estratigráficas medidas, el análisis y descripción de seis facies y cuatro asociaciones de facies, la caracterización y descripción de cuatro icnofacies y la petrografía de las láminas delgadas de muestras colectadas, se llegó a la siguiente interpretación del ambiente de depósito y probable procedencia para las formaciones litoestratigráficas presentes:

### VI.1 Ambientes de depósito.

La Formación Tecali se encuentra sintetizada en las columnas estratigráficas ubicadas en las cercanías del Cerro Colorado (figuras 34 y 35), esta formación estratigráfica está conformada por las asociaciones de facies AF-A y AF-S. Mientras que la parte transicional entre las formaciones Tecali y Chiapa, así como la base de la formación Chiapa se encuentra caracterizada por las columnas estratigráficas descritas al NE de San Isidro Chiapa (figuras 38, 39 y 40); en las que se definieron las asociaciones de facies AF-B y AF-C, teniendo frecuentemente a la asociación de facies AF-S.

Las cinco asociaciones de facies se han considerado para determinar un ambiente sedimentario. Las columnas estratigráficas, la descripción de sus facies y los afloramientos observados en el trabajo de campo se compararon con el modelo de depósitos de aguas profundas de Posamentier y Walker (2006), definiendo así una correspondencia con un ambiente de talud (figura 56). Este cuerpo de sedimento fue depositado por procesos de flujo de masas, principalmente por corrientes de turbidez.

La formación Tecali contiene la mayor diversidad y abundancia de icnofósiles, se encontraron ocho icnogéneros, de los cuales principalmente se observaron *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Taenidium*, *Rhizocorallium*, *Zoophycos*, *Nereites* y escasamente *Lorenzia* y *Gastrochaenolites*. Definiéndose de esta manera cuatro icnofacies: una facies distal de *Glossifungites*, *Cruziana* distal, *Zoophycos* y *Nereites*. Cuyas batimetrías corresponden desde una zona sublitoral, pasando por una zona batial hasta llegar a profundidades abisales, según la distribución ambiental propuesta por Pemberton *et al.* (1992) van desde 200 hasta 2000 metros de profundidad (figura 56). Sin embargo, las primeras dos icnofacies se encontraron en zonas aledañas a los grandes deslizamientos, su presencia sólo indica que los sedimentos acarreados por las corrientes de turbidez provienen de la zona batial y por lo tanto los organismos causantes de estas huellas sólo vivieron por poco tiempo en el sustrato causando un escaso registro en las turbiditas. Por otro lado la mayor densidad de icnogéneros pertenecen a las icnofacies *Zoophycos* y *Nereites*, ocurriendo en la mayor parte de la formación Tecali, extendiéndose en la mayoría de la parte norte de la zona de estudio, lo que nos lleva a pensar en un ambiente más profundo y más alejado del talud para la base estratigráfica de esta formación.



La presencia esporádica de la asociación de facies (caracterizadas por bloques y slumps con olistolitos) en las Formaciones Tecali y Chiapa, nos hace pensar en una pendiente pronunciada e inestable o en un escarpe de dimensiones considerables, por esta razón se propone la existencia de una paleo falla (Falla Grande), cuyo bloque levantado estaba probablemente cubierto por un arrecife o un ambiente marino somero; esta última inferencia se hace por el contenido fosilífero de los bloques incluidos en las brechas y por las especies de microfauna encontradas en lámina delgada (figura 56).

La intercalación de las asociaciones de facies AF-B, AF-C y AF-S marcan la transición entre las formaciones Tecali y Chiapa, hasta que la presencia de éstas asociaciones es mínima y domina la facies caliza-lutita; ésta última facies junto con su contenido fosilífero planctónico describe un depósito de mar abierto o profundo.

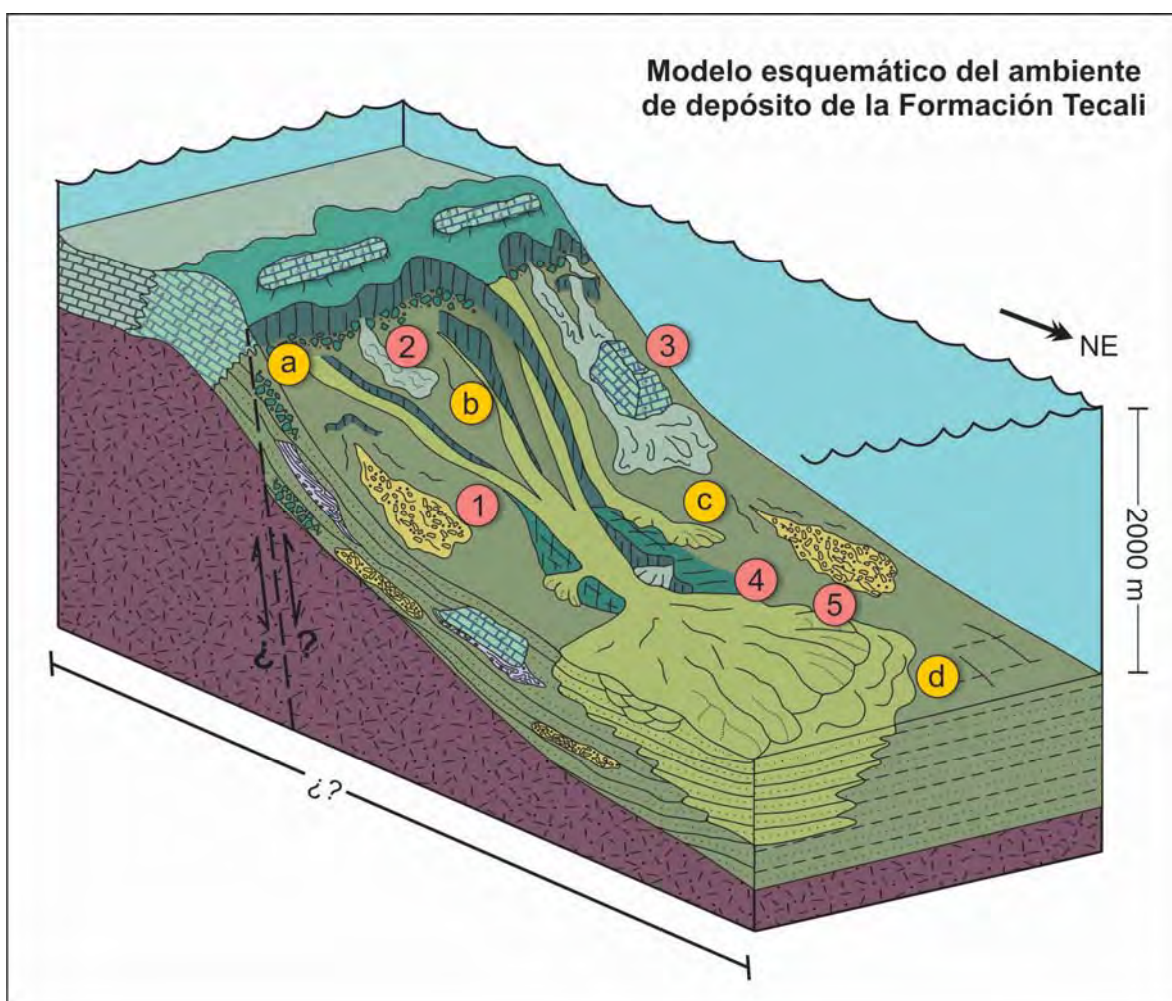


Figura 56. Modelo esquemático del sistema de depósito para la Formaciones Tecali y Chiapa. Donde los círculos amarillos señalan las icnofacies reconocidas: a) *Glossifungites distal*, b) *Cruziana distal*, c) *Zoophycos*, d) *Nereites*; y los círculos rosas los elementos sedimentarios: 1) brechas intraformacionales, 2) pliegues sinsedimentarios, 3) bloques caídos, y los subambientes de depósito 4) abanico submarino interno, 5) abanico submarino medio.



## VI.2 Procedencia de la Formación Tecali

Las muestras seleccionadas para el análisis modal según su ubicación estratigráfica van de la más antigua a la más joven en el siguiente orden: T-309, T-308, T-8, T-145 y T-215, cabe mencionar como se hizo en los capítulos anteriores que la muestra T-309 se colectó fuera del área de estudio, al norte de ésta.

En el análisis modal de las areniscas seleccionadas para esta formación se observaron como fuente principal los líticos calcáreos, granos de cuarzo y feldespato potásico. En este subcapítulo se utilizarán los diagramas petroectónicos de Dickinson (1985) para analizar la procedencia de las areniscas de la formación Tecali, sin embargo de acuerdo con el autor estos diagramas sólo se pueden aplicar a areniscas siliciclásticas, por lo que debido al importante componente calcáreo en las muestras seleccionadas se decidió hacer algunas modificaciones en los criterios de los diagramas, dichas aclaraciones se harán en cada una de las discusiones que a continuación se presentan:

Si en el diagrama ternario Qp-Lv-Ls propuesto por Dickinson en 1985 (figura 57), agregamos los líticos carbonatados a Ls, podemos observar que el aporte siliciclástico disminuye y el aporte de material carbonatado aumenta progresivamente en la formación Tecali.

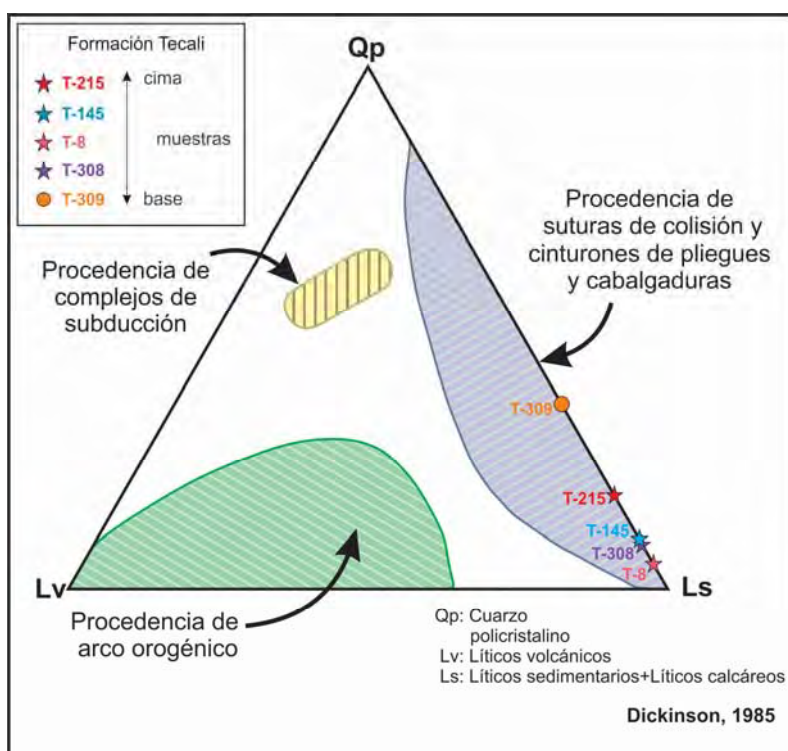


Figura 57. Diagrama ternario Qp-Lv-Ls (Dickinson, 1985) donde se muestran el principal aporte de líticos sedimentarios (para este caso se agregaron los líticos calcáreos a los líticos sedimentarios) y cuarzo policristalino en el análisis composicional de las areniscas seleccionadas.

De acuerdo con los diagramas petroectónicos de Dickinson (1985), se puede observar que las muestras de areniscas seleccionadas pueden referirse principalmente a la



procedencia de orógenos reciclados, como se muestra en los diagramas Qt-F-L y Qm-F-Lt (figuras 58 y 59).

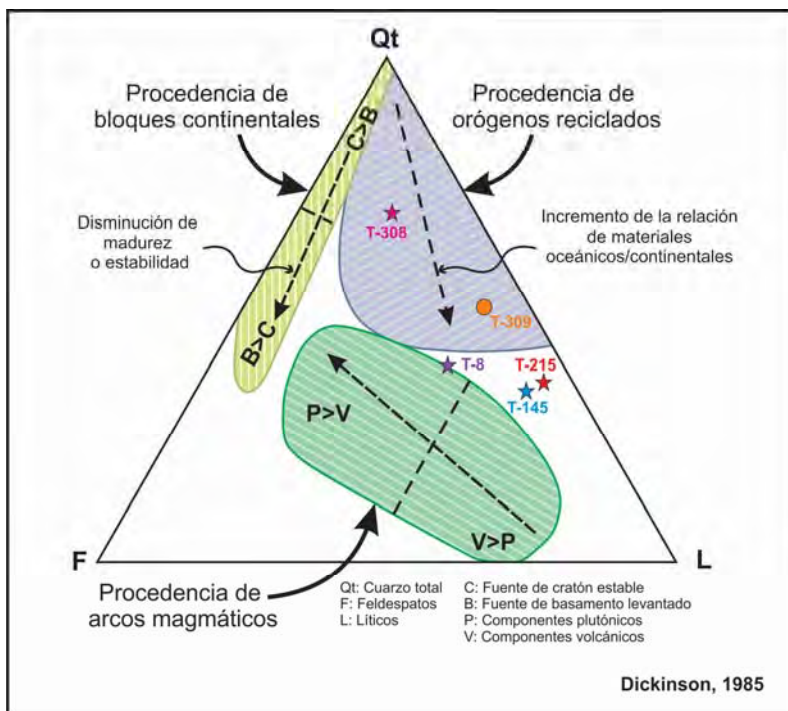


Figura 58. Diagrama ternario Qt-F-L (Dickinson, 1985) donde se muestran graficadas las cinco muestras de areniscas para determinar su ambiente tectónico.

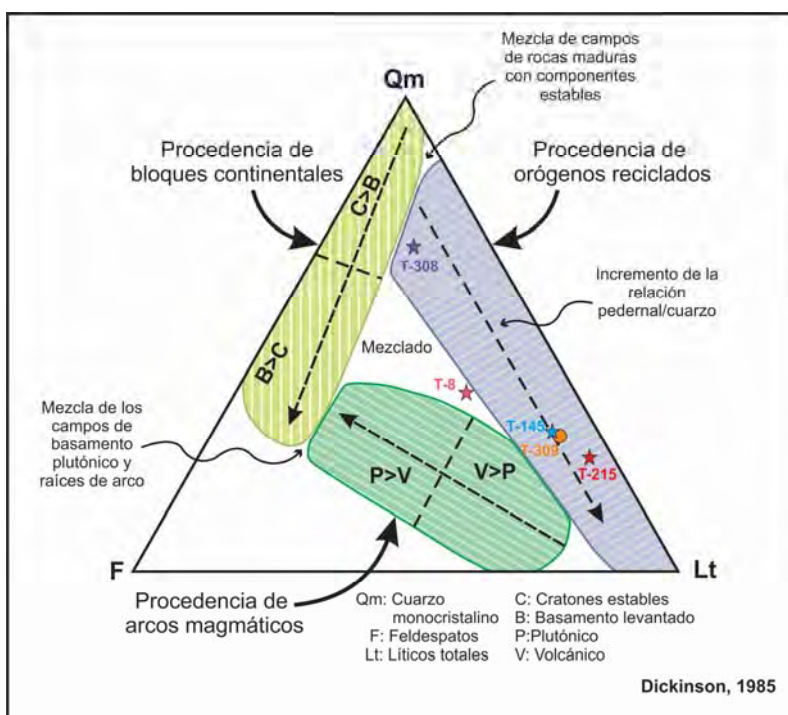


Figura 59. Diagrama ternario Qm-F-Lt (Dickinson, 1985) donde se muestran graficadas las cinco muestras de areniscas para determinar su ambiente tectónico, este diagrama hace especial énfasis en la roca fuente de las areniscas seleccionadas.



Pero si graficamos las muestras seleccionadas en estos diagramas sin los líticos calcáreos (figuras 60 y 61), se observa la relativa abundancia de cuarzo con respecto a los feldespatos y una total ausencia de líticos, lo que nos lleva a una procedencia de bloques continentales. Y podemos asumir que el cuarzo total (cuarzo monocristalino y policristalino) que recibió la base estratigráfica de esta formación proviene posiblemente de la erosión de intrusivos o metaintrusivos, es decir de una corteza continental sin desarrollo de un arco (una margen pasiva). La esporádica ocurrencia de moscovita en estas areniscas nos habla de una fuente lejana, ya que por su hábito laminar es capaz de viajar por grandes distancias, y la asociación de cuarzo de grano fino y moscovita de grano grueso indican una gran cantidad de transporte.

Tomando en consideración la estratigrafía regional y con base en la composición de clastos se infiere que la fuente ubicada al sur, siendo esta probablemente el Tronco de Totoltepec.

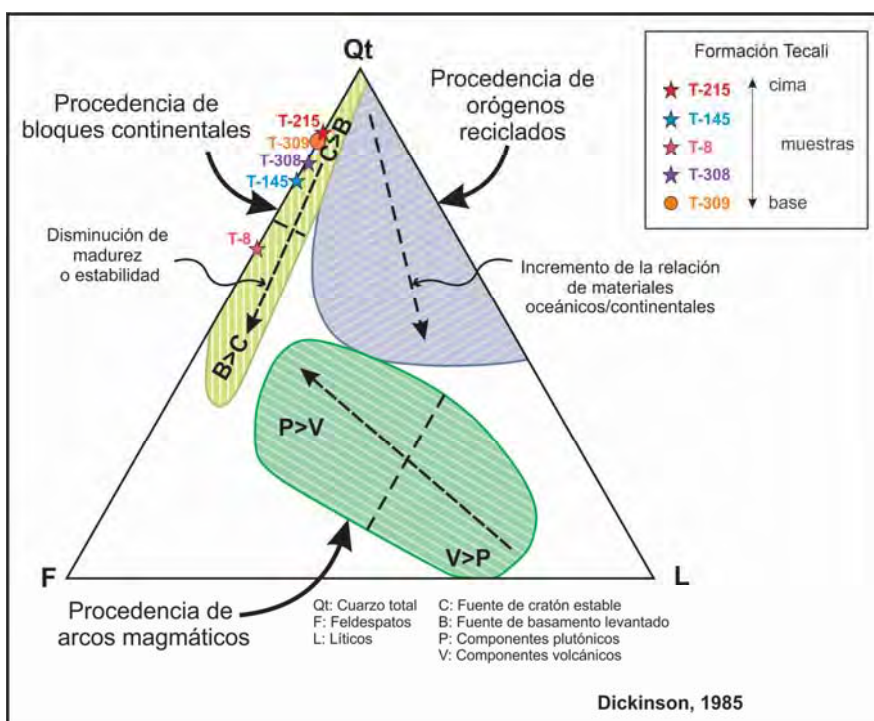


Figura 60. Diagrama ternario Qt-F-L (Dickinson, 1985) donde se muestran graficadas las cinco muestras de areniscas sin componentes calcáreos para determinar su ambiente tectónico.





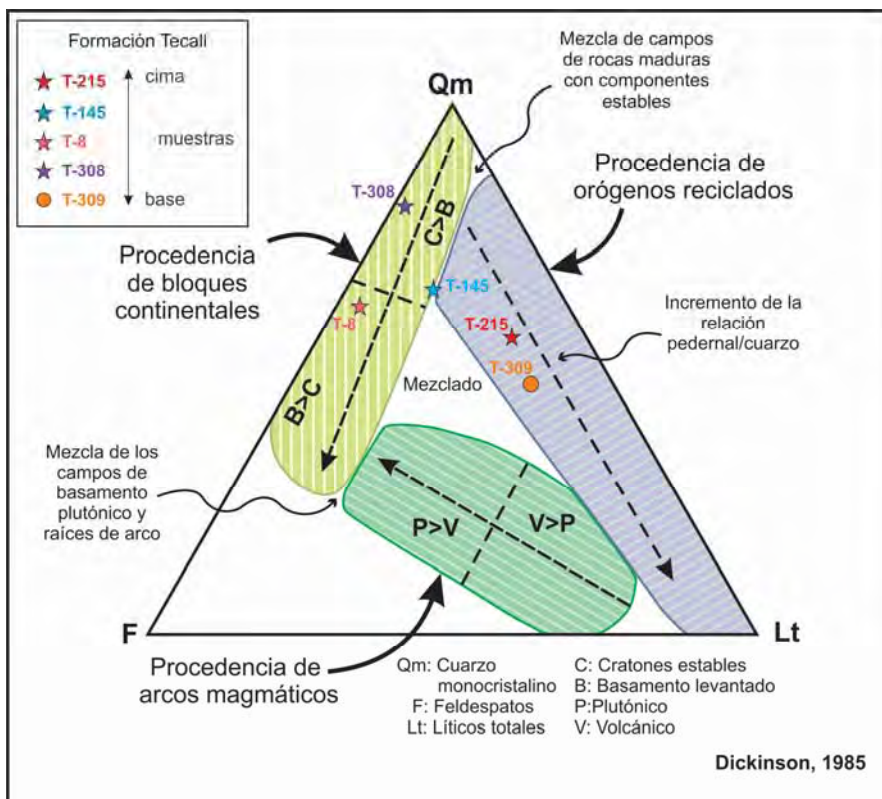


Figura 61. Diagrama ternario Qm-F-Lt (Dickinson, 1985) donde se muestran graficadas las cinco muestras de areniscas sin componentes calcáreos para determinar su ambiente tectónico, este diagrama hace especial énfasis en la roca fuente de las areniscas seleccionadas.

El campo asignado a la procedencia de orógenos reciclados, que encierra dos de las muestras en el diagrama Qm-F-Lt (Figura 61) se asocia con el ambiente tectónico caracterizado por cinturones de pliegues y cabalgaduras, y tres muestras corresponden a una procedencia de bloques continentales (figura 61), por lo que la cuenca en que se depositó esta formación puede interpretarse de dos maneras: 1) que era una cuenca adyacente a un cinturón de este tipo, por lo que se infiere que sea una cuenca de tipo antepaís; 2) que la composición esté dominada por la erosión de una corteza continental, por lo tanto la cuenca también pudiera haberse formado junto a un alto de basamento en un ambiente de extensión o de rift.

De estas dos opciones, podemos descartar la primera debido a que si la procedencia fuera directamente de un orógeno reciclado, esperaríamos encontrar una arenisca rica en líticos sedimentarios o metasedimentarios siliciclásticos, lo que para Dickinson se clasifica como litarenita; en el caso de las areniscas de la formación Tecali se puede observar la total ausencia de este tipo de clastos. Por otro lado, la segunda opción hace referencia a una procedencia de bloques continentales, si quitamos todos los clastos carbonatados obtenemos una composición arcósica, típica de un rift, lo que nos hace concluir que la formación Tecali se depositó en un ambiente de extensión.

Y por último la disminución progresiva de fuentes terrígenas en estas areniscas y la abundancia de componentes carbonatados nos habla de que a lo largo de la



sedimentación en esta cuenca se fueron cubriendo poco a poco estas fuentes por el progresivo desarrollo de un ambiente carbonatado, esto sería un indicativo del ascenso del nivel del mar para esta época.

### **VI.3 Evolución tectonoestratigráfica de la Sierra del Tentzo.**

#### **Cretácico Inferior Barremiano-Albiano**

La Sierra del Tentzo inicia en el marco tectonoestratigráfico de la apertura del Golfo en el sur de México, formándose como una de las cuencas extensionales asociadas a dicho proceso, sobre un basamento, el complejo Acatlán.

Para el Barremiano, cuando ya existían cuencas con sedimentación marina en el oriente, en esta zona predominaba un ambiente continental y de transición; dicha sedimentación quedó registrada en la Formación Agua del Cordero. Esta formación registra una sedimentación continental y hacia su cima el inicio de un ambiente marino somero para dar paso a la acumulación de paquetes calcáreos de la Formación Tentzo.

#### **Cretácico Inferior-Cretácico Superior Albiano-Cenomaniano**

Para el Aptiano hasta el Cenomaniano la Formación Tentzo corresponde a un ambiente arrecifal, este arrecife se caracteriza por su desarrollo en el borde de una pendiente poco estable que dio origen a la formación de turbiditas, conglomerados intraformacionales y mucha deformación sinsedimentaria dentro de la Formación Tecali, así como los grandes bloques caídos derivados de la zona arrecifal de la Formación Tentzo y depositados en la Formación Tecali.

Los cambios en la composición de la formación Tecali, se dan por un cambio en las fuentes erosionadas, siendo la base de esta formación el producto de la erosión de una fuente intrusiva o metaintrusiva, y la cima de naturaleza más calcárea, debido a que las fuentes erosionadas fueron cubiertas poco a poco por plataformas carbonatadas, esto tal vez por un incremento en el nivel del mar.

Este talud se asocia a una falla activa para ese tiempo, cuya cinemática se desconoce, esta falla sinsedimentaria nombrada como Falla Grande estuvo activa por lo menos desde el Albiano Superior hasta el Cenomaniano. Para finales del Cenomaniano esta cuenca se profundiza, tal vez por el mismo efecto de la falla activa, iniciándose el depósito de la formación Chiapa con la presencia esporádica de pliegues sinsedimentarios y brechas intraformacionales en su base, indicando la persistencia de un relieve inestable cercano.

A la Cabalgadura del Tentzo se le asigna una edad post-Santoniana, por la relación de corte con la cubierta sedimentaria, y se interpreta como la reactivación de la Falla Grande.



La cabalgadura del Tentzo y los pliegues observados en el área se han considerado como parte de la Deformación Larámide. Para Silva-Romo (2010) la deformación observada en la Sierra del Tentzo se relaciona al sistema de fallas Papalutla, que actuó como una falla importante durante la Orogenia Laramide para la Plataforma Guerrero Morelos y para la zona de Valsequillo, y que puede ser la causante de la reactivación como falla inversa de la Falla Grande.

### **Cenozoico**

Para finales del Cretácico y principios del Cenozoico, el sistema de Fallas Papalutla, jugó un papel muy importante en la sedimentación de la zona, dicha falla tuvo una cinemática lateral izquierda en involucró al basamento, tuvo un arreglo escalonado a la izquierda, y en algunas zonas a la derecha, en estas últimas zonas generó fallas inversas, lo cual nos hace pensar en una reactivación de la falla Cretácica en la Sierra del Tentzo. Para esta época la región estuvo sujeta a erosión, dando como resultado la fuente de los conglomerados.

De esta forma, para esta edad la Sierra del Tentzo ya se encontraba formada y las unidad sedimentaria correspondiente a la Formación Tentzo cabalgada sobre las formaciones Tecali y Chiapa.



## Conclusiones

- 1) Con base en las observaciones litológicas, petrográficas, sedimentológicas y paleontológicas se reconocieron cinco unidades estratigráficas que se plantearon en dos columnas estratigráficas para la zona de estudio:
  - a) la primera columna, para la zona de San Nicolás Huajuapán, está formada por las unidades: Complejo Acatlán como basamento Paleozoico, la Formación Agua del Cordero del Barremiano-Aptiano, y la Formación Tentzo del Albiano-Cenomaniano;
  - b) como segunda columna estratigráfica, para la región San Antonio Juárez-Tecali, se plantean las formaciones cretácicas Tecali del Albiano-Cenomaniano y Chiapa del Cenomaniano-Santoniano. Y se proponen como unidades cenozoicas en la región San Antonio Juárez- Tecali a la Formación Pie de Vaca del Eoceno y al Miembro Cebolleja de la Formación Ahuehuetes del Oligoceno.
- 2) De acuerdo a las dos columnas medidas y las tres reconstruidas en las localidades Cerro Colorado y San Isidro Chiapa, se determinaron seis facies principales y cuatro asociaciones de facies, las cuales describen un ambiente de depósito de talud para la formación Tecali y para la formación Chiapa un ambiente de mar abierto.
- 3) Se reconocieron ocho icnogéneros en la zona de estudio: *Thalassinoides*, *Teichichnus*, *Taenidium*, *Rhizocorallium*, *Zoophycos*, *Nereites* y escasamente *Lorenzia* y *Gastrochaenolites*, los cuales corresponden con las icnofacies *Glossifungites*, *Cruziana*, *Zoophycos* y *Nereites*, con las que se proponen las paleobatimetrías desde una zona sublitoral hasta una abisal (desde 200 a 2000 metros bajo el nivel del mar). Siendo las primeras tres acarreadas por eventos de flujos gravitacionales, y las últimas dos caracterizan mejor a la zona de estudio por su abundancia y extensión en ella.
- 4) De acuerdo con el análisis composicional de las areniscas pertenecientes a la formación Tecali, está formada por calcarenitas y areniscas híbridas, las cuales corresponden a una procedencia de bloques continentales. La composición y procedencia nos llevan a ubicar a esta cuenca en un ambiente extensional o de rift.
- 5) El cambio de composición nos habla de un desarrollo progresivo de un ambiente carbonatado que cubre poco a poco las fuentes terrígenas debido a un incremento en el nivel del mar.
- 6) El inicio de la sedimentación para esta zona está marcado por la apertura del Golfo de México, siendo la formación Agua del Cordero la transición de un ambiente continental a uno marino somero mientras que al sur cerca de Tehuacán, Pue. ya existía una sedimentación marina. Posteriormente la



formación Tentzo con carácter arrecifal y la formación Tecali de características clásticas nos hablan del avance de un ambiente marino hacia el norte de la región, siendo ésta la cuenca más al noroeste del Cretácico Inferior asociada al marco tectonoestratigráfico de la apertura del Golfo.

- 7) Se planteó un escarpe asociado a una falla sinsedimentaria para el momento del depósito de la Formación Tecali, a dicha estructura se le nombró Falla Grande.
- 8) De acuerdo al trabajo sedimentológico y paleontológico de este proyecto se replanteó la Cabalgadura del Tentzo, donde la formación Tentzo cabalga sobre la formación Chiapa. La Cabalgadura del Tentzo es una reactivación post-Santoniana de la Falla Grande.
- 9) La reactivación de la Falla Grande como la Cabalgadura del Tentzo se debe al sistema de Fallas Papalutla activo durante la Deformación Larámide.
- 10) Durante el Cenozoico la reactivación de las fallas originó el depósito de las unidades lacustres y continentales.



## Referencias

- Aguilera, J.G., 1896, Bosquejo geológico de México: Instituto Geológico de México, Boletines 4, 5 y 6.
- Alencaster, G., 1956, Pelecípodos y gasterópodos de la región de San Juan Raya, Estado de Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana, 2, 47 p.
- Barragan-Manzo, R, Campos-Madrigal, E., Ferrusquia-Villafranca, I., Lopez-Palomino, I., Tolson, G., traductores, 2010. Código estratigráfico norteamericano: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 117, 48 p.
- Bressan, G. S., Palma, R. M. 2009. Trace fossils from the Lower-Middle Jurassic Bardas Blancas Formation, Neuquén Basin, Mendoza Province, Argentina. Acta Geológica Polonica, Vol. 59, No. 2, pp. 201-220.
- Buatois, L., Gabriela, M.M. 2011. Ichnology, Organism. Substrate Interactions in Space and Time, Cambridge University Press, New York, EUA. 370 p.
- Buitrón-Sánchez, B.E., Barceló-Duarte, J., 1980, Nerineidos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Inferior de la región de San Juan Raya, Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología 4(1), 46-55.
- Caballero-Miranda, C., 1990. Geología y anisotropía del Jurásico Continental del área de Huahuapan de León-Petlalcingo Estados de Oaxaca y Puebla: Facultad de Ciencias, UNAM, Tesis de Maestría, 142 p.
- Calderón-García, A., 1956, Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla, en XX Congreso Geológico Internacional, Libreto guía Excursión A-11: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología 4(1), p. 46-55.
- Campa-Uranga, M.F. y P.J. Coney, 198. Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution of Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p 1040-1051.
- Centeno-García, E., 1988. Evolución estructural de la falla de Oaxaca durante el Cenozoico: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. Tesis de Maestría, 156 p. (inédita).
- Centeno García, E., Mendoza-Rosales, C. C., Silva-Romo, G, 2009. Sedimentología de la Formación Matzitzi (Paleozoico superior) y significado de sus componentes volcánicos, región de Los Reyes Metzontla-San Luis Atlotitlán, Estado de Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 26, núm. 1, p. 18-36.
- Collinson, J. D., Thompson, D.B., 1989. Sedimentary Structures. Chapman & Hall, London, 207 pp.
- Dávalos-Álvarez, O.G., Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, Susana A., Martínez-Hernández, E., Ramírez-Arriaga, E. 2007. Estratigrafía cenozoica de la



- región de Tehuacán y su relación con el sector norte de la falla de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 24, núm. 2, p. 197-215.
- De Cserna, Z., 1970, Lower Cretaceous pelecypods and gastropods from the San Juan Raya-Zapotitlan region, State of Puebla, Mexico, en Libro Guía de la excursión México-Oaxaca: México, D.F., Sociedad Geológica Mexicana, 37-50.
  - Dickinson, W. R., 1970. Interpreting detrital modes of graywacke and arkose; *Jour. Sed. Petrology*, v. 40, p. 695-707.
  - Dickinson, W. R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. En *Provenance of Arenites*. Zuffa, G.G. (ed) 1985. D. Reidel Publishing Company, p. 333-361.
  - Ekdale, A. A., Bromley, R. G., Pemberton, S.G. 1984. Chapter 15. Shallow Marine Terrigenous Environments. En: *Ichnology: The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy SEPM Short Course*. Vol. 15. P.183-198
  - Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez-Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., e Iriando, A., 2005. La falla de Caltepec: raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen Conmemorativo del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas de México. 57: 83-110.
  - Embry, AF, and Klován, JE, 1971, A Late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT: *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, v. 19, p. 730-781.
  - Fries Jr., C., 1960. Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México. Instituto de Geología, UNAM, Boletín 60, 236 p.
  - Fries, Carl, y Rincón-Orta, Cesar, 1965, Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 73, p. 57-133.
  - Hayward, B.W., 1976. Lower Miocene bathyal and submarine canyon ichnocoenoses from Northland, New Zealand: *Lethaia*, v. 9, p. 149-162.
  - Helbig, M, Keppie, J.D., Murphy, J.B., Solari, L.A., 2012. U-Pb geochronological constraints on the Triassic-Jurassic Ayú Complex, southern Mexico: Derivation from the western margin of Pangea-A: *Gondwana Research*, v. 22, p. 910-927.
  - Hernández-Láscares, D., Buitron-Sánchez, B., 1992, Bioestratigrafía del Cretácico inferior (Aptiano) en el Cerro Matzitzzi, region de San Luis Atolotitlan, estado de Puebla: *Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología* 5(1), 55-69.
  - INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) Dirección General de Geografía, 2000. Carta Topográfica 1:50,000 Tepeaca E14B54.
  - INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) Dirección General de Geografía, 2003. Carta Topográfica 1:50,000 San Francisco Totimehuacán E14B53.



- Keppie, J.D., Sandberg, C.A., Miller, B.V., Sánchez-Zavala, J.L., Nance, R.D., Poole, F.G. 2004. Implications of Latest Pennsylvanian to Middle Permian Paleontological and U-Pb SHRIMP Data from the Tecamate Formation to Redating Tectonothermal Events in the Acatlán Complex, Southern Mexico. *International Geology Review*, vol. 46, No. 8, p. 745-753.
- Levresse, G., Tritlla, J., Deloule, E. y Pinto-Linares, P., 2007. Is there a Grenvillian basement in the Guerrero-Morelos Platform of Mexico? *Geologica Acta*, Vol. 5, No. 2; p. 167-176.
- MacEachern, J. A.; Burton, J. A., 2000. Firmground Zoophycos in the Lower Cretaceous Viking Formation, Alberta: A Distal Expression of the Glossifungites Ichnofacies. *PALAIOS*, V. 15; p. 387-398.
- MacEachern, J. A., Kerrie, L.B., Pemberton, S.G. y Gingras, M.K., 2008. The ichnofacies paradigm: high-resolution paleoenvironmental interpretation of the rock record. En: MacEachern, J.A., Bann, K.L, Gingras, M.K, y Pemberton, S.G. (eds.). *Applied ichnology. SEPM Short Course notes*, 27-64.
- Magallón-Puebla, S. A., 1991. Estudio sistemático y biométrico de helechos del tipo Pecopteris (Marattiales; Pteridophyta) de la Formación Matzitzi (Permo-Carbonífero), estado de Puebla: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, tesis licenciatura, 110p.
- Mendoza Rosales, 2010. Estratigrafía y facies de las cuencas cretácicas del Sur de Puebla y su significado tectónico. Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis doctoral, 190 p.
- Mendoza-Rosales, C.C., Centeno-García, E., Silva-Romo, G., Campos-Madrigal, E., Pablo Bernal, J., 2010. Barremian rift-related turbidites and alkaline volcanism in southern Mexico and their role in the opening of the Gulf of Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*, No. 295, p. 419-434.
- Miller, W. III. 2007. *Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects*. El Sevier, Amsterdam, 611 p.
- Monroy-Fernández, M. G., y Sosa-Patrón, A. A., 1984, Geología de la Sierra del Tentzo, Puebla, borde norte del terreno Mixteco: boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, tomo XLV, número 1, p. 43-71.
- Morán-Zenteno, D.J., Caballero-Miranda, C.I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., González-Torres, E. 1993. Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico. *Geofísica Internacional*, 32(3), pp. 453-473.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.S., y Ortega-Gutiérrez, F. 1995. Estructura interna de la Falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, volumen 12, número 1: p. 1-8.





- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Silva-Romo, G., Eguiza-Castro, M.H. y Mendoza-Rosales, C.C. 2006. Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the Eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of mayor structures. *Geological Society of America Bulletin*, v. 118, no. 1, p. 238-252.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1978, *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca*; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, vol. 2, núm. 2, p 112-131.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1981, *Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance*. *Geofísica Internacional*, v. 20, p. 177-202.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, S. L. M., Roldan, Q. J., Aranda, G. J. J., Morán Z. D. J., Alaniz, A. S. A., Nieto, S. A. F., 1992. *Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica de la República Mexicana escala 1:2,000,000: México*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Secretaría de Minas e Industrial Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, 74 p.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elias-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macias-Romo, C., Lopez, R., 1999, *Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections: Geology*, v. 27, n. 8, p. 719-722.
- Padilla y Sánchez, R.J., 1973. *Estudio geológico general de la Sierra del Tentzo Estado de Puebla*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura (inédita), 79 p.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., Frey, R. W., 1992. *Trace fossils facies models: environmental and allostratigraphic significance*. En Walker, R.G., James, N. (eds) *Facies Models: Responseto sea level change*. St. Johns, Newfoundland: geological Association of Canada: 47-72.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., Saunders, T., 2004. *Stratigraphic applications of substrate-specific ichnofacies: delineating discontinuities in the rock record*. En: McIlroy, D. (ed.) *The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis*. Geological Society, London, Special Publications, 228 p, 29-62.
- Pemberton, S. G., MacEachern, J. A., 2005. *Significance of Ichnofossils to Applied Stratigraphy*, En: E.A.M. Koutsoukos (ed.), *Applied Stratigraphy*, 279-300. Springer, Netherlands.
- Posamentier, H. W., Walker, R.G., 2006. *Deep-water turbidites and submarine fans. Facies Models Revisted*. Society for Sedimentary Geology, Special Publication 84, p. 399-520.
- Reyeros-Navarro, M. M., 1963, *Corales del Cretácico Inferior de San Juan Raya, Estado de Puebla*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana, 17, 21 p.
- Ruíz, J., Patchett, P.J., and Ortega-Gutierrez, F., 1988, *Proterozoic and Phanerozoic basement terranes of México from Nd isotopic studies: Geological Society of America Bulletin*, v. 100, p. 274-281.



- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., and Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Geological Society of America, Special Paper 278, 153 p.
- Seilacher, A, 2007. Trace Fossil Analysis. Springer, Berlin Heidelberg. 226 p.
- Silva-Romo, G., 2008. Guayape-Papalutla fault system: A continuous Cretaceous structure from southern Mexico to the Chortís block? Tectonic implications: Reply: *Geology*, Online Forum, July 2008, e172, DOI: 10.1130/G25152Y.1
- Silva-Romo, G., 2010. Origen tectónico y evolución de la Cuenca Tehuiztingo-Tepexi, Estado de Puebla, Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, 196 p.
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C. 2008. Laramide Sedimentation and Deformation along Papalutla Fault System. 2008 Joint Meeting of The Geological Society of America, Soil Science Society of America. Geological Society of America Abstracts with Programs, Vol. 40, No. 6, p. 547.
- Silva-Romo, G., y Mendoza-Rosales, C.C. 2009. Evaluación geológica de los modelos para el truncamiento cenozoico del sur de México: Erosión por subducción y detachment del Bloque Chortis: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26, núm I, p. 165-176.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano), 1998. Carta Geológico-minera Cuernavaca E14-5, Escala 1:250,000.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano), 2001. Carta Geológico-minera Orizaba E14-6, Escala 1:250,000.
- Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza-Figueroa, D.M., Vega-Granillo, R., Campa-Uranga, M.F. 2005. U-Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol 235, p. 682-699.
- Tucker, M. E. 1996. *Sedimentary Rocks in the Field*. Editorial Wiley, 2a edición. Inglaterra. 253 p.
- Tucker, M., 2003. *Sedimentary rocks in the field. The geological field guide series*. Wiley Third edition.
- Weber, R., Centeno-García, E., Magallón-Puebla, S. A., 1987, La Formación Matzitzi tiene edad permocarbonífera (resumen), en II Simposio sobre Geología Regional de México, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 57-59.
- Yañez, P., Ruiz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., and Gehrels, G. 1991. Isotopic studies of the Acatlan Complex, southern Mexico: implications for Paleozoic North American tectonics. *Geological Society of America Bulletin*, v. 103, p. 817-828.
- Zuffa, G.G., 1980. Hybrid arenites: Their composition and classification. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 50, No. 1, p. 21-29.



- Zuffa, G.G., 1985. Optical analyses of arenites: Influence of methodology on compositional results. En Provenance Arenites, Zuffa, G.G. (ed.) D. Reidel Publishing Company, p. 165-189.



## Apéndice A. Petrografía

A continuación se presentan las descripciones petrográficas de las muestras seleccionadas de cada unidad litoestratigráfica del área de estudio.

La clasificación utilizada para las rocas carbonatadas fue la de Dunham (1962) y Embry & Klovan (1971) y para las areniscas se utilizaron las clasificaciones Folk (1980) y Zuffa (1985).

### Muestra T-2

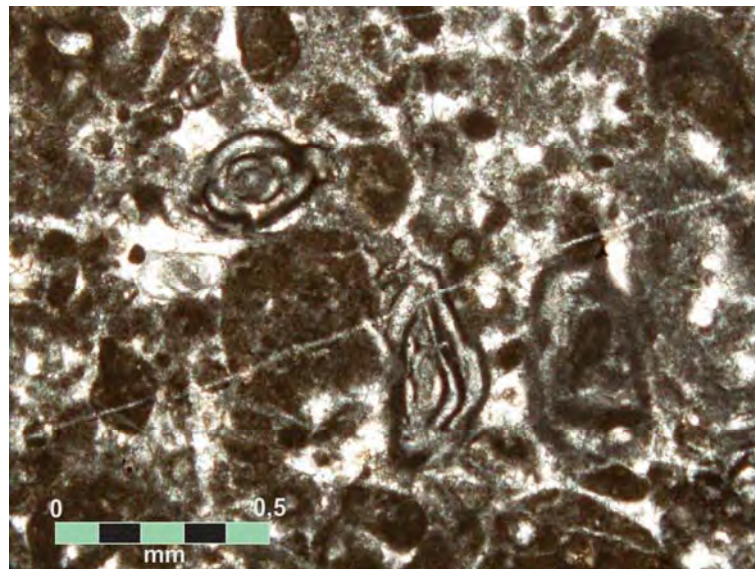
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 606311 m E, 2078864 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Packstone gris oscuro y claro a la intemperie, café oscuro al fresco, con abundantes fragmentos de organismos y miliolidos.

**Lámina delgada:** Packstone-grainstone de muy abundantes foraminíferos bentónicos y pellets, comunes gasterópodos.



**Fotomicrografía T-2 (nicoles paralelos, objetivo 4X).** Muestra la textura general de la muestra, así como la abundancia de foraminíferos bentónicos y pellets.



## Muestra T-4

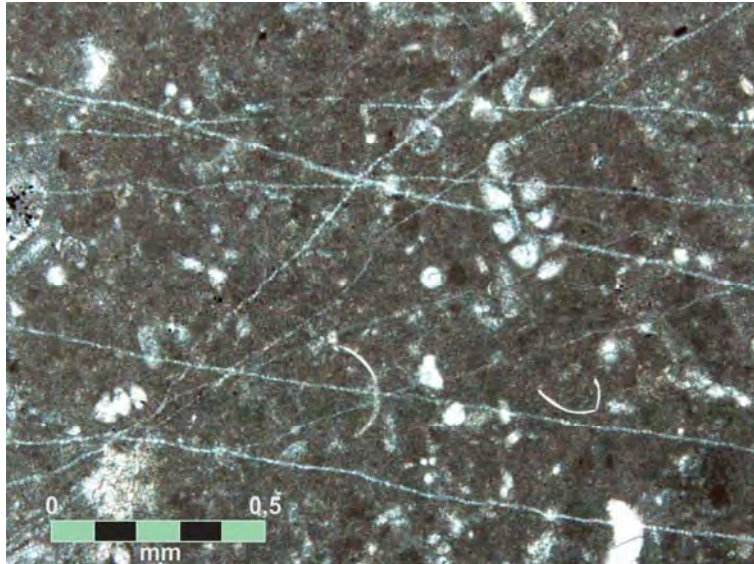
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 607033 m E, 2078600 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, de color café claro al fresco y gris a la intemperie, con miliolidos identificables y otros fragmentos de organismos.

**Lámina delgada:** Wackestone de abundantes ostrácodos (completos y desarticulados), abundantes calciesferas, comunes foraminíferos bentónicos, comunes bioclastos recristalizados, traza de espículas, equinodermos y fragmentos de bivalvos.



**Fotomicrografía T-4 (nicos paralelos, objetivo 4x).** Muestra la textura general de la roca, también se observan ostrácodos, calciesferas, foraminíferos bentónicos y bioclastos recristalizados.



## Muestra T-8

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 607069 m E, 2078468 m N

### Descripción

#### ***Muestra de mano:***

Arenisca de grano medio a fino, presenta laminación paralela y en algunas partes se pueden distinguir óxidos de Fe.

#### ***Lámina delgada:***

Arenisca de grano fino a medio, moderadamente clasificada, donde el tamaño mínimo de grano es de 0.175 mm y el máximo de 0.6mm., subangulosos a angulosos, con contactos tangenciales, lineales y cóncavos-convexos, predomina un arreglo granosoportado. Está compuesta por clastos de cuarzo monocristalino (algunos presentan agujas de rutilo), cuarzo policristalino, feldespatos potásicos, plagioclasas, líticos calcáreos (tanto intraclastos como extraclastos), bioclastos y muscovita.

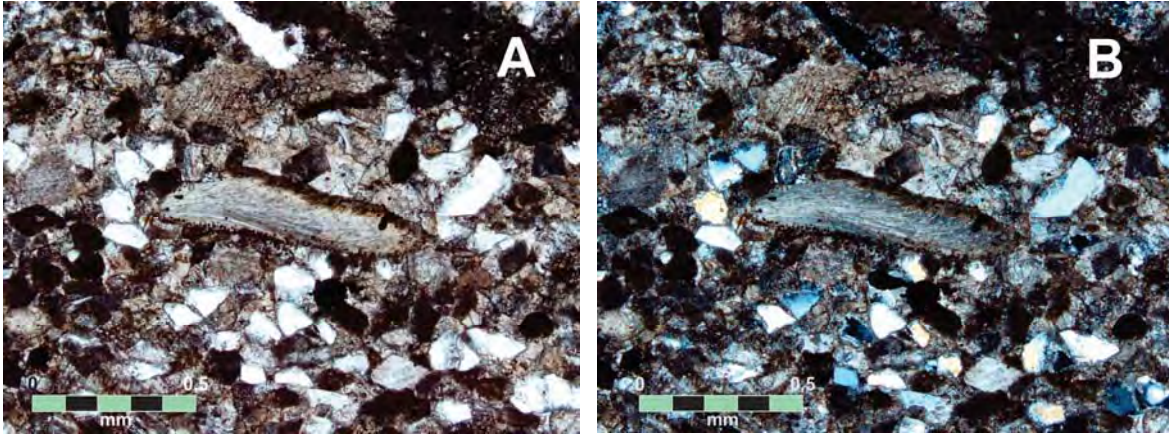
Se observa poca cantidad de matriz micrítica (15%), en algunas zonas esta matriz se debe a la desintegración de clastos micríticos (epimatriz), cemento pelicular de óxidos de Fe en los extraclastos y arcilloso en algunos feldespatos, también se llega a apreciar algunos restos de cementante de óxidos de Fe en el material micrítico y entre el cementante de caliza; predomina el cemento poikilotópico de calcita (85%) y en algunas partes el cementante de calcita está rellenando los espacios entre los clastos.

No se aprecia una porosidad primaria por el alto contenido de cementante de calcita, sin embargo existe una incipiente porosidad secundaria entre el cementante de calcita.

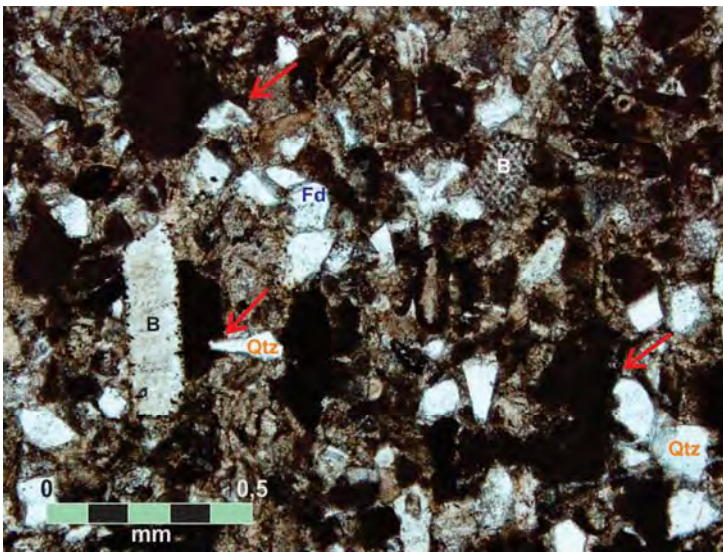
Como componentes post-diagenéticos se observa una veta rellena de calcita y en algunas porciones de la muestra el cementante de calcita empieza a remplazar a los granos de cuarzo y feldespatos.

***Arenisca Híbrida, dentro del campo de las calizas clásticas.***

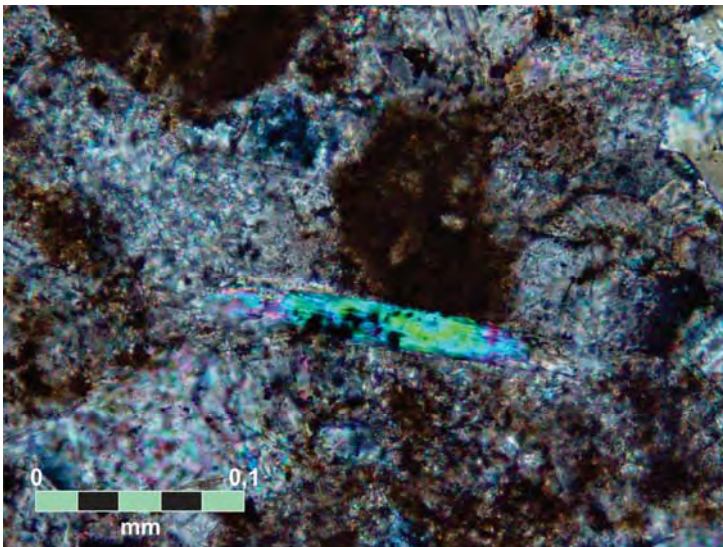




**Micrografías T-8. (A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados, objetivo 4X)** Textura general de la arenisca híbrida. Granos de cuarzo, feldespato, extra clastos calcáreos, intraclastos calcáreos y al centro se observa un bioclasto.



**Fotomicrografía T-8. (nicoles paralelos, objetivo 4X)** Se observan granos de cuarzo monocristalino (Qtz) y feldespato potásico (Fd), bioclastos (B). Las flechas rojas señalan granos de cuarzo inyectándose en intraclastos micríticos, uno de los rasgos característicos de los intraclastos.



**Fotomicrografía T-8 (nicoles cruzados, objetivo 20X)** Muscovita detrítica.



## Muestra T-26

Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 609 529 m E, 2 078 752 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Packstone-Grainstone con un ligero aporte de terrígenos, gris claro a la intemperie y gris oscuro al fresco.

**Lámina delgada:** Packstone-Grainstone de muy abundantes intraclastos, abundantes bivalvos (completos y fragmentados), frecuentes foraminíferos bentónicos (entre ellos *Dicyclina schlumbergeri*) y comunes fragmentos de equinodermos, en la matriz micrítica se pueden observar abundantes calcisferúlidos. Los fragmentos de equinodermos y bivalvos muestran una orientación paralela a la estratificación.



**Fotomicrografía T-26 (nicos paralelos, objetivo 4x)** Packstone-Grainstone, se observan abundantes intraclastos, al centro un foraminífero bentónico y, a la derecha e izquierda de éste se observan fragmentos de bivalvos orientados.



**Fotomicrografía T-26 (nicos paralelos, objetivo 4x).** Foraminífero *Dicyclina schlumbergeri*





## Muestra T-59 b

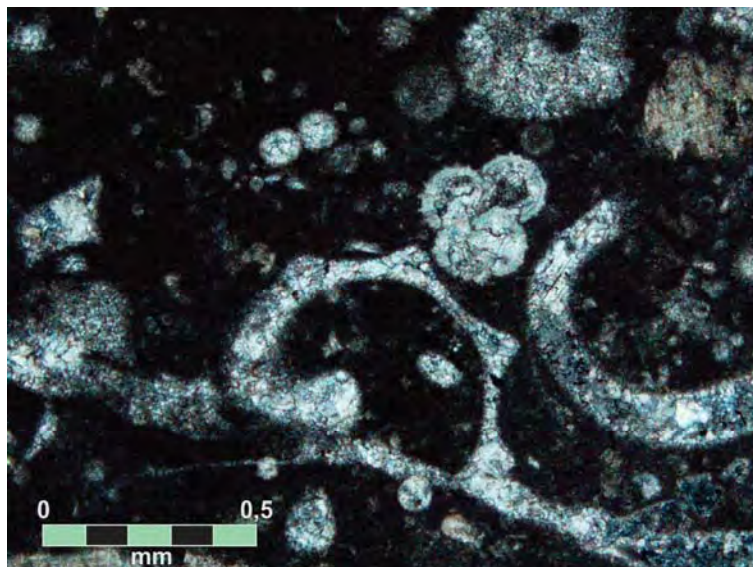
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 603 974 m E, 2 077 794 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Floatstone, gris oscuro a pardo a la intemperie y café claro al fresco.

**Lámina delgada:** Floatstone de muy abundantes fragmentos de braquiópodos, abundantes calciesferas, fragmentos de pelecípodos, fragmentos de gasterópodos y otros bioclastos, traza de radiolarios.



*Fotomicrografía T-59b (nicos cruzados, objetivo 4x). Textura general de la muestra, se observan fragmentos de gasterópodos, calciesferas, algunos radiolarios, y otros bioclastos recristalizados.*



## Muestra T-65

**Unidad litoestratigráfica: Formación Agua de Cordero**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 593 113 m E, 2 076 490 m N.**

### Descripción

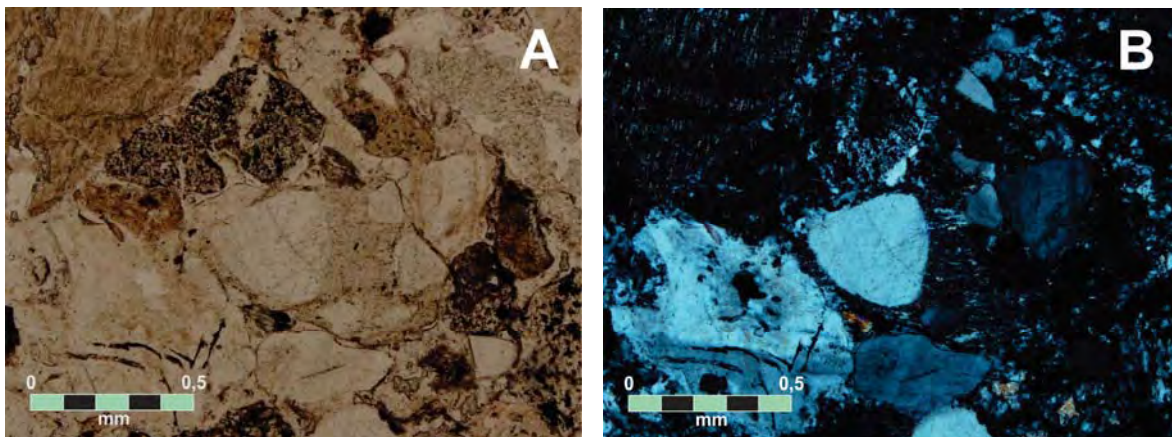
#### ***Muestra de mano:***

Arenisca de grano medio a muy grueso, clastos subangulosos a angulosos, mal calcificada, clasto-soportada, con clastos de cuarzo, líticos sedimentarios y volcánicos.

#### ***Lámina delgada:***

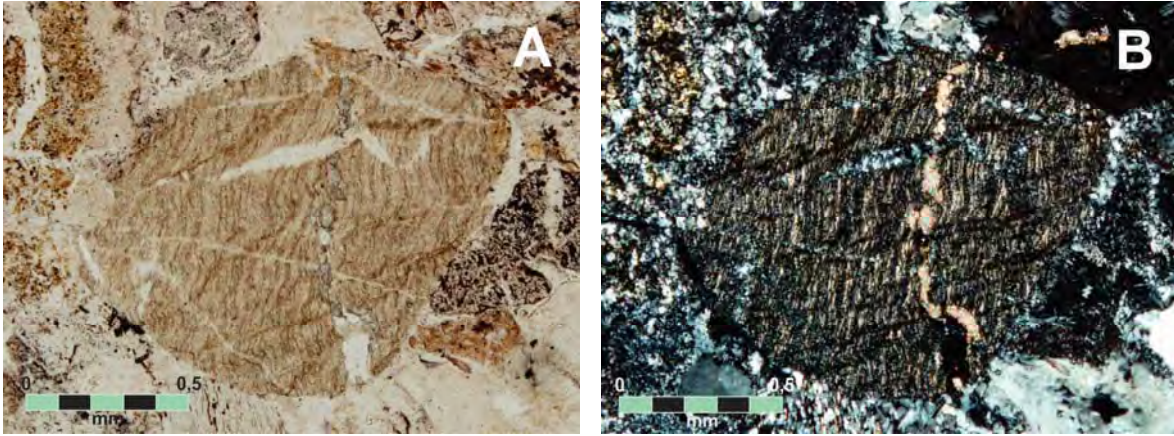
Arenisca de grano medio a muy gruesos, pobremente clasificada, con granos que van de 0.5 mm a 4 mm, subangulosos a angulosos, con contactos cóncavos-convexos y rectos, preferencialmente se muestra un arreglo clasto soportado. Con porosidad primaria intergranular moderada y muy poca porosidad secundaria por disolución. Contiene clastos de cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino, plagioclasa, líticos metasedimentarios, volcánicos máficos, volcánicos félsicos y volcánicos intermedios, en una matriz compuesta principalmente por óxidos de Fe, también se presenta cemento syntaxial en algunos granos de cuarzo. Y como componente post diagenético presenta cementante de calcita localmente.

#### ***Litarenita***

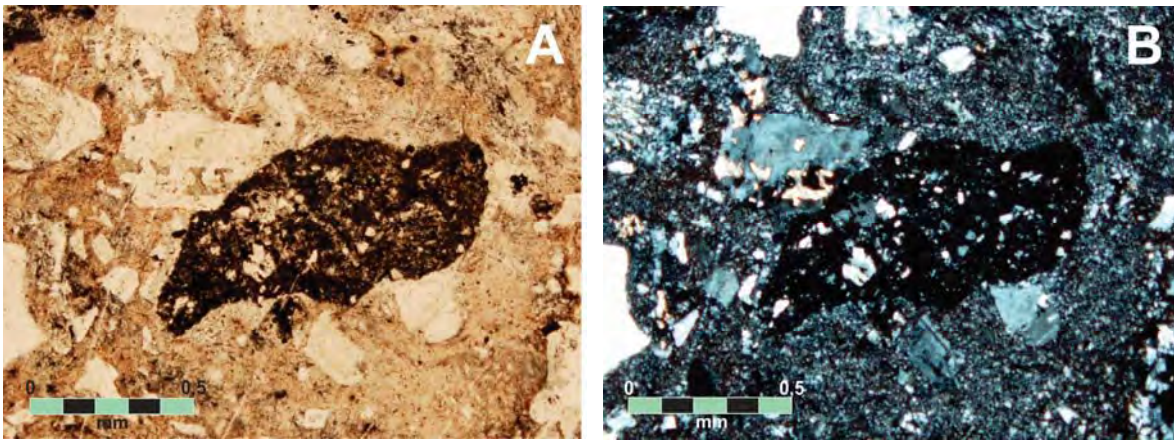


**Micrografías T-65** (A: nicles paralelos y B: nicles cruzados; objetivo 4x) Litarenita, se muestra la textura general de la roca.

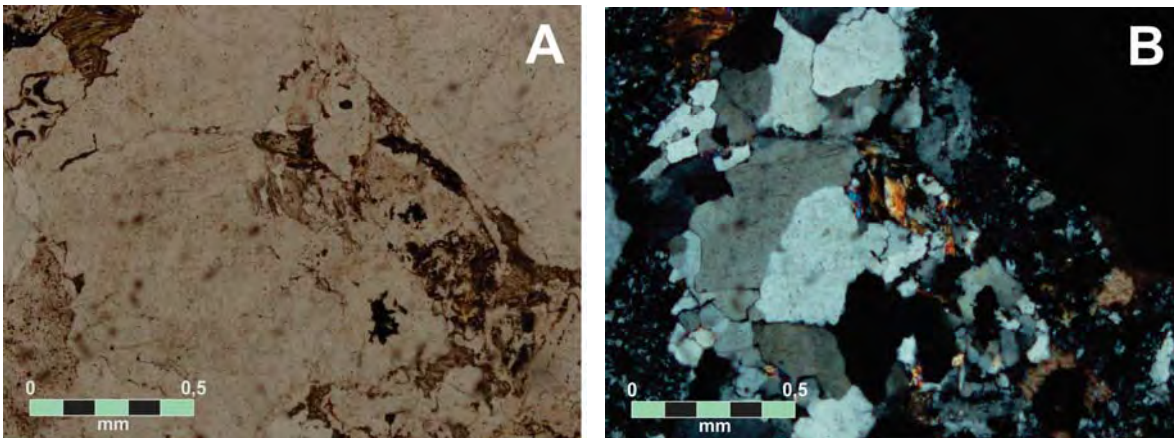




(A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados; objetivo 4x). Clasto metasedimentario.



(A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados; objetivo 4x). Clasto volcánico máfico en contacto con clastos de plagioclasas.



(A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados; objetivo 4x). Clasto volcánico félsico.



## Muestra T-73

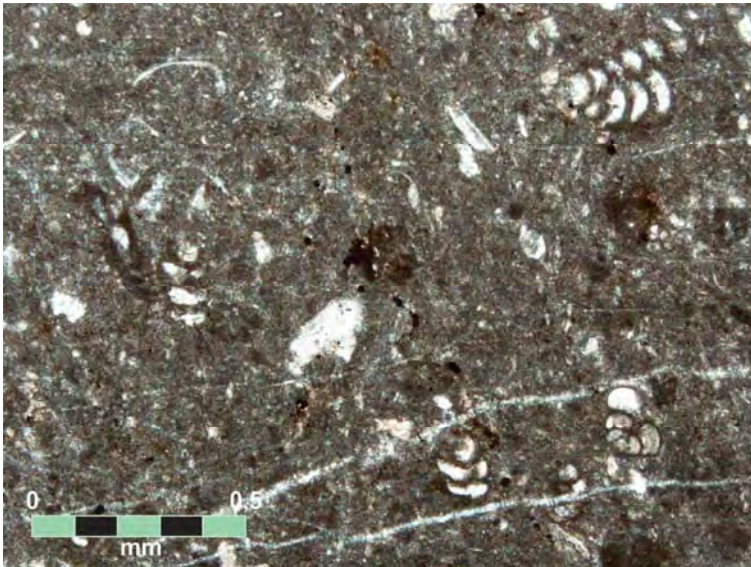
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 592 658 m E, 2 078 697 m N.**

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, de color blanco a gris claro a la intemperie y gris oscuro a café oscuro al fresco, presenta estilolitas y vetas rellenas de calcitas.

**Lámina delgada:** Wackestone de muy abundantes fragmentos de equinodermos y otros bioclastos, abundantes foraminíferos bentónicos y raros fragmentos de pelecípodos.



**Fotomicrografía T-73 (nicos paralelos, objetivo 4x).** Wackestone, muestran foraminíferos bentónicos, fragmentos de pelecípodos y otros bioclastos.



## Muestra T-75

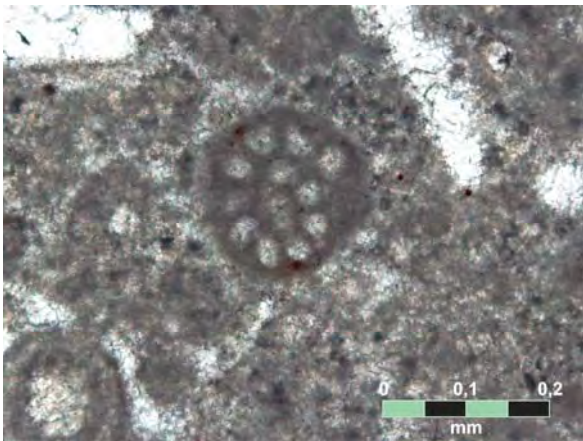
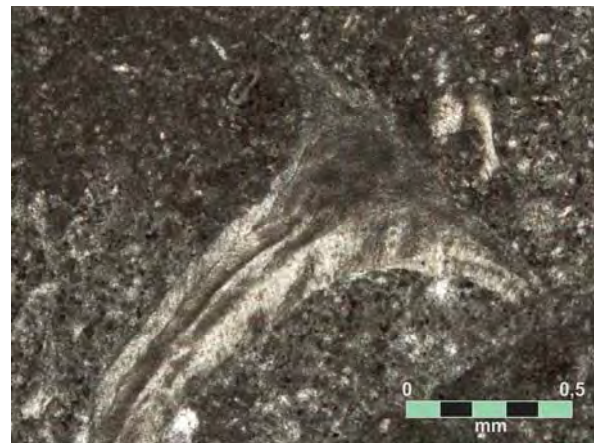
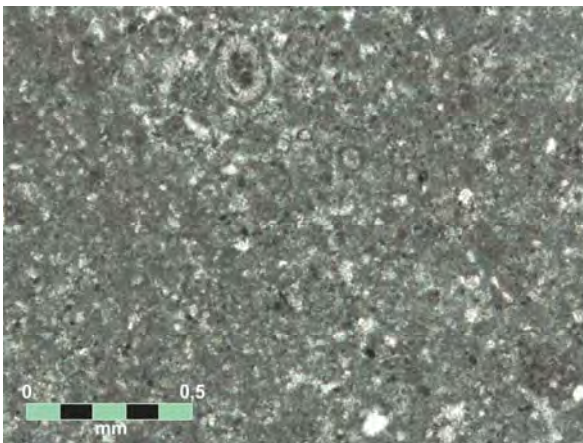
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 594 562 m E, 2 082 142 m N.**

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, café claro y gris claro a la intemperie, al fresco presenta tonos que van desde blanco, gris muy claro a tonos un poco rosados. Se observan vetas rellenas de calcita.

**Lámina delgada:** Wackestone de frecuentes fragmentos de equinodermos, comunes ooides y foraminíferos bentónicos, raros gasterópodos y pelecípodos, escasos textuláridos y *Debarina* en una matriz pelitífera. La muestra se encuentra dolomitizada, la mayoría de los cristales son euedrales, y forman un mosaico porfirotopico.



#### **Fotomicrografías T-75.**

**Arriba, izquierda (nicoles paralelos, objetivo 4x).**  
Wackestone, se observan abundantes peloides

**Arriba, derecha (nicoles paralelos, objetivo 4x).**  
Muestra una forma típica de gasterópodo.

**Abajo, izquierda (nicoles paralelos, objetivo 10x).**  
Se observa un foraminífero del género *Debarina*.



## Muestra T-77

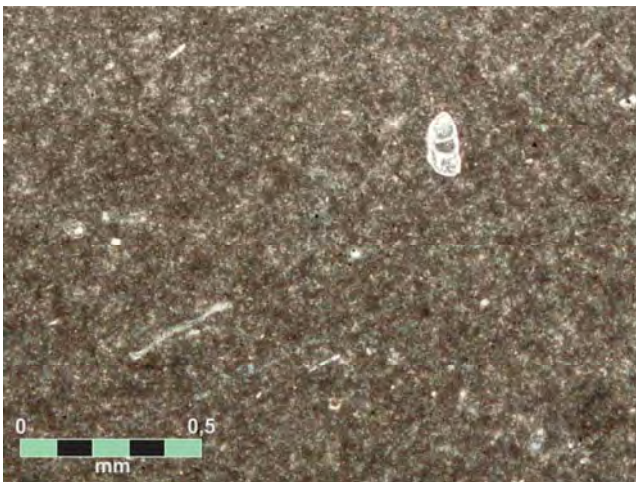
Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 593 157 m E, 2 080 933 m N.

### Descripción

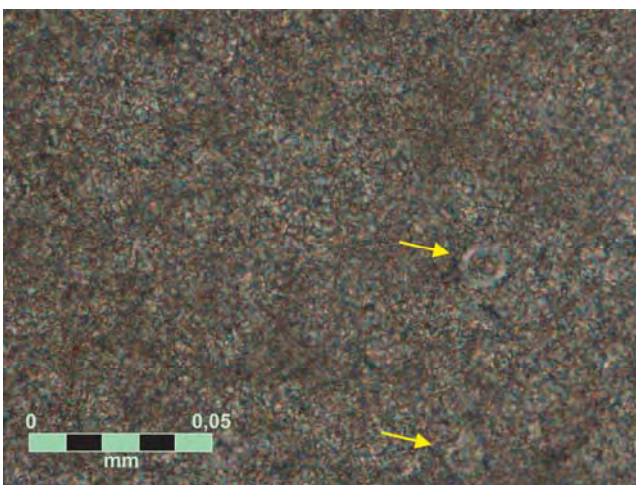
**Muestra de mano:** Mudstone-wackestone, de gris claro a oscuro a la intemperie, café claro al fresco. El afloramiento presenta algunos nódulos de pedernal y estilolitas.

**Lámina delgada:** Mudstone de muy abundantes *Nannoconus*, comunes fragmentos de pelecípodos, foraminíferos planctónicos (*Hedbergella* sp.) y valvas de ostrácodos, raros fragmentos de equinodermos, foraminíferos bentónicos (fragmentos de *Choffatella decipiens*) y bioclastos.



**Fotomicrografías T-77.**

**(nicos paralelos, objetivo 4x)**  
Textura general de la roca, con un foraminífero bentónico en la esquina superior derecha.



**(nicos paralelos, objetivo 40x)**  
Las flechas amarillas señalan dos ejemplos de *Nannoconus*.



## Muestra T-79a

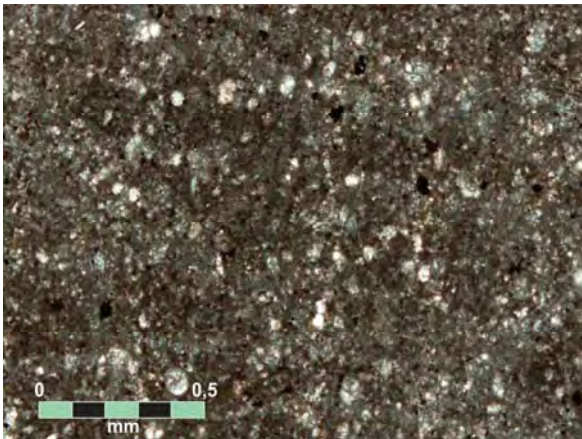
**Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 595 289 m E, 2 084 430 m N**

### Descripción

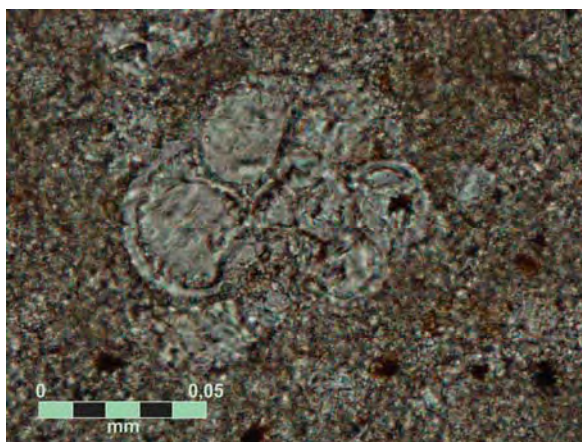
**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a la intemperie y café oscuro al fresco, se observan microfósiles.

**Lámina delgada:** Wackestone de muy abundantes foraminíferos planctónicos, comunes calcisferúlidos y traza de fragmentos de equinodermos.



*Fotomicrografías T-79<sup>a</sup>*

*(nicoles cruzados, objetivo 4x) Textura general de la roca.*



*(nicoles paralelos, objetivo 40x) Foraminífero planctónico.*



## Muestra T-80

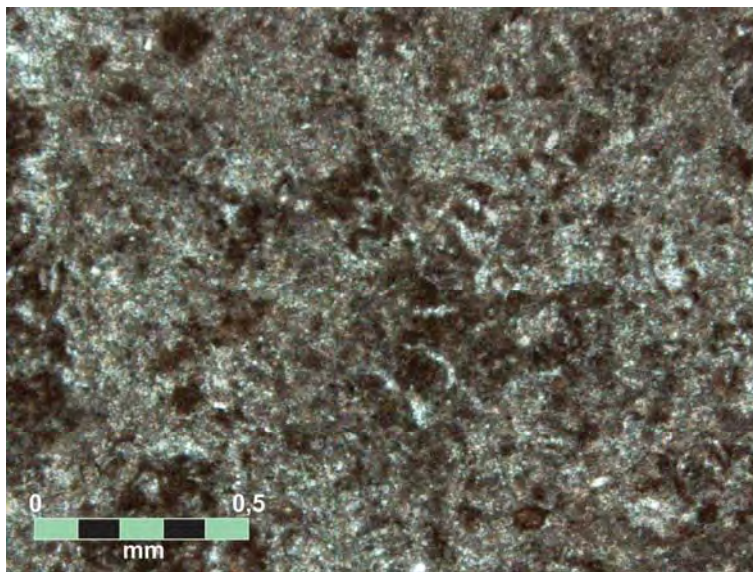
**Unidad litoestratigráfica:** Pie de Vaca

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 599 658 m E, 2 084 326 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Mudstone-wackestone, blanco a gris claro a la intemperie, café claro-crema al fresco, con bandas de pedernal gris, blanco a café claro.

**Lámina delgada:** Mudstone-wackestone de traza de ooides y bioturbación.



*Fotomicrografía T-80 (nicos paralelos, objetivo 4x) Mudstone-wackestone, donde se observa traza de ooides.*





## Muestra T-91

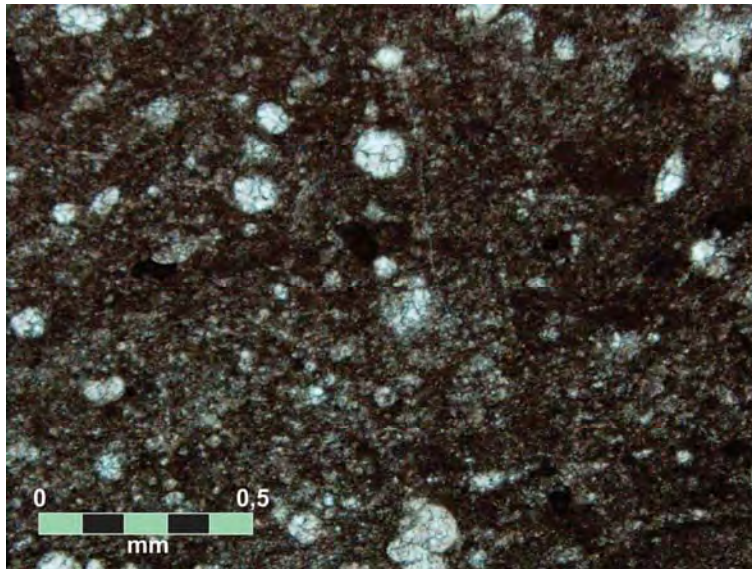
**Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 602 449 m E, 2 078 925 mN.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a la intemperie y café claro al fresco, se observan microfósiles, con laminación paralela.

**Lámina delgada:** Wackestone de muy abundantes calcisferúlidos entre los cuáles se observa *Pithonella ovalis* y *Calcisphaerula innominata*, frecuentes foraminíferos planctónicos: *Hedbergella* sp., *Whiteinella* sp., *Whiteinella* cf. *batica* y *Clavihedbergella moremani*.



**Fotomicrografía T-91 (nicoles paralelos, objetivo 4x)** Muestra la textura general de la roca, nótese la abundancia de radiolarios.



## Muestra T-100

**Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa**

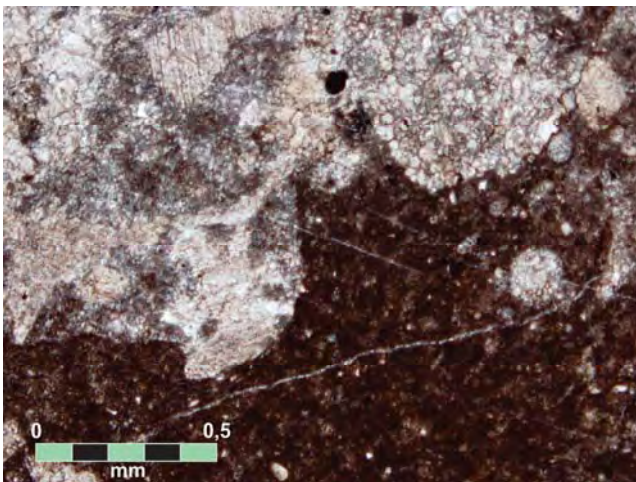
**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 601 892 m E, 2 079 952 m N**

### Descripción

**Muestra de mano:** Brecha calcárea, color gris claro a la intemperie, gris oscuro al fresco de intraclastos calcáreos packstone-grainstone.

**Lámina delgada:** Brecha calcárea, clastos de grainstone e intraclastos micríticos, fragmentos de pelecípodos y otros fragmentos de bioclastos, con contactos difusos cóncavos y convexos, en una matriz calcárea wackestone de abundantes foraminíferos planctónicos.

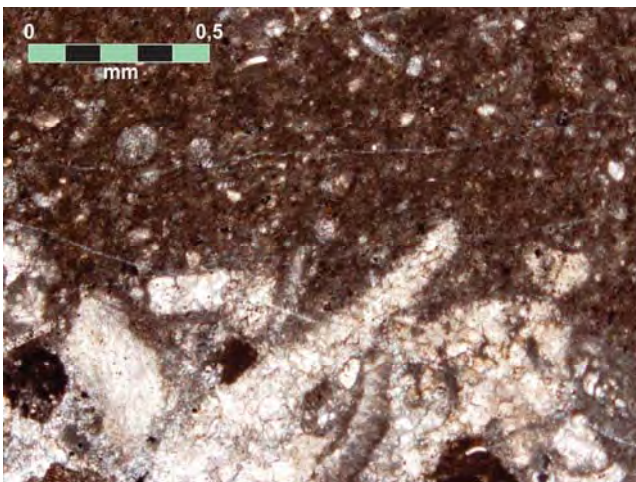
Presenta múltiples vetas rellenas de calcita.



**Fotomicrografías T-100**

**(nícoles paralelos, objetivo 4x)**

Contacto entre un clasto de grainstone recristalizado y un intraclasto micrítico.



**(nícoles paralelos, objetivo 4x)**

Contacto entre matriz wackestone de foraminíferos planctónicos y clastos de grainstone de abundantes bioclastos.



## Muestra T-106a

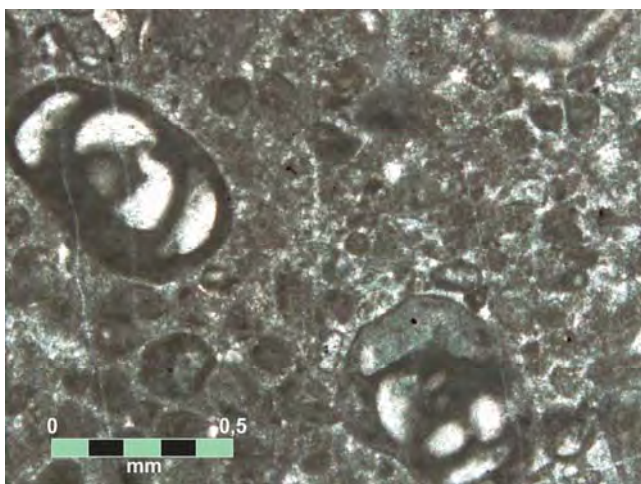
Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 602 496 m E, 2 080 742 m N.

### Descripción

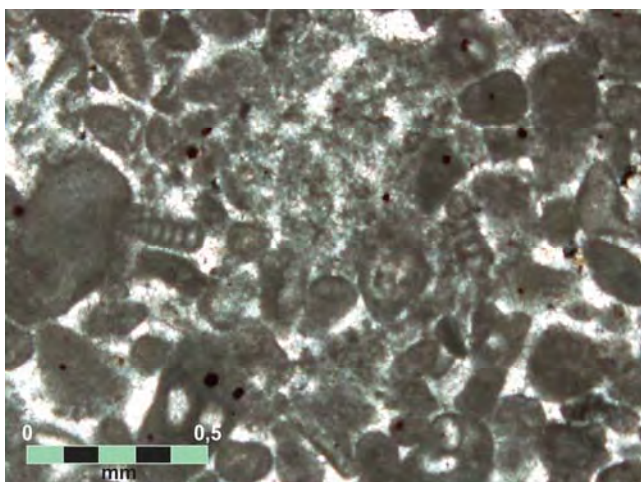
**Muestra de mano:** Packstone, gris claro a la intemperie y café oscuro al fresco. Se observan abundantes microfósiles, entre ellos se pueden identificar miliolidos.

**Lámina delgada:** Packstone-grainstone con muy abundantes intraclastos y ooides, abundantes foraminíferos bentónicos.



*Fotomicrografías T-106a.*

*(Nicolas paralelos, objetivo 4x) Textura Packstone en la muestra.*



*(Nicolas paralelos, objetivo 4x) Se observa la textura grainstone dentro de la muestra*



## Muestra T-107

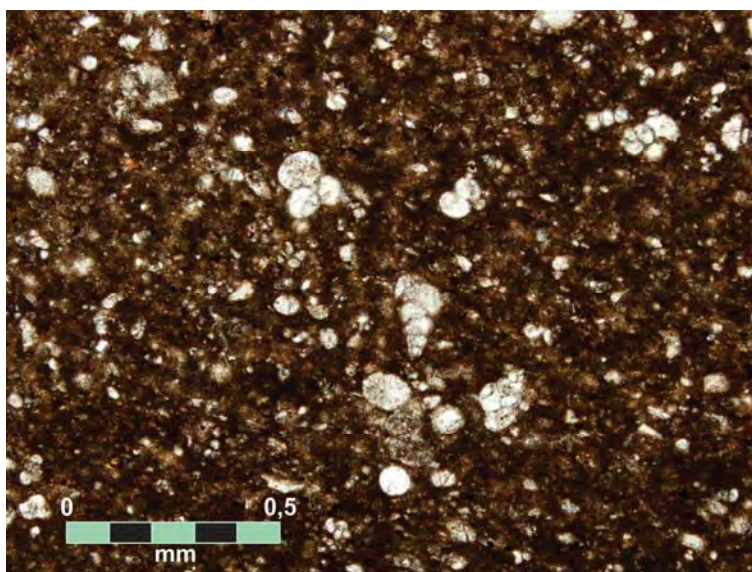
Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 606 418 m E, 2 077 084 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a la intemperie y gris oscuro al fresco.

**Lámina delgada:** Wackestone-Packstone de muy abundantes foraminíferos plantónicos identificados como *Marginotruncana* sp., *Dicarinella* spp., *Dicarinella* cf. *concovata*, *Heterohelix* sp., y *Whiteinella aprica*; frecuentes cámaras de foraminíferos planctónicos (globotruncánidos), y fragmentos ostrácodos.



**Fotomicrografía T-107 (nicos paralelos, objetivo 4x)**  
Wackestone-Packstone donde se muestra la abundancia de foraminíferos plantónicos.



## Muestra T-108

Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa

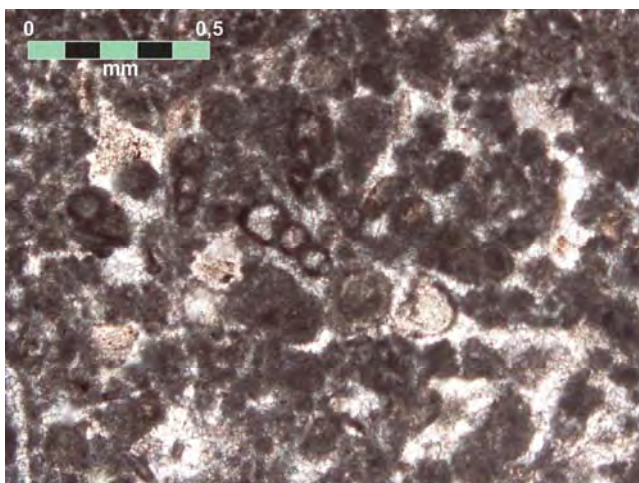
Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 606 245 m E, 2 076 992 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Brecha calcárea de color gris claro a gris oscuro a la intemperie y café claro al fresco.

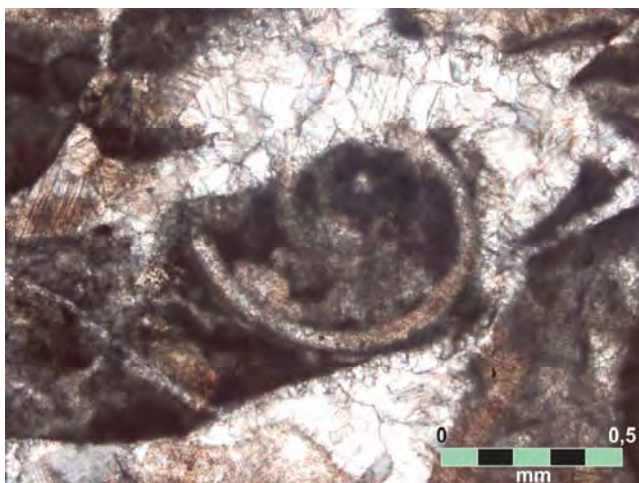
**Lámina delgada:** Brecha calcárea, con clastos muy angulosos a angulosos, mal clasificada. Abundantes intraclastos de packstone de peloides, fragmentos de pelecípodos y gasterópodos, frecuentes foraminíferos bentónicos, traza de briozoarios.

La muestra se encuentra dolomitizada.



*Fotomicrografías T-108*

*(nícoles paralelos, objetivo 4x)  
Matriz peletífera.*



*(nícoles paralelos, objetivo 4x)  
Clastos de grainstone angulosos, en uno de ellos se muestra un bioclasto.*



## Muestra T-119a

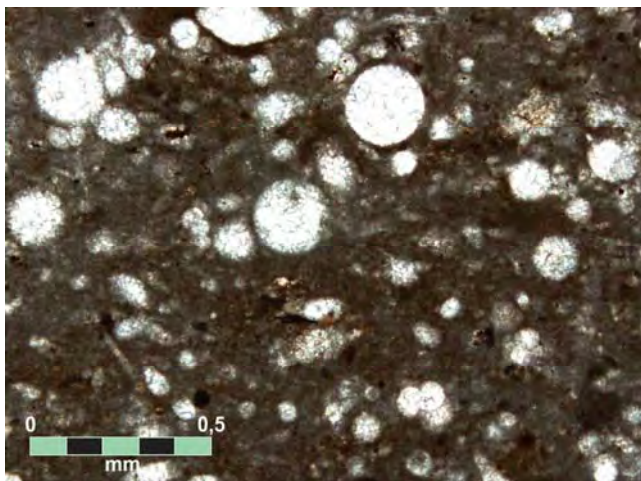
Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 607 254 m E, 2 077 714 m N.

### Descripción

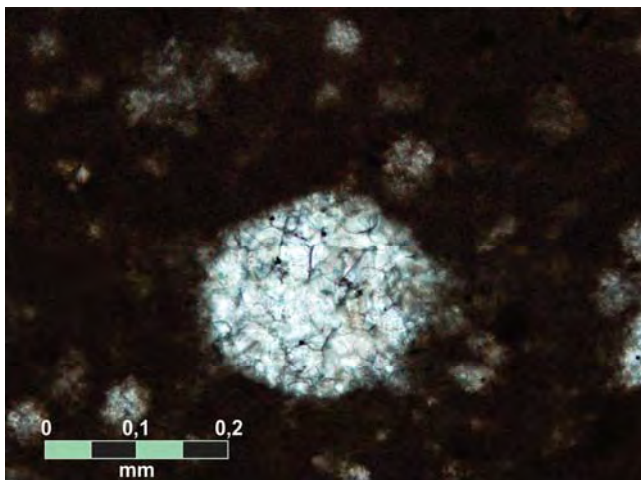
**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a la intemperie, café claro y gris claro al fresco.

**Lámina delgada:** Wackestone-packstone de muy abundantes foraminíferos planctónicos, calcisferúlidos (*Calcisphaerula innominata*) y traza de foraminíferos bentónicos y radiolarios. Entre los foraminíferos se encuentran *Whiteinella archaeocretacea*, *Whiteinella* spp., *Helvetoglobotruncana* cf. *helvética*, *H. praehelvetica*, *Dicarinella* spp. y *Heterohelix* spp.



**Fotomicrografías T-119a**

**(nicos paralelos, objetivo 4x)** Textura general de la roca



**(nicos paralelos, objetivo 10x)** Muestra un radiolario.



## Muestra T-126

Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa

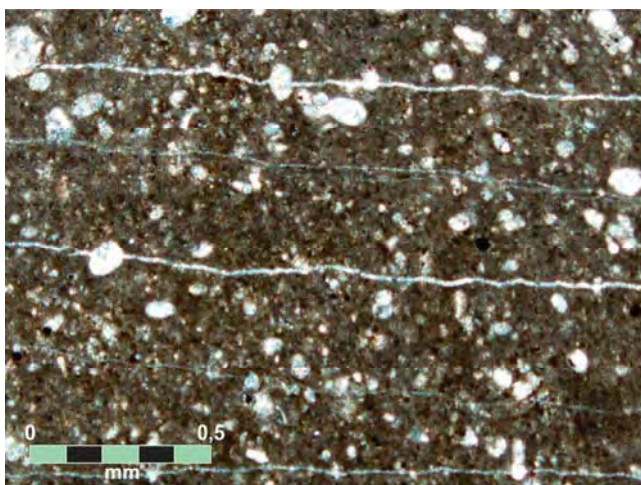
Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 606 793 m E, 2 078 119 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, café claro a la intemperie, y café oscuro al fresco. Abundantes vetillas de calcita.

**Lámina delgada:** Wackestone de abundantes foraminíferos planctónicos y trazas de radiolarios, calciesferas y foraminíferos bentónicos.

Entre los foraminíferos planctónicos se encuentran *Whiteinella* spp., *Whiteinella aprica*, *Dicarinella* spp., *Dicarinella* cf. *algeriana*, *Dicarinella* cf. *hagni*, *Dicarinella* cf. *primitiva*, *Pessagnielli turona* y *Helvetoglobotruncana praehelvetica*.



**Fotomicrografías T-126.**

**(nicoles cruzados, objetivo 4x)** Wackestone, se observa la gran abundancia de foraminíferos planctónicos.



**(nicoles paralelos, objetivo 10x)** Foraminífero planctónico.



## Muestra T-128

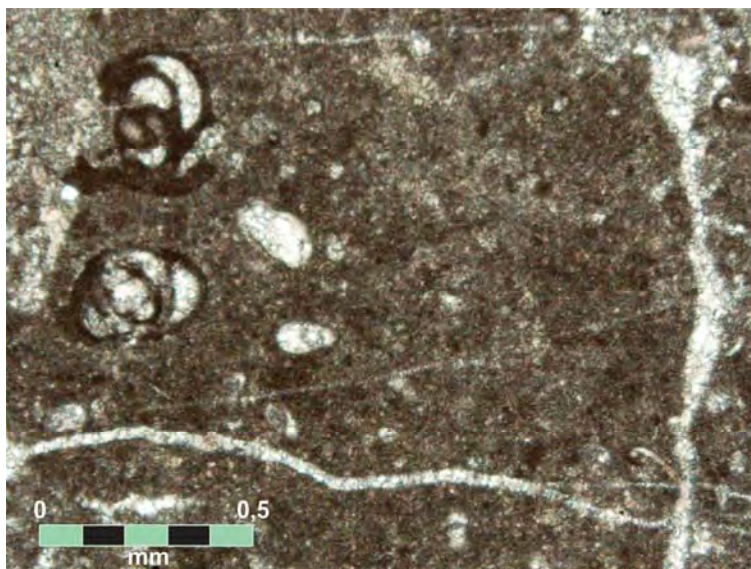
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 607 625 m E, 2 076 369 m N.**

### Descripción

**Muestra de mano:** Brecha calcárea, color gris claro a la intemperie y café oscuro a la intemperie, se observan abundantes miliolidos.

**Lámina delgada:** Brecha calcárea con clastos e intraclastos micríticos, clastos de caliza wackestone de abundantes miliolidos, bioclastos entre los cuáles se identificaron fragmentos de ostrácodos y foraminíferos bentónicos en una matriz micrítica.



*Fotomicrografía T-128 (nicos paralelos, objetivo 4x) Textura general de la roca, en el cuadrante superior izquierdo se observan dos foraminíferos bentónicos.*





## Muestra T-136

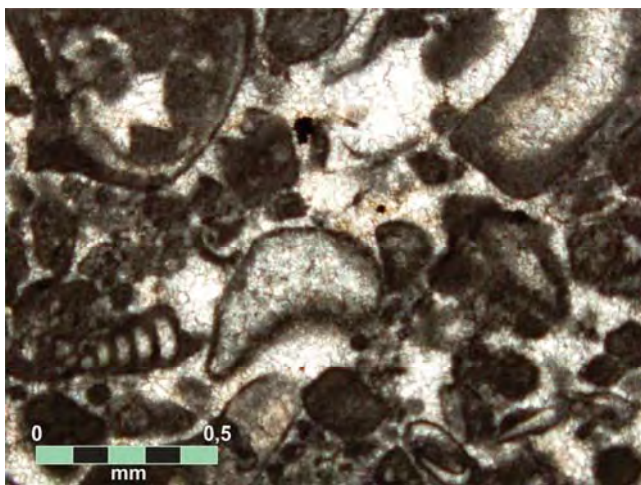
Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 600 499 m E, 2 080 032 m N.

### Descripción

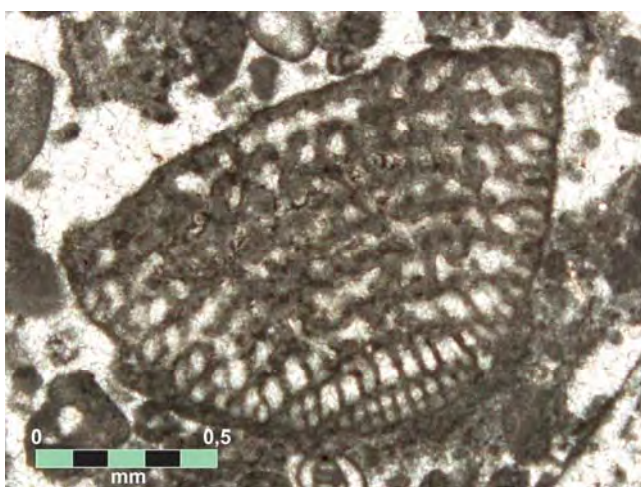
**Muestra de mano:** Grainstone, gris claro y café claro a la intemperie, gris muy claro al fresco.

**Lámina delgada:** Grainstone-Packstone de muy abundantes intraclastos y peloides, abundantes foraminíferos bentónicos y algas, comunes gasterópodos, raros fragmentos de equinodermos y traza de corales. Los foraminíferos bentónicos observados fueron *Dictyoconus walnutensis*, *Numoloculina heimi* y *Cuneolina* sp.



**Fotomicrografías T-136**

(*nicoles paralelos, objetivo 4x*) Textura general de la roca.



(*nicoles paralelos, objetivo 4x*) Foraminífero bentónico.



## Muestra T-145a

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 603 527 m E, 2 080 586 m N.

### Descripción

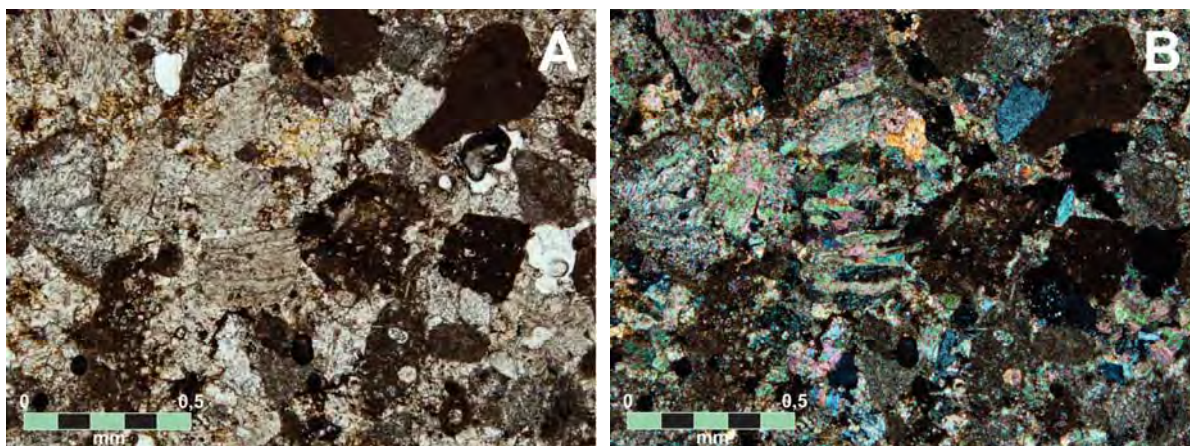
**Muestra de mano:** Ar finas a gruesas, clastos angulosos a subangulosos, moderadamente clasificada, presenta gradación normal y se encuentra laminada.

### Lámina delgada:

Arenisca de grano medio, moderadamente clasificada (granos de 0.1 a 1 mm), redondeados a subangulosos, con contactos cóncavos-convexos entre sus granos, predomina el arreglo cementante-soportado.

Contiene clastos de cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino feldespatopotásico, muscovita, bioclastos, intraclastos y extraclastos micríticos; cementante de calcita, óxidos de Fe alrededor de algunos clastos y como matriz en algunas zonas (<5%).

### Calcarenita



**Fotomicrografías T-145a (A: nicolas paralelos y B: nicolas cruzados); objetivo 4x)** Textura general de la calcarenita, se observan intraclastos calcáreos, granos de cuarzo monocristalino y algunos bioclastos.



## Muestra T-146b

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

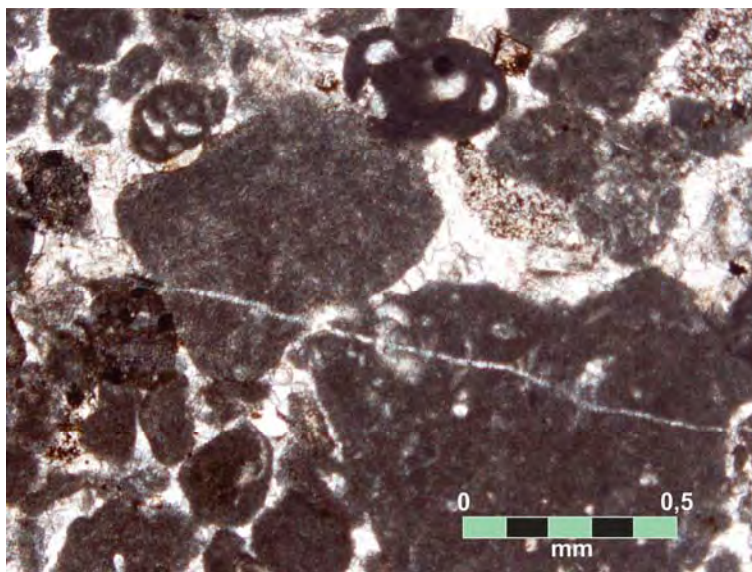
**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 603 535 m E, 2 080 619 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de arenas medias a gruesas, clastos angulosos a subangulosos, mal calsificada, con matriz de arenas muy finas, pardo y gris claro a la intemperie, café claro al fresco. Presenta granos de caliza y algunos fósiles. Presenta muchos óxidos. Revisar muestra de mano.

**Lámina delgada:** Arenas medias a gruesas, granosoportada, mal clasificada, con intraclastos calcáreos con textura mudstone, wackestone y bioclastos entre los que se identificaron foraminíferos bentónicos, abundantes fragmentos de pelecípodos, y peloides, también se observaron algunas radiolas. En algunas partes se observa una matriz y/o cementante calcáreo.

### Calcarenita



**Fotomicrografía T-146 (nicoles cruzados, objetivo 4x)** Muestra algunos bioclastos en la parte superior y clastos calcáreos algunos con textura mudstone y wackestone, en esta parte predomina el cementante calcáreo.



## Muestra T-168

Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali

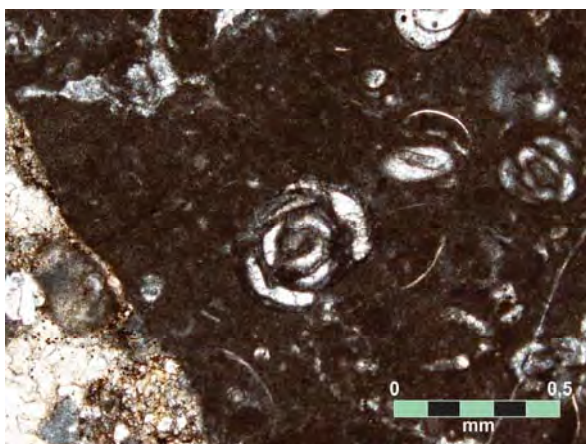
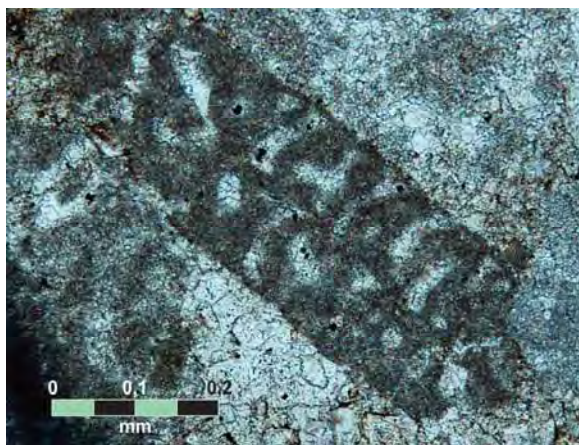
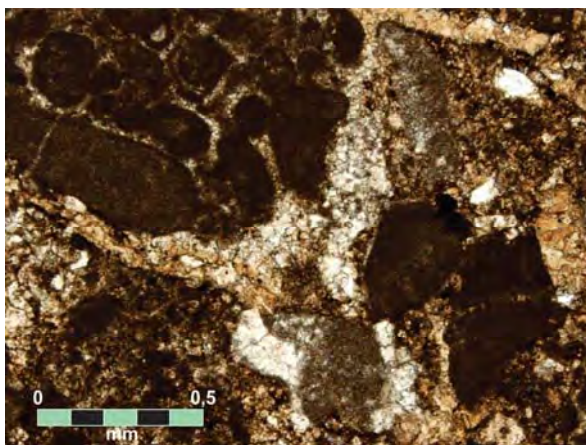
Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 607 142 m E, 2 078 685 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de arenas medias a gruesas, con clastos subangulosos a subredondeados, predominantemente clasto-soportada, con matriz de arenas muy finas a finas. Los clastos son de diversas calizas. Gris oscuro y pardo a la intemperie, gris oscuro y café oscuro al fresco.

**Lámina delgada:** Arenisca de arenas medias a gruesas, subangulosas a subredondeadas, clasto-soportada, compuesta por clastos calcáreos, abundantes fragmentos de pelecípodos, intraclastos y foraminíferos bentónicos (entre los cuáles se identificaron *Nummoloculina heimi* y *Dicyclina schlumbergeri*), y comunes fragmentos de gasterópodos.

### Calcarenita



#### Fotomicrografías T-16.

**Arriba, izquierda, (nicos paralelos, objetivo 4x)** Textura general de la roca.

**Arriba, derecha. (nicos paralelos, objetivo 10x)** Foraminífero bentónico *Dicyclina schlumbergeri*.

**Abajo, izquierda, (nicos paralelos, objetivo 4x)** Foraminífero bentónico *Nummoloculina heimi*.



## Muestra T-180

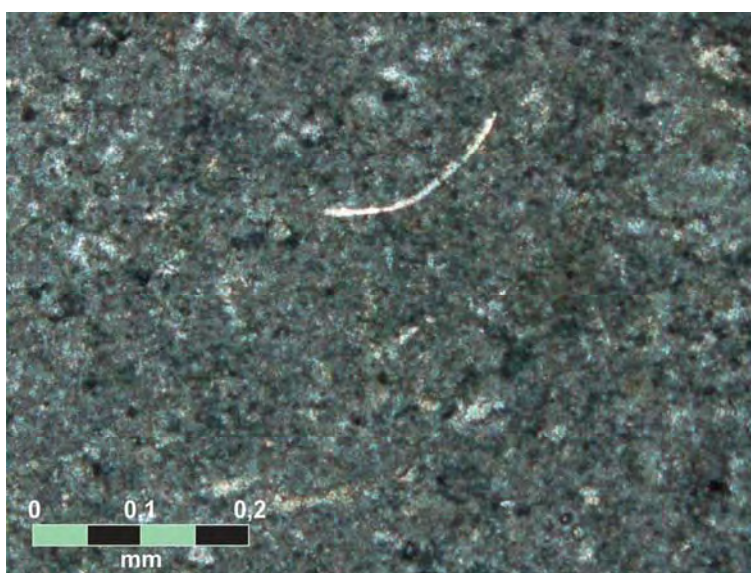
**Unidad litoestratigráfica:** Formación Pie de Vaca

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 600 552 m E, 2 084 363 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, gris oscuro a la intemperie y café claro al fresco.

**Lámina delgada:** Mudstone-wackestone con comunes bivalvos, ostrácodos y bioclastos.



**Fotomicrografía T-180 (nicos cruzados, objetivo 10x)**  
*Mudstone-wackestone, se observa un fragmento de ostracodo.*



## Muestra T-193

Unidad litoestratigráfica: Formación Agua de Cordero

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 592 631 m E, 2 077 972 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a rojizo a la intemperie, gris claro al fresco, con abundantes vetas de calcita.

**Lámina delgada:** Wackestone con frecuentes foraminíferos bentónicos, como *Choffatella decipiens*, *Protopenneroplis* sp., *Everticyclammina hedbergi*, *Pseudocyclammina lituus*, *Cuneolina* cf. *Laurenti* y *Cuneolina* sp., contiene vetas de calcita y microestilolitas.



Fotomicrografía T-193 (nicos paralelos, objetivo 4x) Wackestone, se observan tres foraminíferos bentónicos.



## Muestra T-208

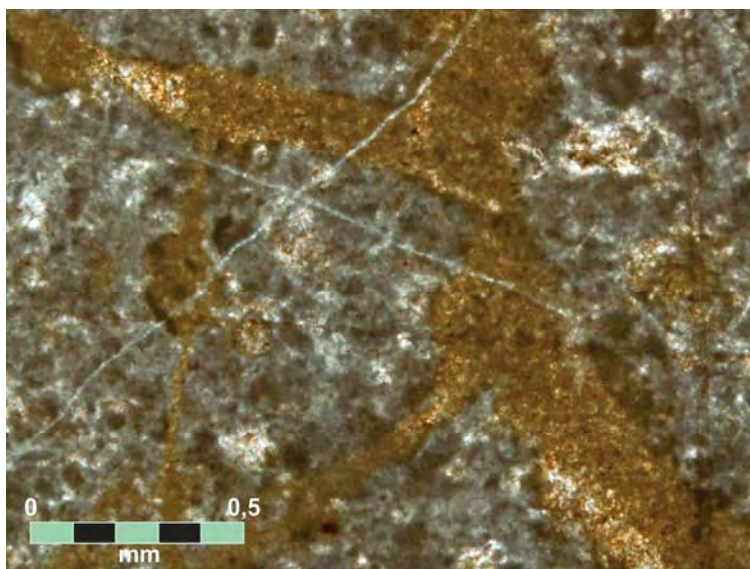
**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 602 499 m E, 2 080 739 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Brecha calcárea de color café claro a gris oscuro a la intemperie, pardo a café oscuro al fresco

**Lámina delgada:** Brecha calcárea con calizas wackestone de abundantes foraminíferos bentónicos y frecuentes peloides. Presenta matriz arcillosa, algunos fósiles también están rellenos de este material. Se observan estructuras de rompecabezas entre los clastos.



*Fotomicrografía T-208 (nicos cruzados, objetivo 4x) Wackestone con fracturas rellenas de arcillas.*



## Muestra T-209a

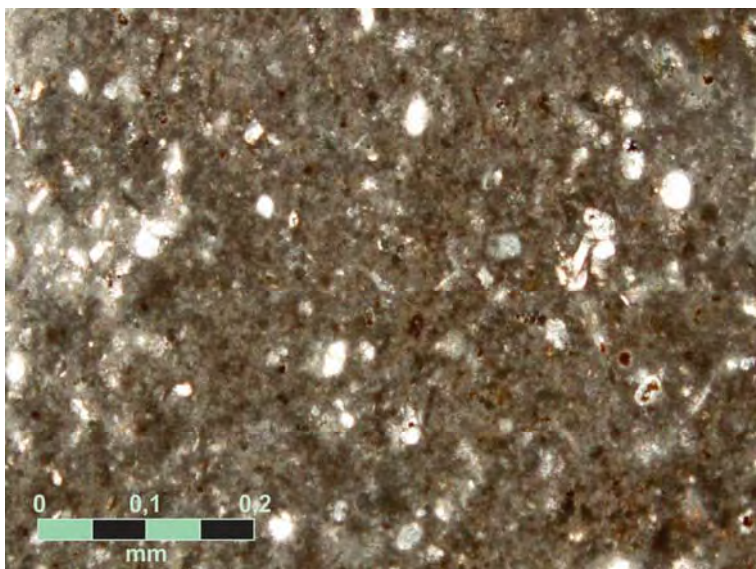
**Unidad litoestratigráfica:** Formación Chiapa

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 602 397 m E, 2 080 599 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone de color gris a café claro a la intemperie, café claro al fresco, se observan microfósiles.

**Lámina delgada:** Wackestone de muy abundantes foraminíferos planctónicos y raros radiolarios.



*Fotomicrografías T-209a.*

*(nicos paralelos, objetivo 10x)  
Wackestone*





## Muestra T-209b

**Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 602 397 m E, 2 080 599 m N.**

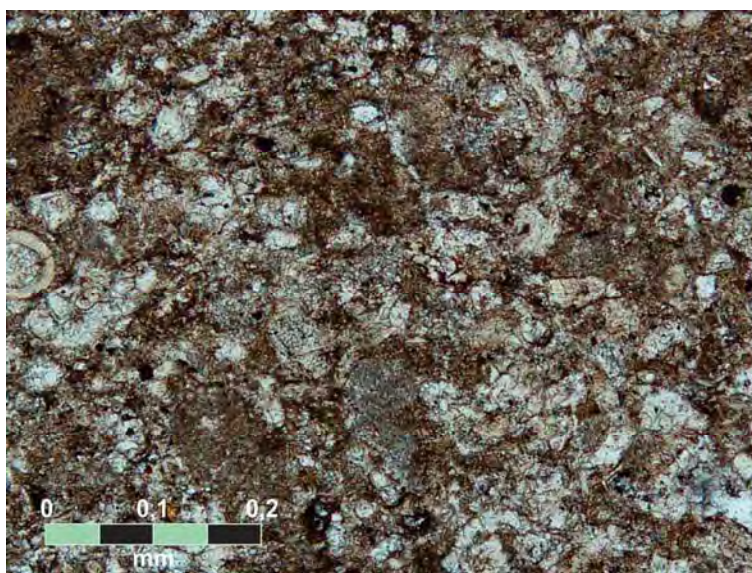
### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de grano grueso, color café claro a gris a la intemperie, café claro al fresco.

**Lámina delgada:** Arenisca de grano grueso, grano soportada, mal clasificada, de clastos e intraclastos micríticos, con abundantes bioclastos y fragmentos de pelecípodos.

### Calcarenita

**Observaciones.** Esta muestra se encuentra altamente recristalizada.



*Fotomicrografía T-209b (nicos paralelos, objetivo 10x) Textura general de la roca.*



## Muestra T-210

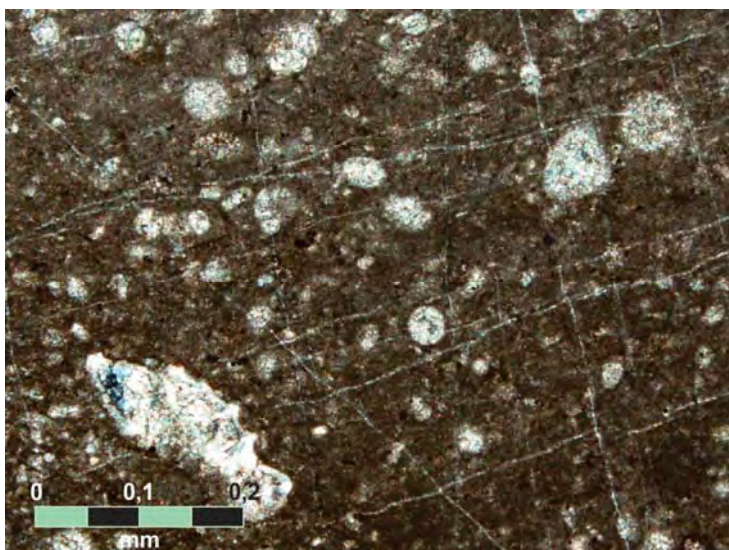
Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 602 265 m E, 2 080 349 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Wackestone, gris claro a la intemperie y café claro al fresco, se observan microfósiles.

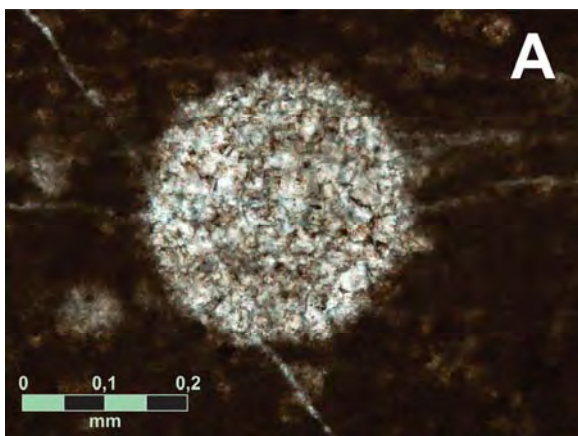
**Lámina delgada:** Wackestone-Packstone de muy abundantes foraminíferos planctónicos, frecuentes radiolarios y calciesferas. Entre los foraminíferos planctónicos se observa la presencia de *Whiteinella* spp., *Whiteinella aprica*, *Dicarinella* spp., *Dicarinella* cf. *algeriana*, *Dicarinella* cf. *hagni*, *Dicarinella* cf. *primitiva*, *Pessagnella turona*, *Helvetoglobotruncana praehelvetica*.



Fotomicrografías T-210.

Izquierda (nicols cruzados, objetivo 10x) Wackestone-Packstone

Abajo (nicols paralelos, objetivo 10x) A. Radiolario. B. Foraminífero planctónico.



## Muestra T-215

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 602 489 m E, 2 080 705 m N.

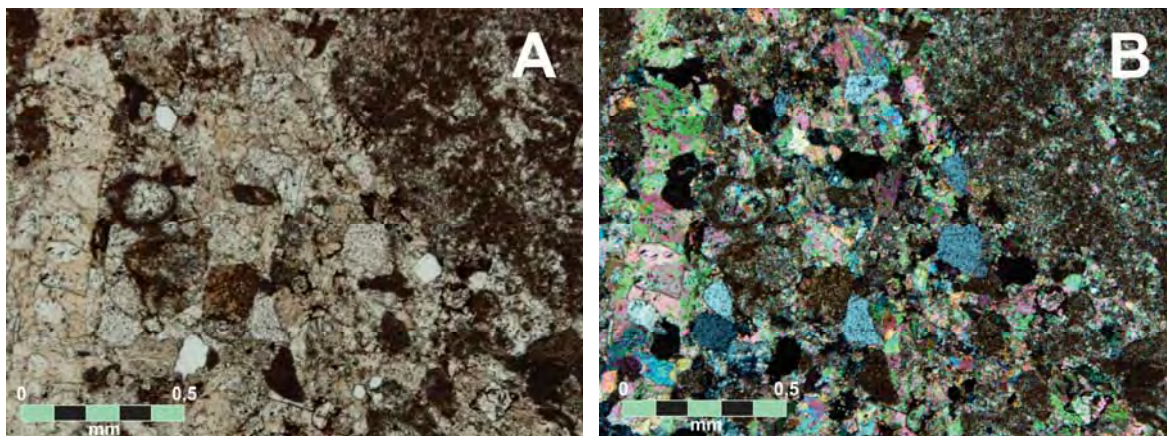
### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca gradada, compuesta por arenas finas a gruesas, subangulosos a subredondeados, clasto-soportada, con clastos de diferentes calizas y un poco de matriz arcillosa, café claro al fresco, gris-pardo a la intemperie.

### Lámina delgada:

Arenas finas a medias, mal clasificada (granos de 1.5 a 2 mm), subredondeados a angulosos, cemento-soportada, con contactos cóncavos-convexos principalmente y algunos rectos. Los clastos son de cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino, plagioclasa, feldespato potásico, bioclastos, intraclastos y extraclastos micríticos; cementante de calcita y óxidos de Fe rodeando algunos clastos micríticos.

### Calcarenita



*Fotomicrografías T-215 (A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados; objetivo 4x) Calcarenita*



## Muestra T-216

**Unidad litoestratigráfica:** Formación Agua de Cordero

**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 598 047 m E, 2 075 930 m N.

### Descripción

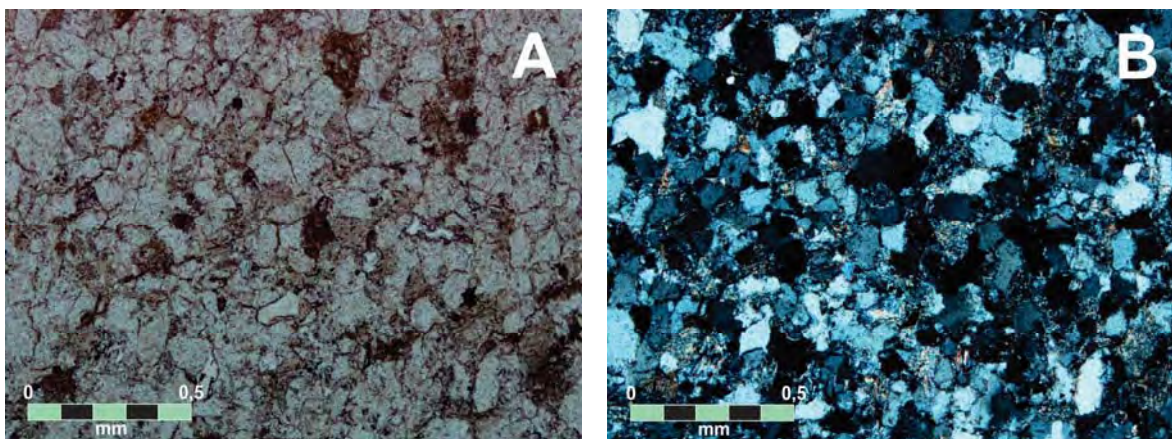
**Muestra de mano:** Arenisca de grano fino, laminada, compuesta principalmente por cuarzo.

#### *Lámina delgada:*

Arenas finas, muy bien clasificada, granos subredondeados a angulosos, granosoportada, con contactos cóncavos-convexos, rectos y algunos suturados.

Con clastos de cuarzo monocristalino, muscovita, metasedimentarios, circón en una matriz de sericita.

#### *Sublitarenita*



**Fotomicrografía T-216. (A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados, objetivo 4x)** Muestra la textura general de la muestra.



## Muestra T-225a

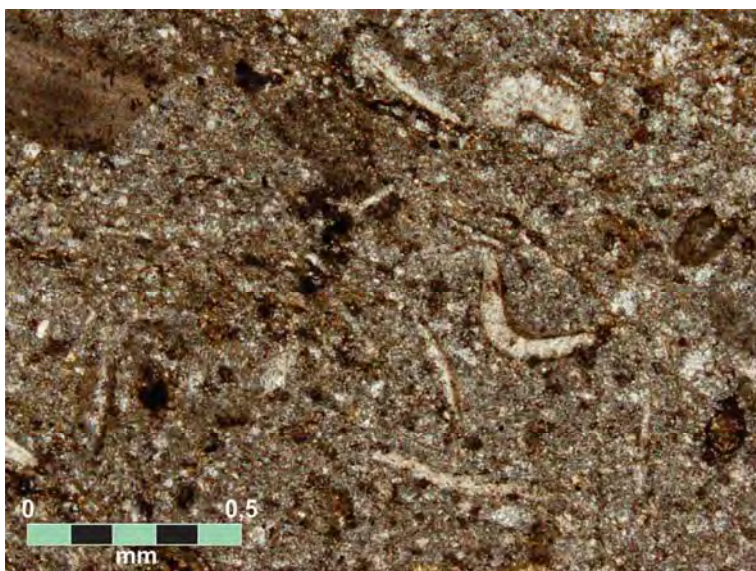
Unidad litoestratigráfica: Formación Agua de Cordero

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 598 372 m E, 2 076 559 m N.

### Descripción

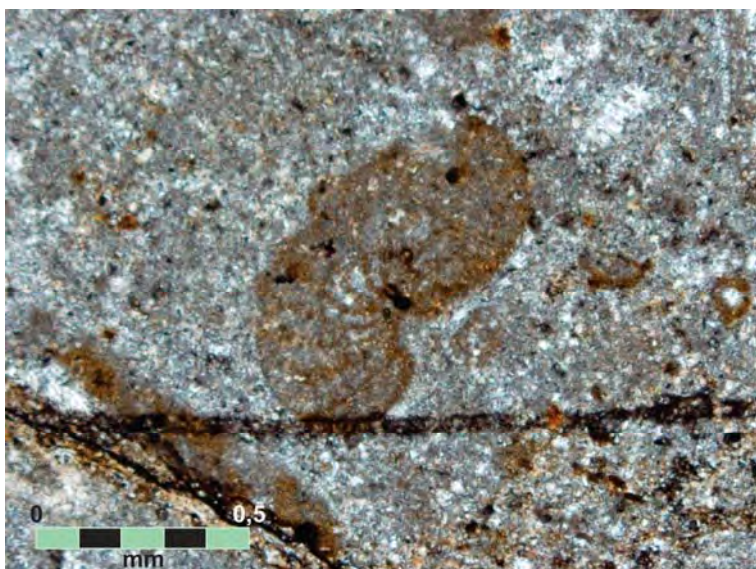
**Muestra de mano:** Wackestone, café claro a pardo a la intemperie, café claro al fresco, con fragmentos de fósiles.

**Lámina delgada:** Wackestone-packstone con abundantes fragmentos de moluscos y pelecípodos, frecuentes equinodermos y traza de foraminíferos bentónicos, entre los cuáles se clasificaron *Choffatella decipiens* y *Everticyclammina hedbergi*.



*Fotomicrografías T-225.*

*(nicos paralelos, objetivo 4x)*  
*Textura general de la roca.*



*(nicos paralelos, objetivo 4x)*  
*Foraminífero bentónico Choffatella decipiens*



## Muestra T-226

Unidad litoestratigráfica: Formación Agua de Cordero

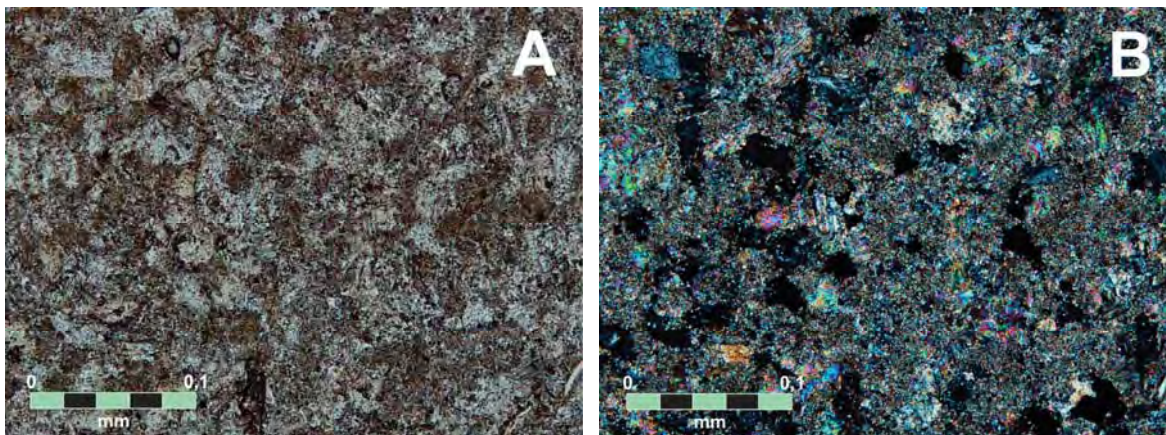
Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 598 398 m E, 2 076 604 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de color pardo, de grano muy fino.

**Lámina delgada:** Arenisca de grano muy fino, muy bien clasificada, con clastos subredondeados a redondeados, con un gran contenido de intraclastos micríticos y abundantes feldespatos potásicos. La matriz micrítica empieza a ser recristalizada pero se observan *estomiosféridos*. En los cristales de feldespatos se observa que empieza a haber una sustitución por calcita.

### Calcarenita



**Fotomicrografía T-226 (A: nicoles paralelos y B: nicoles cruzados, objetivo 20x)** Textura general de arenisca híbrida, donde abundan los intraclastos micríticos y en el cuadrante superior izquierdo se observa un cristal de feldespato potásico que muestra bordes que empiezan a ser reemplazados por cristales de calcita..



## Muestra T-229

**Unidad litoestratigráfica: Formación Chiapa**

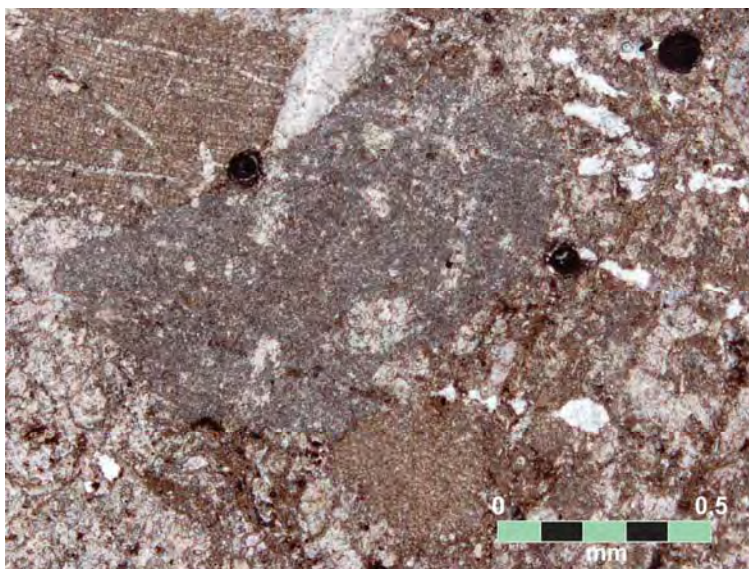
**Coordenadas de la muestra colectada:** 14Q 602316 m E, 2 080 522 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de color pardo, de grano grueso, clastos subredondeados a redondeados, matriz soportada, moderadamente clasificada; muestra gradación normal. La matriz es calcárea y contiene clastos e intraclastos calcáreos y algunos arcillosos con un poco de oxidación.

**Lámina delgada:** Arenisca de grano medio a grueso, mal clasificada, clastos subangulosos a subredondeados, con clastos e intraclastos de mudstone, wackestone de miliolidos, fragmentos de pelecípodos, equinodermos y clastos de packestone de peletoides en una matriz micrítica y cementante calcáreo.

### *Calcarenita*



**Fotomicrografía T-229 (nícoles paralelos, objetivo 4x)**  
 Clastos calcáreos mudstone y wackestone, matriz micrítica y cementante calcáreo.



## Muestra T-265

Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 609356 m E, 2 077 485 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de grano grueso, matriz-soportada, mal calcificada, con clastos e intraclastos calcáreos y algunos bioclastos.

**Lámina delgada:** Arenisca de grano grueso, matriz-soportada, mal clasificada, con clastos e intraclastos micríticos, clastos de caliza wackestone, packstone y grainstone de abundantes foraminíferos bentónicos; con bioclastos, entre ellos ostrácodos, equinodermos y oolitos en una matriz calcárea.

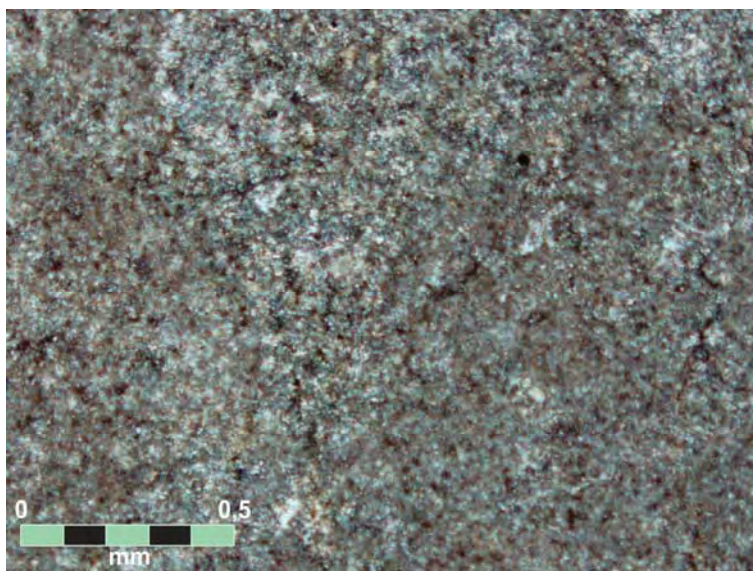
### Calcarenita



*Fotomicrografía T-265 (nicos paralelos, objetivo 4x) Calcarenita, donde se observa un clasto de grainstone de foraminíferos bentónicos.*





**Muestra T-267****Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali****Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 609481 m E, 2 097 628 m N****Descripción*****Muestra de mano:*** Mudstone***Lámina delgada:*** Mudstone con poco contenido de arcillas.

***Fotomicrografía T-267 (nicos paralelos, objetivo 4x) Textura general de la roca.***



## Muestra T-271

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 609 797 m E, 2 077 787 m N**

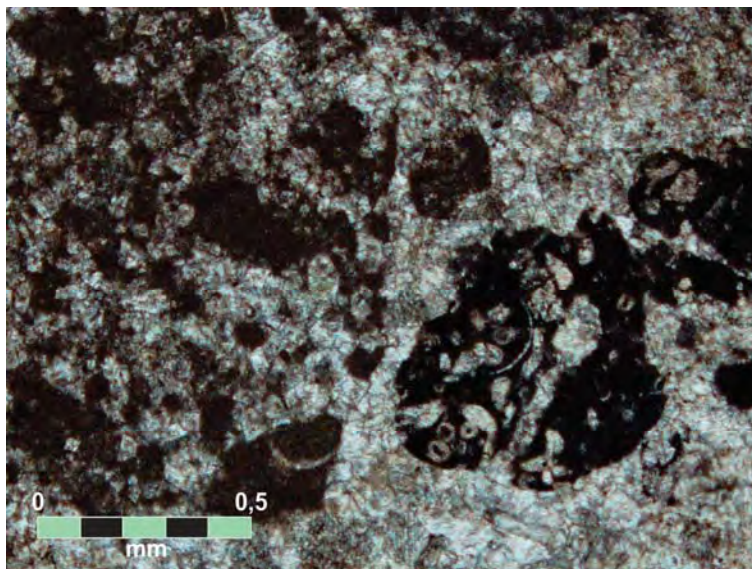
### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de grano grueso, matriz soportada, mal calcificada, con clastos calcáreos.

**Lámina delgada:** Arenisca de grano grueso, matriz-soportada, mal clasificada, con algunos contactos puntuales y cóncavos-convexos, posee abundantes ostrácodos y clastos de diferentes tipos de caliza entre los que destacan de tipo wackestone con comunes ostrácodos desarticulados y packstone con abundantes radiolarios y alto contenido de materia orgánica.

### Calcarenita

**Observaciones:** El estrato donde se recolectó esta muestra contenía la secuencia bouma completa.



*Fotomicrografía T-271 (nicos paralelos, objetivo 4x) Calcarenita donde se observan dos clases de clastos calcáreos, a la derecha clastos con alto contenido de materia orgánica.*



## Muestra T-305

Unidad litoestratigráfica: Formación Tentzo

Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 605 954 m E, 2 076 769 m N

### Descripción

**Muestra de mano:** Brecha calcárea, con clastos redondeados a subredondeados, moderadamente clasificada, matriz soportada, clastos e intraclastos calcáreos y bioclastos.

**Lámina delgada:** Brecha calcárea, moderadamente clasificada, matriz soportada, con clastos de calizas packstone de muy abundantes foraminíferos bentónicos (*Nummoloculina heimi*), raros ooides, braquiópodos, equinodermos y rudistas.



Fotomicrografía T-305 (nicos  
paralelos, objetivo 4x)  
*Nummoloculina heimi*.



## Muestra T-308

Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali

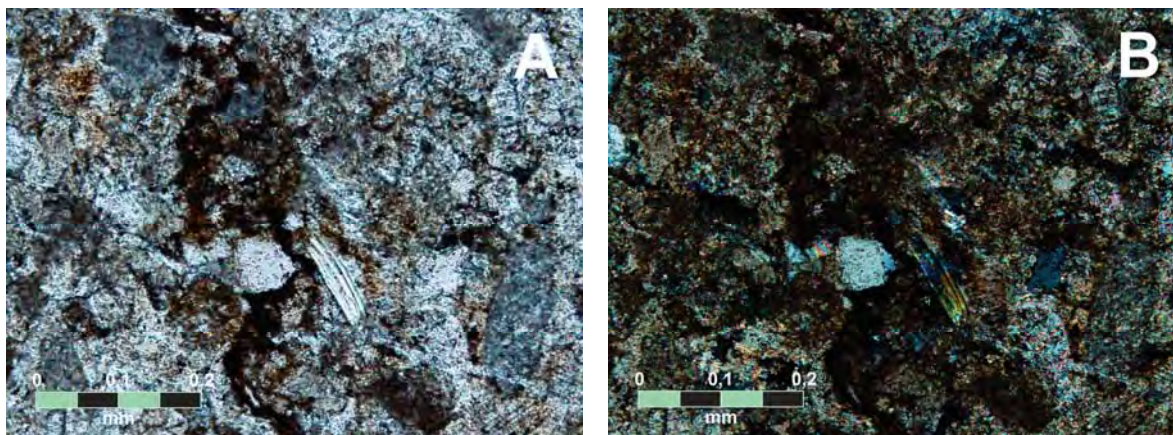
Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 607 297 m E, 2 082 004 m N.

### Descripción

**Muestra de mano:** Arenisca de grano fino, laminada.

**Lámina delgada:** Arenisca de arenas finas, bien clasificada (granos de 0.25 a 0.30 mm), subangulosos a subredondeados, no se aprecia porosidad primaria ni secundaria, clasto soportada, con contactos rectos y cóncavos-convexos entre los granos. Posee clastos de cuarzo policristalino, cuarzo monocristalino, líticos calcáreos (intraclastos y extraclastos), bioclastos y muscovita en una matriz micritica y en menor proporción cementante de calcita.

**Calcarenita.**



**Fotomicrografías T-308 (A: nicols paralelos y B: nicols cruzados, objetivo 10x) Textura de calcarenita.**



## Muestra T-309

**Unidad litoestratigráfica: Formación Tecali**

**Coordenadas de la muestra colectada: 14Q 606 933 m E, 2 087 042 m N (esta muestra se encuentra fuera del área de estudio)**

### Descripción

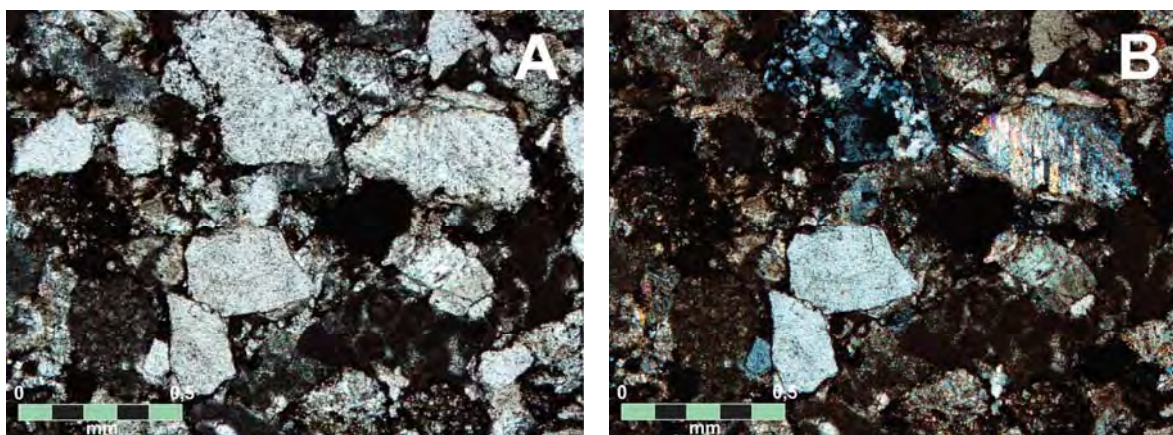
**Muestra de mano:** Arenisca de arenas medias a gruesas

**Lámina delgada:** Arenisca de arenas gruesas, moderadamente clasificada (con granos de 0.5 a 1 mm), angulosos a subredondeados, predominan los contactos rectos, cóncavos-convexos y suturados, clasto soportada, presenta poca porosidad secundaria por disolución.

Contiene menos del 5 % de cementante de calcita de tipo poikilotópica y matriz micrítica rellenando algunas cavidades, el origen de ésta se considera que es por la desintegración de algunos untraclastos micríticos.

Contiene clastos de cuarzo policristalino, cuarzo monocristalino, feldespatos potásicos, muscovita, líticos calcáreos micríticos (intraclastos e intraclastos, los primeros poseen una fina película de óxidos de Fe) y bioclastos.

### **Arenisca Híbrida**



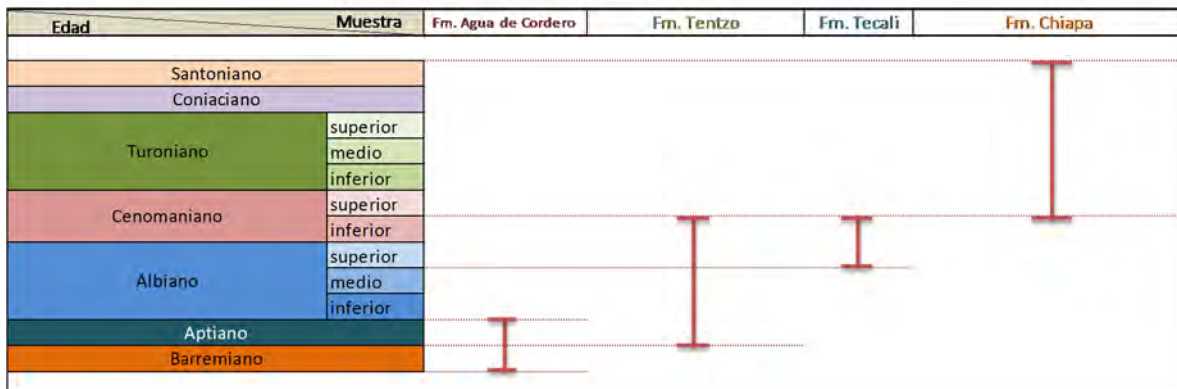
**Fotomicrografías T-309 (A: nicles paralelos y B: nicles cruzados; objetivo 4x) Textura de arenisca híbrida.**



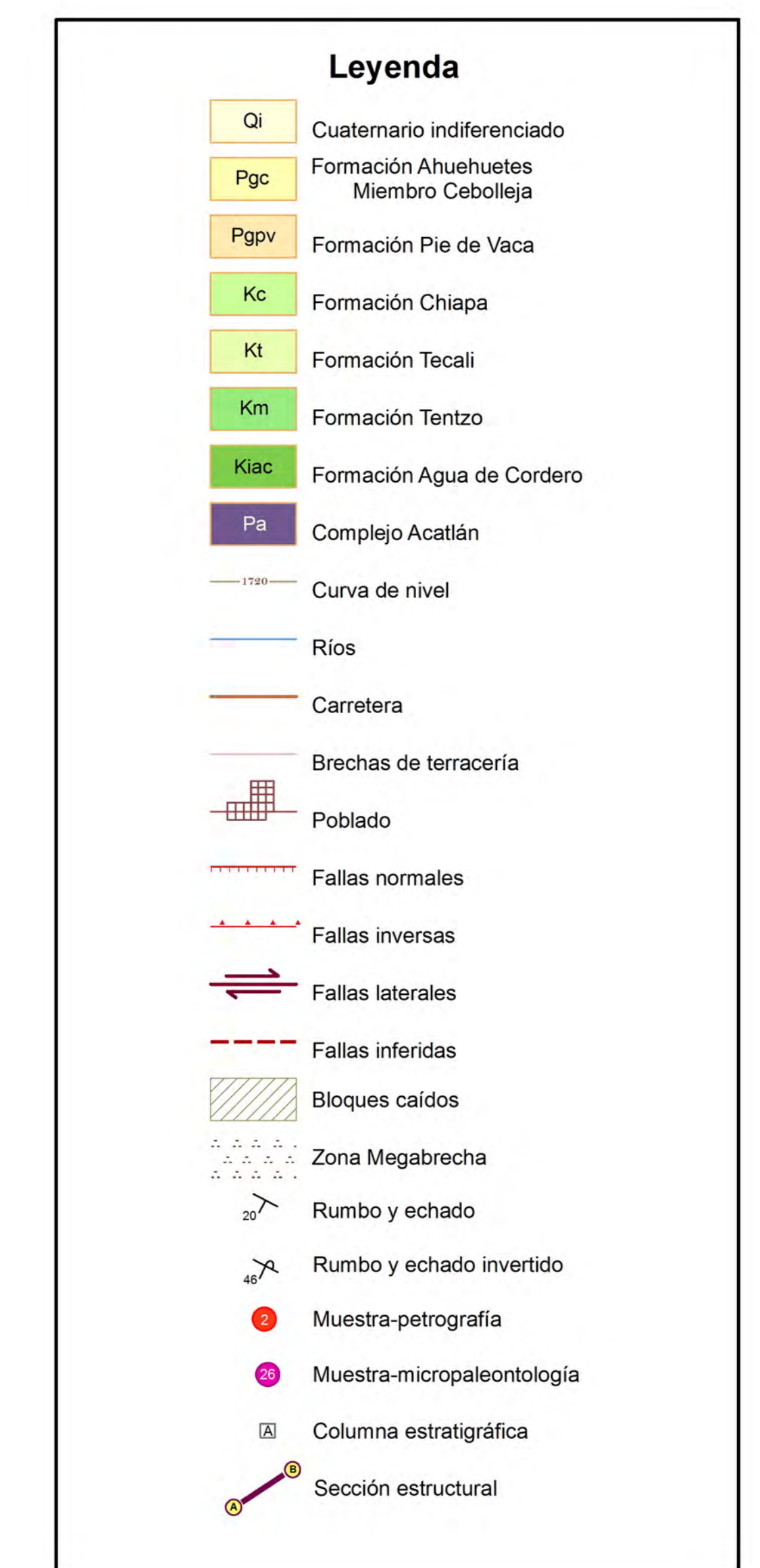
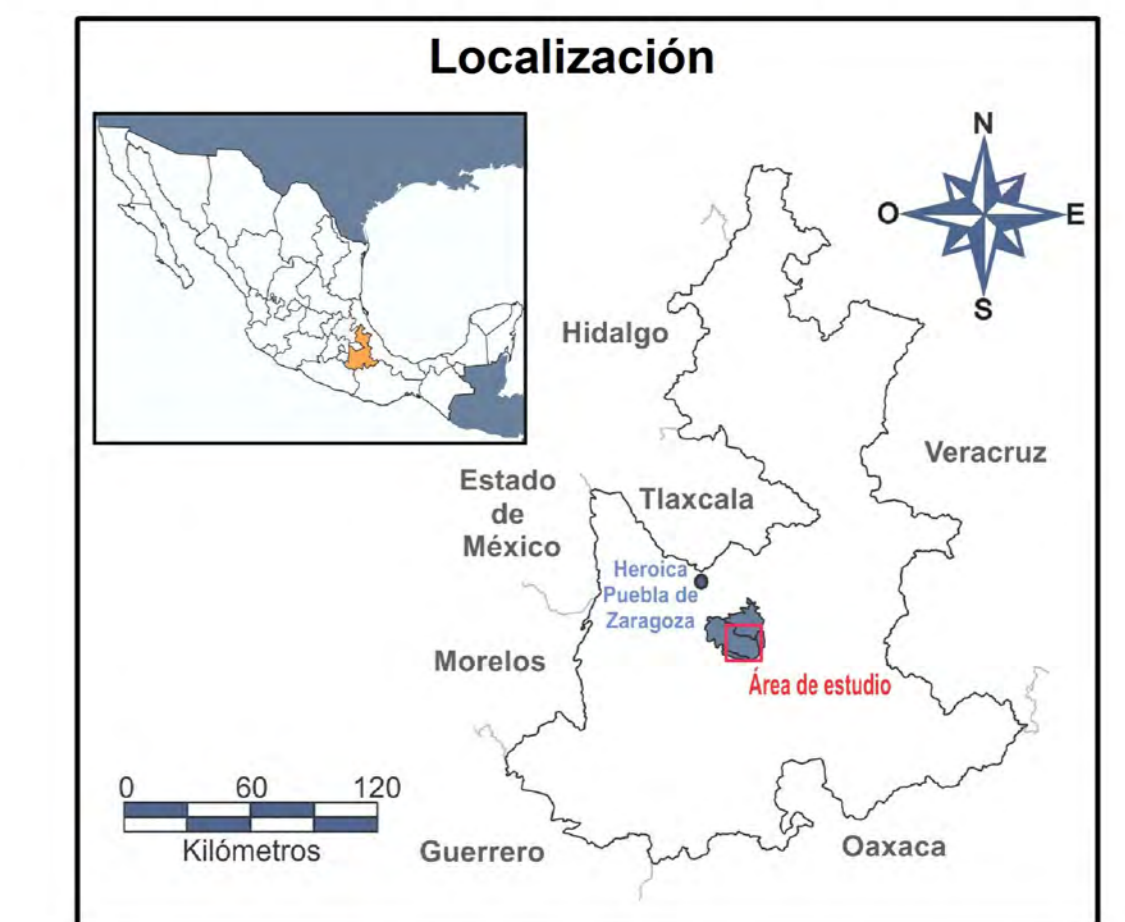
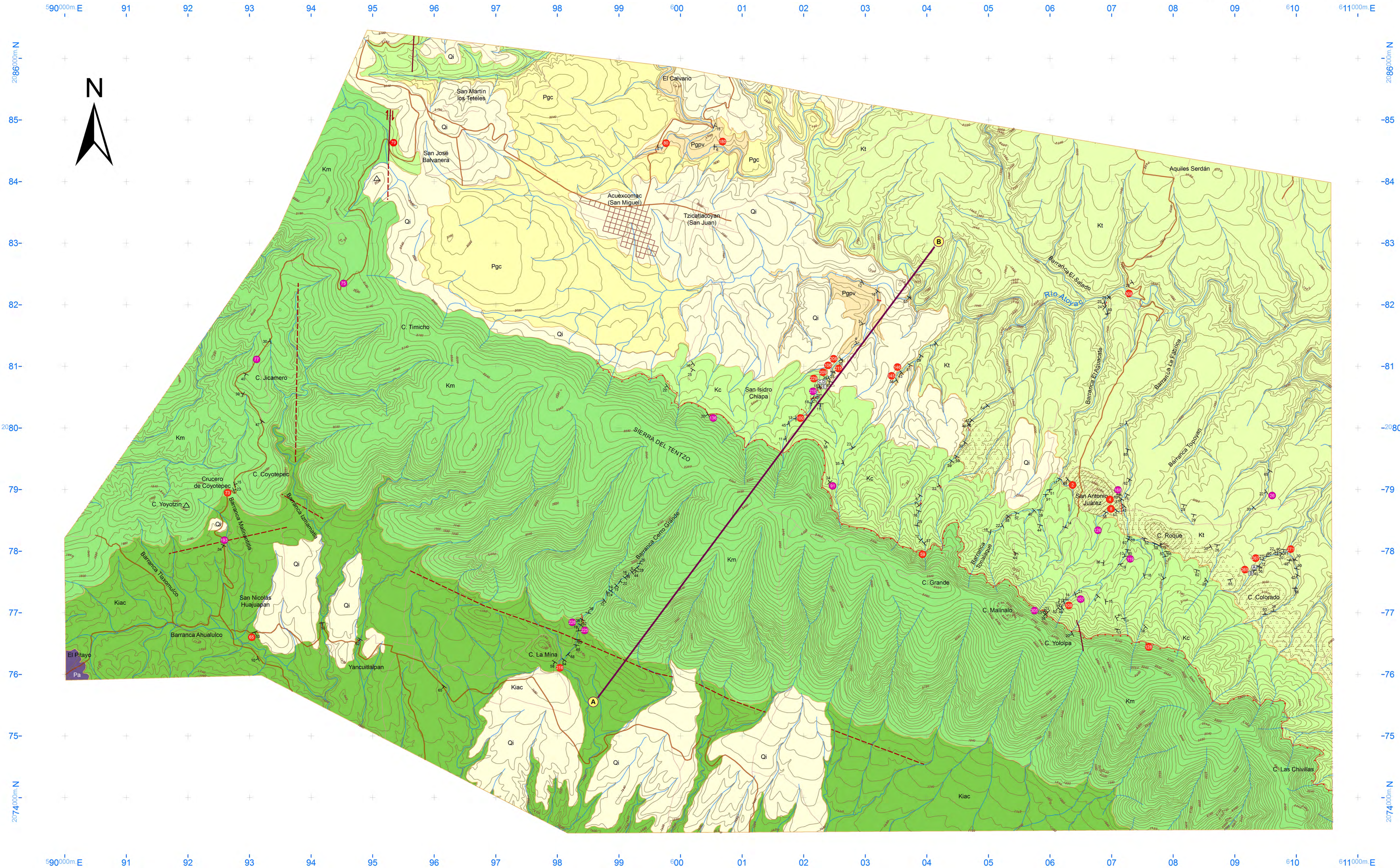
Apéndice B. Contenido Microfaunístico

Microfósil	Formación-Muestra	Fm. Agua de Cordero			Fm. Tentzo			Fm. Tecali		Fm. Chiapa				
		T-193	T-225	T-226	T-77	T-75	T-305	T-136	T-26	T-168	T-126	T-119	T-210	T-107
<i>Calcisphaerula innominata</i>								*			*			*
<i>Pithonella ovalis</i>														*
<i>Heterohelix</i> sp.											*		*	
<i>Whiteinella</i> spp.										*	*	*		
<i>Whiteinella</i> sp.										*		*	*	*
<i>Whiteinella aprica</i>										*		*	*	
<i>Whiteinella archaeocretacea</i>											*			
<i>Whiteinella</i> cf. <i>baltica</i>														*
<i>Hedbergella</i> sp.					*									*
<i>Dicarinella</i> spp.										*	*	*	*	
<i>Dicarinella</i> cf. <i>algeriana</i>										*	*	*		
<i>Dicarinella</i> cf. <i>hagni</i>										*		*		
<i>Dicarinella</i> cf. <i>primitiva</i>										*		*		
<i>Dicarinella</i> cf. <i>concovata</i>													*	
<i>Pessagniella turona</i>										*		*		
<i>Helvetoglobotruncana praehelvetica</i>										*	*	*		
<i>Helvetoglobotruncana</i> cf. <i>helvetica</i>											*			
<i>Marginotruncana</i> sp.													*	
<i>Clavihedbergella moremani</i>														*
<i>Dicyclina schlumbergeri</i>								*	*					
<i>Nummoloculina heimi</i>						*	*		*					
<i>Dictyoconus walnutensis</i>							*							
<i>Nannoconus</i> sp.					*									
<i>Debarina</i> sp.						*								
<i>Choffatella decipiens</i>		*	*											
<i>Protopenelopis</i> sp.		*												
<i>Everticyclammina hedbergi</i>		*	*											
<i>Pseudocyclammina lituus</i>		*												
<i>Cuneolina</i> cf. <i>laurenti</i>		*												
<i>Cuneolina</i> sp.							*							
<i>Cuneolina</i> spp.		*												
Estomiosféridos				*										

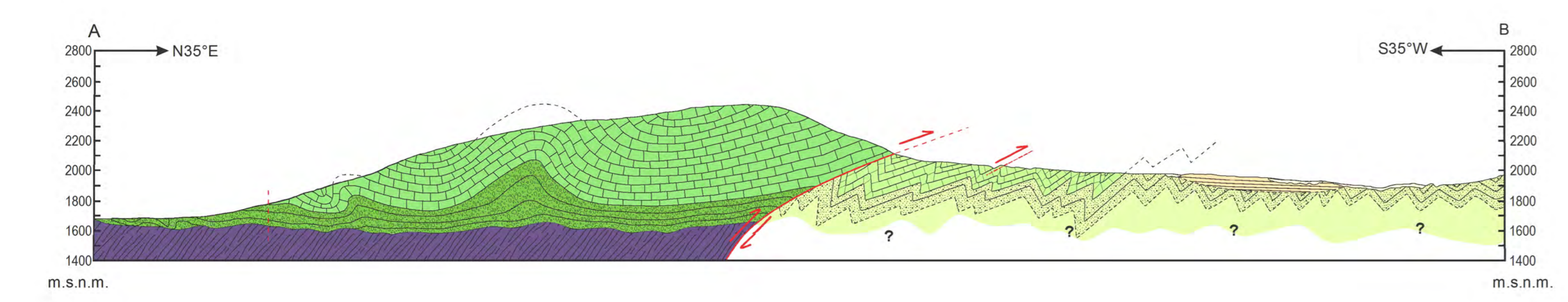
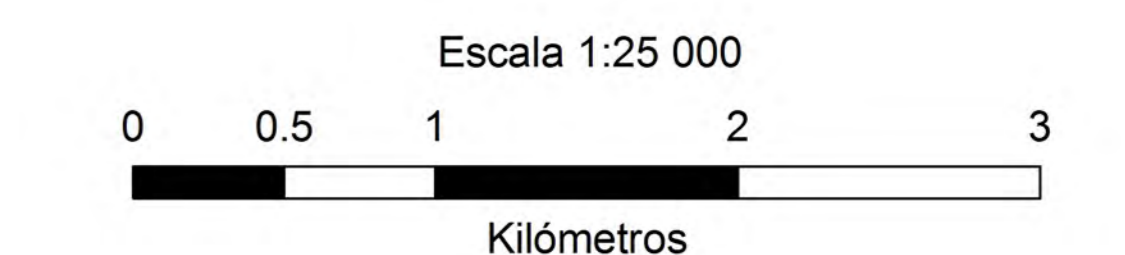
Edad	Muestra	T-193	T-225	T-226	T-77	T-75	T-305	T-136	T-26	T-168	T-126	T-119	T-210	T-107	T-91
Santoniano															
Coniaciano															
Turoniano	superior														
	medio														
	inferior														
Cenomaniano	superior														
	inferior														
Albiano	superior														
	medio														
	inferior														
Aptiano															
Barremiano															



# Mapa Geológico de la Sierra del Tentzo, Puebla



Cartas Topográficas (INEGI).....	E14B53 Totimehuacán E14B54 Tepeaca
Elipsoide.....	GRS80
Cuadrículas.....	UTM a cada 1000 m.
Dátum horizontal.....	ITRF92
Referencia de Cotas.....	Nivel medio del mar
Distancia entre curvas de nivel.....	20 m.
Declinación magnética para 2013.....	8° 47'
Variación magnética anual.....	4°



Era	Periodo	Época	Piso	San Nicolás Juárez	San Antonio Juárez-Tecali
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno		Cuaternario indiferenciado	Cuaternario indiferenciado
	Neógeno	Plioceno			
		Mioceno			
Mesozoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiano		
			Campaniano		
			Santoniano		
			Coniaciano		
			Turoniano		
	Inferior	Cenomaniano			
		Albiano			
		Aptiano			
		Barremiano			
		Hauteriviense			
Jurásico		Valanginiano			
		Berriasiense			
Triásico					
Paleozoico					

## UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS DE LA SIERRA DEL TENTZO, PUEBLA

**CUATERNARIO INDIFFERENCIADO:** depósitos de gran espesor compuesto por intercalaciones de paleosuelos, capas de caliche y lentes de conglomerado.

**FORMACIÓN AHUEHUETES, MIEMBRO CEBOLLEJA:** ignimbrita lítica no soldada, con fragmentos muy gruesos y bloques de caliza, cristales de cuarzo, y pómez, tiene intercalaciones de ignimbrita cristalina no soldada de grano fino con un alto contenido de cristales de cuarzo y pómez, así como paquetes de lodolita tabocosa de color blanco algunas veces laminadas paralelamente a la estratificación.

**FORMACIÓN PIE DE VACA:** mudstone de ooides y bioclastos, con travertinos, algunos estratos de caliza presentan bandas de pedernal de colores claros. Presenta estructuras sedimentarias como marcas de rana y carga, bioturbación, algunas veces se observan carpetas de algas paralelas a la estratificación y también presentan acumulaciones de ostrácodos muy pequeños.

**FORMACIÓN CHIAPA:** wackestone-packstone de muy abundantes foraminíferos, radiolarios y wackestone-packstone con abundantes bioclastos, lutitas calcáreas (algunas carbonosas) y brechas calcáreas con abundantes intraclastos, fragmentos de bioclastos, frecuentes foraminíferos bentónicos.

**FORMACIÓN TECALI:** sucesión rítmica de areniscas (calcarentas y areniscas híbridas) y lutitas, con intercalaciones de brechas calcáreas, calizas arcillosas y estratos gruesos de caliza wackestone, de abundantes bioclastos. Se encuentra intensamente bioturbada.

**FORMACIÓN TENTZO:** mudstone y wackestone con abundantes foraminíferos, oolite de muy abundantes bioclastos, así como calizas masivas que se encuentran en cambios de facies tanto verticales como laterales con las brechas calcáreas, sin tener un patrón regular.

**FORMACIÓN AGUA DE CORDERO:** areniscas de grano medio a grueso, de clastos subangulosos a angulosos, intercaladas con estratos o paquetes de estratos de lutitas de color rojo y conglomerados gruesos, de clastos subredondeados a subangulosos principalmente de cuarzo monocristalino, cuarzo metamórfico, liticos volcánicos y metamórficos en una matriz arcillosa roja.

**COMPLEJO ACATLÁN:** esquistos de color verde claro, con una foliación plegada y segregaciones de cuarzo, además de litas que van de color verde a rojo e intertemperan a verde y pardo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE GEOLOGÍA

Mapa Geológico de la Sierra del Tentzo, Puebla.

Mildred del Carmen Zepeda Martínez  
Tesis Profesional  
2013