

La Formación Zicapa del sur de México: revisión estratigráfica, sedimentología y ambientes sedimentarios

María Isabel Sierra-Rojas y Roberto Stanley Molina-Garza

Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México,
Campus Juriquilla, Querétaro 76230, México.
misierra@geociencias.unam.mx

RESUMEN

El Cretácico Inferior del oeste de México se ha interpretado como el registro de magmatismo y sedimentación en un sistema de arco de islas separado de la margen continental por una cuenca marginal, al este de la cual se desarrolló un sistema de plataformas calcáreas sobre el basamento metamórfico pre-Mesozoico. Las características sedimentológicas y las relaciones de facies de las rocas de la Formación Zicapa en el norte de Guerrero y sur de Puebla, permiten inferir la presencia de magmatismo calcialcalino en el occidente del núcleo continental de México en el Cretácico Temprano, previo al desarrollo de la plataforma Guerrero-Morelos en el Albiano. La Formación Zicapa registra un ambiente de sedimentación continental cercano a la costa con evidencias de, al menos, una transgresión y presencia de volcanismo intermedio de ~130 Ma. Para mejorar el conocimiento de la estratigrafía del sur de México en el Cretácico Inferior, se propone dividir la Formación Zicapa en cinco miembros: el Miembro Cerro La Cruz, compuesto por un conglomerado basal, el Miembro San Juan de las Joyas, de carácter calcáreo, el Miembro Ajuatetla, de carácter siliciclástico y de ambiente transicional marino, el Miembro San Andrés, de carácter volcanosedimentario y el Miembro río Poblano, dominado por limolita y lutita roja con algunas intercalaciones de caliza. La edad máxima de depósito de la Formación Zicapa fue determinada con base en análisis U-Pb por ablación láser de circones detríticos, obteniendo una edad para la parte media de la formación (Miembro San Andrés) de 133 ± 1.3 Ma. Junto con unidades como las formaciones Chapolapa, Xonamanca y Atzompa, la Formación Zicapa apoyan la interpretación de la margen oeste de Oaxaquia como una margen convergente durante el Barremiano-Aptiano.

Palabras clave: facies sedimentarias; volcanismo calcialcalino; Cretácico Temprano; Formación Zicapa; México.

ABSTRACT

The Lower Cretaceous of western Mexico has been interpreted as the record of magmatism and sedimentation in an island arc system, separated of the continental margin by a marginal basin, east of which a system of carbonate platforms was developed on the pre-Mesozoic basement. The sedimentological characteristics and facies relations of the Zicapa Formation in northern Guerrero and southern Puebla allow us to infer the presence of calc-alkaline magmatism in western

margin of mainland Mexico during the Early Cretaceous, prior to the development of the Albian Guerrero-Morelos platform. The Zicapa Formation deposited in a continental environment near the coast with the presence of ~130 Ma intermediate volcanism and evidences of, at least, one transgression. To improve the knowledge of the Early Cretaceous stratigraphy of southern Mexico, we suggest to divide the Zicapa Formation into five members: the Cerro La Cruz Member which consists of a basal conglomerate, San Juan de las Joyas Member, made of limestone, the Ajuatetla Member of siliciclastic and transitional marine environment, the San Andrés Member with volcanosedimentary character and the río Poblano Member, dominated by red siltstone and shale interbedded with some limestone. The maximum depositional age for the medium part (San Andrés Member) of the Zicapa Formation is 133 ± 1.3 Ma, from detrital zircon U-Pb laser-ablation geochronology. Strata of the Chapolapa, Atzompa, and Xonamanca formations, together with the Zicapa Formation support interpretation of a convergent margin in western Oaxaquia during Barremian-Aptian time.

Key words: sedimentary facies; calcalkaline volcanism; Early Cretaceous; Zicapa Formation; Mexico.

INTRODUCCIÓN

El Cretácico Temprano del oeste de México se caracteriza por el registro de magmatismo y sedimentación en un sistema de arco de islas separado de la margen continental por una cuenca marginal, al este de la cual se desarrolló un sistema de plataformas calcáreas sobre un basamento pre-Mesozoico (Martini *et al.*, 2011). Este es el caso de la plataforma Guerrero-Morelos del Albiano en Guerrero, construida en la margen occidental del terreno Mixteco (Figura 1). Al oeste de dicha plataforma existe el registro de volcanismo de arco y sedimentación peri-arco del Terreno Compuesto Guerrero (Centeno-García *et al.*, 2003; Centeno-García *et al.*, 2008). Subyaciendo a las rocas calcáreas de la Plataforma Guerrero-Morelos, aflora la Formación Zicapa (de Cserna *et al.*, 1980), objetivo del presente estudio, en el que mostramos que magmatismo calcialcalino está presente en las secuencias del Barremiano-Aptiano del terreno Mixteco. En trabajos previos sobre la Formación Zicapa se reporta principalmente su ubicación, paleontología y descripciones litológicas (de Cserna *et al.*, 1980; Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez, 2010 y Pantoja-Alor, 1990).

A nivel regional, para el sur de México, se puede considerar que el registro sedimentario del intervalo Berriasiano-Barremiano en la

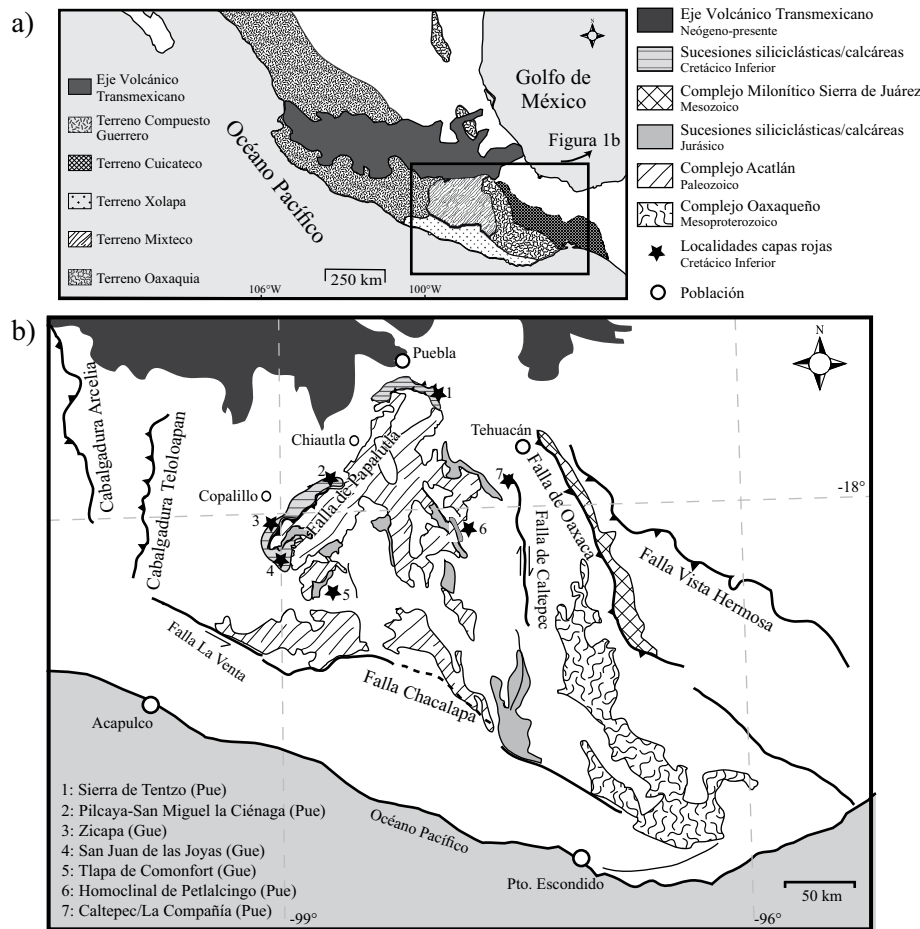


Figura 1. Mapa geológico simplificado del sur de México. El mapa de la parte superior muestra los terrenos tectonoestratigráficos de México (Modificado de Keppie *et al.*, 2004). El mapa inferior muestra la distribución de las rocas del basamento mesoproterozoico y paleozoico y las coberturas sedimentarias mesozoicas (Modificado de Ferrari *et al.*, 2007). Las estrellas marcan las localidades del Cretácico Inferior en el terreno Mixteco. Las localidades 2 y 4, se encuentran en las Figuras 3 y 9.

margen Mixteco/Oaxaquia, representa una pieza clave para entender la historia geológica de esta región. En el presente trabajo abordamos el aspecto de los ambientes de depósito, la presencia de volcanismo andesítico y los posibles escenarios paleogeográficos para el depósito de la Formación Zicapa, lo cual permitirá entender de mejor manera los procesos tectónicos que ocurrieron en el suroccidente de México.

Además de conocer los ambientes de depósito en un área y en un tiempo específicos, nuestro trabajo permitió analizar las posibles áreas fuente de los sedimentos, su relación con la tectónica local o regional y correlacionar regionalmente con otras unidades en ambientes sedimentarios y tectónicos similares.

La integración de cartografía geológica, sedimentología y geocronología permitió proponer un modelo de transición tectónica durante el Cretácico Inferior en el sur de México. El análisis de facies fue fundamental para determinar un ambiente de sedimentación transicional marino, con aporte inicial de sedimentos con procedencia continental, desde los macizos metamórficos circundantes, y un aporte posterior de fuentes volcánicas que dominó la composición del sedimento durante un periodo que antecede la formación de la plataforma Guerrero-Morelos. Se propone también una revisión de la nomenclatura estratigráfica de la Formación Zicapa para incluir intervalos de depósitos calcáreos e intervalos de volcanismo y depósitos volcanoclásticos no incluidos en la definición original de la formación. De acuerdo con esta revisión, se propone definir formalmente la Formación Zicapa en

cinco miembros que pueden ser correlacionados en dos localidades diferentes, lo que facilita, además, la correlación regional.

LOCALIZACIÓN Y MÉTODOS

La Formación Zicapa del Cretácico Inferior (de Cserna *et al.*, 1980) aflora en la Sierra Madre del Sur, en la región de la Montaña de Guerrero, desde el sur de Puebla hasta el sur de Guerrero, en las inmediaciones de la ciudad de Chilpancingo. Su localidad tipo fue propuesta al sur del poblado de Zicapa (de Cserna *et al.*, 1980), ubicado en el municipio de Copalillo, estado de Guerrero, sobre el curso del río Mezcala, conocido en el área como río Poblano. En esta localidad la Formación Zicapa está compuesta por capas rojas de arenisca, lutita, conglomerado polimíctico, con presencia de capas decimétricas a métricas de caliza, marga y, localmente, rocas volcánicas y volcanoclásticas (Fitz-Díaz, 2001; Fitz-Díaz *et al.*, 2002; Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez, 2010).

El presente trabajo se basa en el análisis detallado de la Formación Zicapa en dos localidades: una en la localidad de Pilcaya-San Miguel la Ciénaga en la cuenca alta del río Balsas, cerca de Chiantla de Tapia, estado de Puebla; la otra en San Juan de las Joyas, al norte del estado de Guerrero y cerca de la localidad tipo (Figura 1). Este estudio presenta la integración de datos litológicos y sedimentológicos colectados

Tabla 1. Litofacies presentes en la Sección Pilcaya-San Miguel la Ciénaga y San Juan de las Joyas, Formación Zicapa. Modificado de Miall (1996) y Smith (1986).

Código litofacies	Tamaño de grano	Estructuras sedimentarias	Interpretación
Bmm	Guijarros y bloques angulosos	Brecha masiva, soportada por matriz, sin gradación	Flujos de gravedad, abanico aluvial, flujo de escombros
Gmm	Gujarros a bloques	Masivas, sin imbricación, soportada por matriz,	Flujos de masa depositados por flujos hiperconcentrados
Gh	Guijas y Guijarros	Estratificación horizontal, imbricación	Depósitos residuales, barras longitudinales, depósitos bien clasificados
Gh(a)	Guijas y Guijarros	Estratificación horizontal de clastos volcánicos	Depósitos residuales, barras longitudinales, depósitos bien clasificados
Gp	Guijas y Guijarros	Estratificación cruzada plana	Barras transversales, barras deltaicas a partir de barras remanentes
St	Arena fina a muy gruesa	Estratificación cruzada festonada individual o agrupada	Dunas tridimensionales
Sp	Arena fina a conglomerática	Estratificación cruzada plana	Dunas bidimensionales, régimen de flujo inferior
Sm	Arena fina a gruesa	Laminación masiva o tenue	Depósito de flujos de gravedad
Sh	Arena fina a muy fina	Laminación plana paralela, tabular	Plataforma de mareas
Sm (a)	Arena fina a media, localmente conglomerática con predominio de líticos	Masivas, mal clasificadas. Espesor de 0.3 a 4 metros. Contacto neto en la base	Depósito de flujo piroclástico, de grano fino; depósito epiclástico
Sr	Arena muy fina a gruesa	Laminación cruzada y rizaduras	Rizaduras (flujo inferior)
Ss	Arena fina a muy gruesa, escasamente conglomerática	Marcas de fondo de canal amplios y someros	Relleno de canal
Fl	Arena, limo o lodo	Laminación fina y rizaduras muy pequeñas	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundaciones menguantes
Fl*	Arena muy fina, limo, arcilla	Laminación con icnofósiles	Plataforma de mareas
Fr	Arena, muy fina, limo, arcilla	Masivas, con materia orgánica	Suelos incipientes
Lm	Calizas <i>packstone/wackstone</i>	Capas tabulares de calizas con fósiles y fragmentos de fósiles	Plataformas interiores
Lch	<i>Mudstone/wackestone</i> con carofitas	Capas tabulares masivas con fósiles de carofitas y gasterópodos	Calizas de agua dulce. Lagunas continentales
Bc	Brechas de caliza	Fragmentos angulosos de caliza y matriz ocre	Plataformas de emersión
Ta, La	Ceniza o <i>lapilli</i>	Estratificación horizontal, gradación inversa, normal o ambas	Depósitos de caída piroclástica

durante tres campañas; se construyeron las columnas estratigráficas y se muestrearon diez secciones estratigráficas a lo largo de terracerías, brechas y algunos pequeños arroyos. Por la calidad de los afloramientos, no fue posible hacer un análisis completo de variaciones laterales de facies, sin embargo, dada la continuidad de la mayoría de las secciones compuestas, sí fue posible documentar de forma general los patrones de distribución de facies.

El análisis sedimentológico de la Formación Zicapa incluyó la identificación de litología, estructuras sedimentarias, espesores, geometría de las capas y presencia de material fósil; tras analizar las relaciones inter- e intra-capas, se definieron las facies sedimentarias y sus asociaciones. Se utilizó la metodología sugerida por Miall (1996) para facies fluviales, la de Smith (1987) para las facies volcánicas y volcanoclásticas, y se propusieron nuevos códigos para las facies carbonatadas (Tabla 1). Cada una de las litofacies definidas fue, posteriormente, agrupada en asociaciones de facies, para así interpretar el ambiente de depósito.

Por otro lado, el estudio de circones detríticos tiene una amplia aplicación en la sedimentología, ya que lleva a determinar la edad máxima de depósito, reconocer hiatos en el registro geológico y determinar las características de las fuentes o proveniencia, permitiendo evaluar reconstrucciones paleogeográficas regionales (Fedo *et al.*, 2003).

La metodología utilizada para el análisis de circones consistió en el muestreo de areniscas de grano medio y brechas andesíticas, las cuales fueron trituradas en prensa hidráulica y tamizadas hasta obtener una fracción menor de 125 μm . Esta fracción fue sometida a separación por gravedad en la mesa Wilfley, obteniendo así los minerales densos de la muestra. Finalmente, la muestra se sometió a separación magnética con equipo Frantz y por líquidos pesados. El montaje de la probeta se hizo manualmente, acomodando aleatoriamente todos los circones sin hacer selección, para evitar el sesgo en la muestra. Los circones fueron analizados para obtener relaciones isotópicas y edades en un espectrómetro de masa de plasma inductivamente acoplado en el Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla. El procedimiento analítico se describe en Gehrels *et al.* (2008). Los datos fueron reducidos utilizando el programa Isoplot 4.15 (Ludwig, 2012).

CONTEXTO GEOLÓGICO

En el sur de México se reconoce un núcleo continental conformado por los basamentos metamórficos de los terrenos Oaxaquia y Mixteco (Figura 1). El basamento del terreno Mixteco está con-

formado por el Complejo Acatlán, un complejo polimetamórfico paleozoico compuesto por dos unidades litotectónicas: la unidad estructuralmente inferior corresponde a rocas metasedimentarias de bajo grado, y la superior se compone de metasedimentos, rocas máficas y ultramáficas eclogitizadas que están cubiertas tectónicamente por migmatitas y granitos de alta presión (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1994; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Keppie *et al.*, 2008). El Pérmico tardío en la margen occidental del terreno Mixteco se caracteriza por el depósito de una secuencia clástica y carbonatada, en un ambiente marino epicontinental somero, cuyo contenido fósil restringe su edad al Guadalupiano (Juárez-Arriaga, 2006; Corona-Esquivel, 1981); esta secuencia cubre discordantemente las rocas metamórficas del Complejo Acatlán en la región de Olinalá. Hacia el oriente, en la región de Caltepec, en los límites entre los terrenos Mixteco y Zapoteco, se depositó la secuencia siliciclástica de la Formación Matzitzi del Leonardiano (Centeno-García *et al.*, 2009). En otras regiones de la Mixteca el registro del Pérmico corresponde a la Formación Tecomate (Keppie *et al.*, 2004).

En la región de Olinalá, al occidente del terreno Mixteco, aflora localmente la Ignimbrita Las Lluvias (Figura 2) del Jurásico Medio (Campa-Uranga e Iriondo, 2004), la cual está cubierta por rocas sedimentarias continentales marinas del Conglomerado Cualac y el Grupo Tecocoyunca del Jurásico Medio. El registro estratigráfico del Jurásico Superior del sur de México corresponde a sedimentación en ambientes marinos someros (Padilla y Sánchez, 2007; López-Ticha, 1985). No existe registro de volcanismo en el terreno Mixteco durante ese tiempo, y es hasta el Cretácico Temprano que se presenta volcanismo calcialcalino asociado a sedimentación clástica marina y continental, como es el caso de la Formación Chapolapa al sur de Chilpancingo (Hernández-Treviño *et al.*, 2004; Campa-Uranga e Iriondo, 2004; Solari *et al.*, 2007), la Formación Zicapa, en las cercanías de la falla Papalutla (Fitz-Díaz *et al.*, 2002), la "Roca Verde Taxco Viejo" y el Esquisto Taxco (Campa-Uranga e Iriondo, 2004; Talavera-Mendoza *et al.*, 2007).

Durante el Cretácico Temprano, en el terreno Mixteco, se presentan formaciones con asociaciones de facies transicionales subaéreas a marinas someras (Formación Atzompa, Formación Zicapa, Anhidrita Huitzuc y Formación Acahuizotla), las cuales registran una transición continua hacia una plataforma de carbonatos en el Albiano (Formación Morelos). El depósito de las calizas de la Formación Morelos generan una rampa que profundiza hacia el oeste (Hernández-Romano *et al.*, 1997), en la que es notable la ausencia de material volcánico. La sedimentación calcárea en la plataforma es interrumpida durante el Turoniano-Coniaciano por el depósito de la sucesión clástica marina de la Formación Mexcala (Hernández-Romano *et al.*, 1997).

El volcanismo registrado en la Formación Zicapa fue reconocido por Guzmán (1950) quien define una secuencia compuesta por tobas, areniscas y conglomerados finos de cuarzo, de origen continental o litoral. Una descripción más reciente y completa de la composición, petrografía y edades fue realizada por Fitz-Díaz (2001) y Fitz-Díaz *et al.* (2002), quienes reconocieron rocas volcánicas intercaladas en la Formación Zicapa y asignan una edad Cretácico Temprano para esta formación. En trabajos recientes realizados en la localidad tipo de la Formación Zicapa, se describen en detalle derrames basálticos, tobas y brechas volcánicas intercalados con lentes y capas de calizas arrecifales (Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez, 2010). En la localidad de San Juan de las Joyas, los mismos autores describen igualmente la presencia de rocas volcánicas intercaladas con calizas y areniscas en la Formación Zicapa, lo cual ha sido corroborado en el presente trabajo.

Además de las rocas volcánicas reportadas en la Formación Zicapa en Guerrero y en el sur de Puebla, existe evidencia de dicho magmatismo en la margen norte del terreno Mixteco. En la Sierra de Tentzo, al sur de la ciudad de Puebla, en la parte basal de la unidad de capas rojas

que subyace a calizas del Albiano (Monroy-Fernández y Sosa-Patrón, 1984) o Formación El Tentzo (Zepeda-Martínez, 2013), se presentan clastos de hasta 30 cm de andesita, basalto y felsitas. Esta unidad es correlacionable con la Formación Zicapa por posición estratigráfica y características litológicas. Estas relaciones estratigráficas evidencian una sedimentación marina transicional contemporánea con un volcanismo calcialcalino.

FORMACIÓN ZICAPA

Nomenclatura estratigráfica

Se hizo la revisión de la nomenclatura estratigráfica de la Formación Zicapa debido al carácter informal de su definición original (de Cserna *et al.*, 1980) y a las diferencias que se encontraron durante el desarrollo de nuestro trabajo con la definición original, así como con otros trabajos (de Cserna *et al.*, 1980; Fitz-Díaz *et al.*, 2002; Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez, 2010). Las diferencias substanciales en las observaciones y mediciones de litología y espesores realizadas en este trabajo y que nos llevan a proponer formalmente la redefinición de la Formación Zicapa, de acuerdo a la Guía Estratigráfica Norteamericana (Barragán *et al.*, 2010) son: (1) la definición original se publicó en un medio inapropiado para ese fin; (2) carece de la descripción de rocas volcánicas intercaladas; y, (3) no reconoce la secuencia de calizas en la base de la formación.

Antecedentes

Los lechos rojos asociados a calizas en la región de la montaña de Guerrero fueron notados previamente a la primera definición de la Formación Zicapa (Guzmán, 1950). de Cserna *et al.* (1980) denomina como Formación Zicapa a una secuencia de capas rojas continentales con intervalos de caliza marina. En la localidad tipo tiene un espesor de 700 m donde su base está un contacto por falla con esquistos del Complejo Acatlán, mientras que su contacto superior es transicional con las calizas de la Formación Morelos. En dicha descripción de la sección tipo están ausentes los niveles volcánicos y volcanoclasticos de esta formación. Un trabajo extenso que documenta ampliamente las características petrográficas y sedimentológicas de la Formación Zicapa fue realizado por Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez (2010). En dicho trabajo interpretaron que la Formación Zicapa se depositó en una cuenca de *rift*, con base en la procedencia de sedimentos por análisis petrográficos.

La Formación Zicapa ha sido interpretada como sedimentación continental en ambientes transicionales cercanos a la costa, con facies asociadas a regresiones y transgresiones marinas. La extensión durante el depósito, a su vez, ha sido asociada a: (1) la apertura del Golfo de México (Salinas-Prieto, 1986; Cerca, 2004), (2) sedimentación basal de aulacógenos (Fitz-Díaz *et al.*, 2002) y (3) evolución sedimentaria de una secuencia de *rift* (Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez, 2010). Ninguno de esos modelos está plenamente soportado, aunque todos coinciden en asociar a la Formación Zicapa a un ambiente tectónico extensional.

Definición y Localidad Tipo

De acuerdo con lo anterior y acorde a los lineamientos del Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010) se propone una redefinición de la Formación Zicapa como unidad litoestratigráfica formal en la categoría de formación y se propone la localidad San Juan de las Joyas como localidad tipo. Esta formación se divide en cinco miembros: Miembro Cerro La Cruz, Miembro San Juan de las Joyas, Miembro Ajuatetla, Miembro San Andrés y finalmente en la cima, el Miembro río Poblano. La localidad tipo definida por de Cserna *et al.* (1980), se localiza a 10 km al norte de la Localidad San Juan de las Joyas

Terreno Mixteco Norte

Monroy-Fernández y Sosa-Patrón, 1984
Zepeda-Martínez, 2013

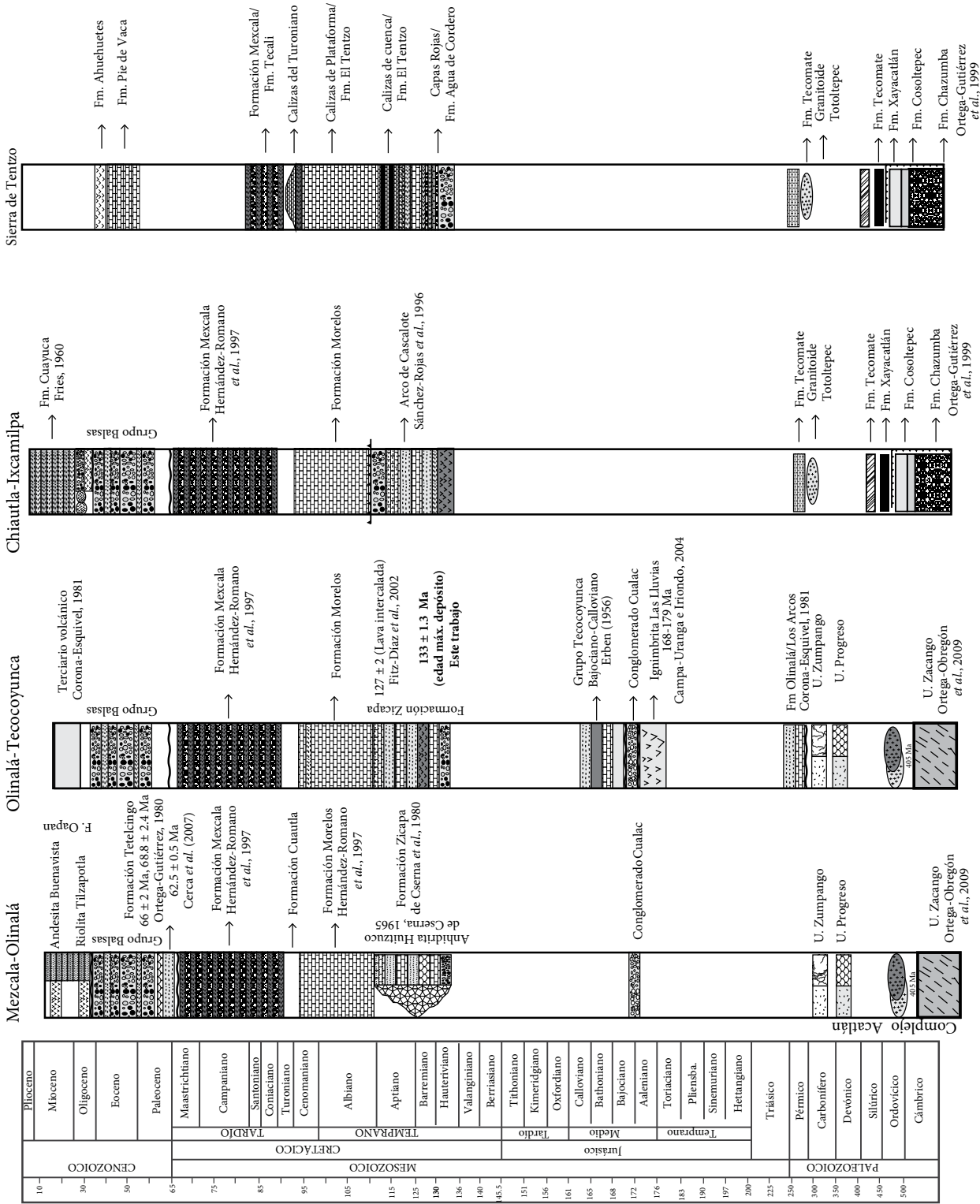


Figura 2. Correlación estratigráfica entre unidades del terreno Mixteco.

y está bien definida en cuanto a características sedimentológicas y relaciones estratigráficas por Figueroa-Catalán y Gómez-Martínez (2010), por lo cual se propone mantener a ésta como sección de referencia.

Localidad San Juan de las Joyas

Esta localidad se encuentra ubicada en el estado de Guerrero, entre el río Poblano al norte y Chilapa de Álvarez al sur. Geológicamente se encuentra sobre el terreno Mixteco, estando aproximadamente a 8 km al suroeste de la cabalgadura de Papalutla (Cerca *et al.*, 2007), falla que pone en contacto el Complejo Acatlán con la Formación Morelos (Figura 3).

La exposición de la Formación Zicapa en los alrededores de San Juan de las Joyas no es un afloramiento continuo de toda la formación, pero permite levantar desde la base hasta la cima, varias columnas representativas para cada uno de los miembros aquí definidos, cubriendo todo el espesor de la formación. Se levantaron cuatro columnas estratigráficas de la base a la cima, separadas geográficamente por una distancia menor a 1 km. La unidad basal se encuentra en el cerro La Cruz, una unidad intermedia, cerca de Ajuatetla, una unidad media volcániclastica, en el cerro San Andrés y finalmente una unidad superior, en el camino al río Poblano (Figura 3). Las columnas fueron levantadas sobre los flancos de un anticlinal cuyo plano axial (N20°E) pasa aproximadamente a 1 km al este de la población de San Juan de las Joyas. Las columnas levantadas en el cerro La Cruz, el cerro San Andrés y el camino al río Poblano están en el flanco oeste del anticlinal, mientras que la columna levantada cerca de Ajuatetla se encuentra en el

flanco este de la estructura (Figura 3). En la localidad de San Juan de las Joyas la Formación Zicapa tiene un espesor total de 560 m (Figura 4).

Miembro Cerro La Cruz. La base de la secuencia de la Formación Zicapa, en el cerro La Cruz está en contacto con el Conglomerado Cualac, el cual a su vez está en contacto discordante sobre filitas del Complejo Acatlán. La parte inferior de la secuencia, con un espesor de 30 metros, se caracteriza por una brecha basal matriz soportada con clastos angulosos con diámetros entre 3 a 10 cm, compuestos de filitas y cuarzo lechoso, intercalada con areniscas líticas y conglomerados de igual composición y clastos subredondeados. El contacto con el miembro suprayacente es transicional y está marcado con la aparición de margas y lodos calcáreos.

Miembro San Juan de las Joyas. Este miembro con un espesor total de 140 m aflora, al igual que el miembro basal, en el camino al cerro de la Cruz. Está compuesto, en la base, por areniscas muy finas, margas y un paquete significativo de 100 m de *packstone* en capas gruesas de 1 a 1.5 m de espesor, con abundantes fósiles de bivalvos y gasterópodos, intercaladas con *mudstone* y localmente, con capas finas de lodolitas calcáreas (Figura 5). Esta intercalación de calizas en la base, es un rasgo notorio que permite delimitar la base de dicho miembro. Esta secuencia es seguida por intercalaciones de areniscas líticas, conglomerados con clastos de areniscas, *packstone* con foraminíferos y clastos de cuarzo lechoso intercalados con estratos tabulares de limolitas rojas.

Miembro Ajuatetla. Este miembro aflora pobremente en la zona del poblado de San Juan de las Joyas y en la terracería hacia el poblado de Ajuatetla. El contacto de este miembro con el miembro subyacente es

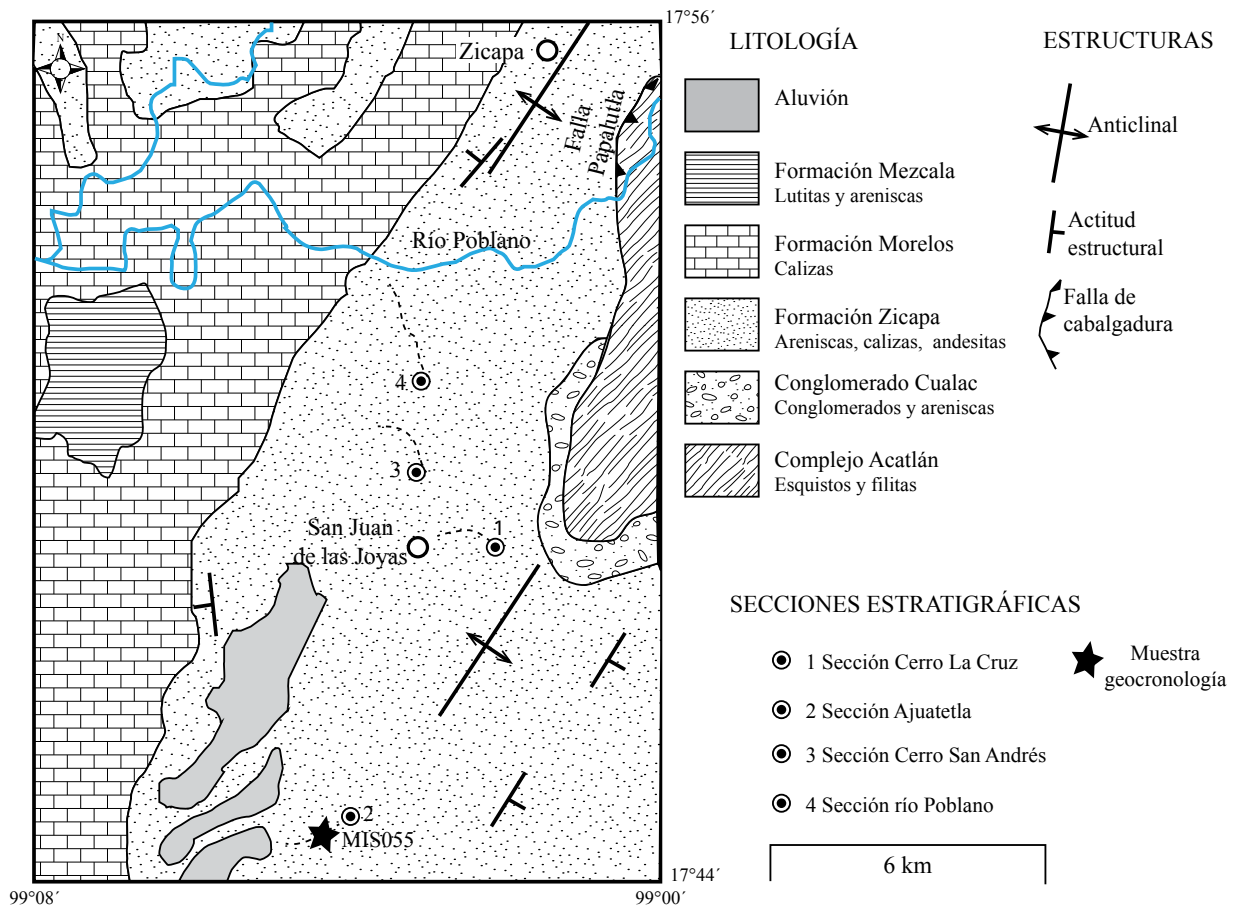


Figura 3. Mapa geológico de la localidad San Juan de las Joyas. Se marcan las secciones estratigráficas compuestas levantadas con línea punteada. (Modificado de Campa-Uranga *et al.*, 1998).

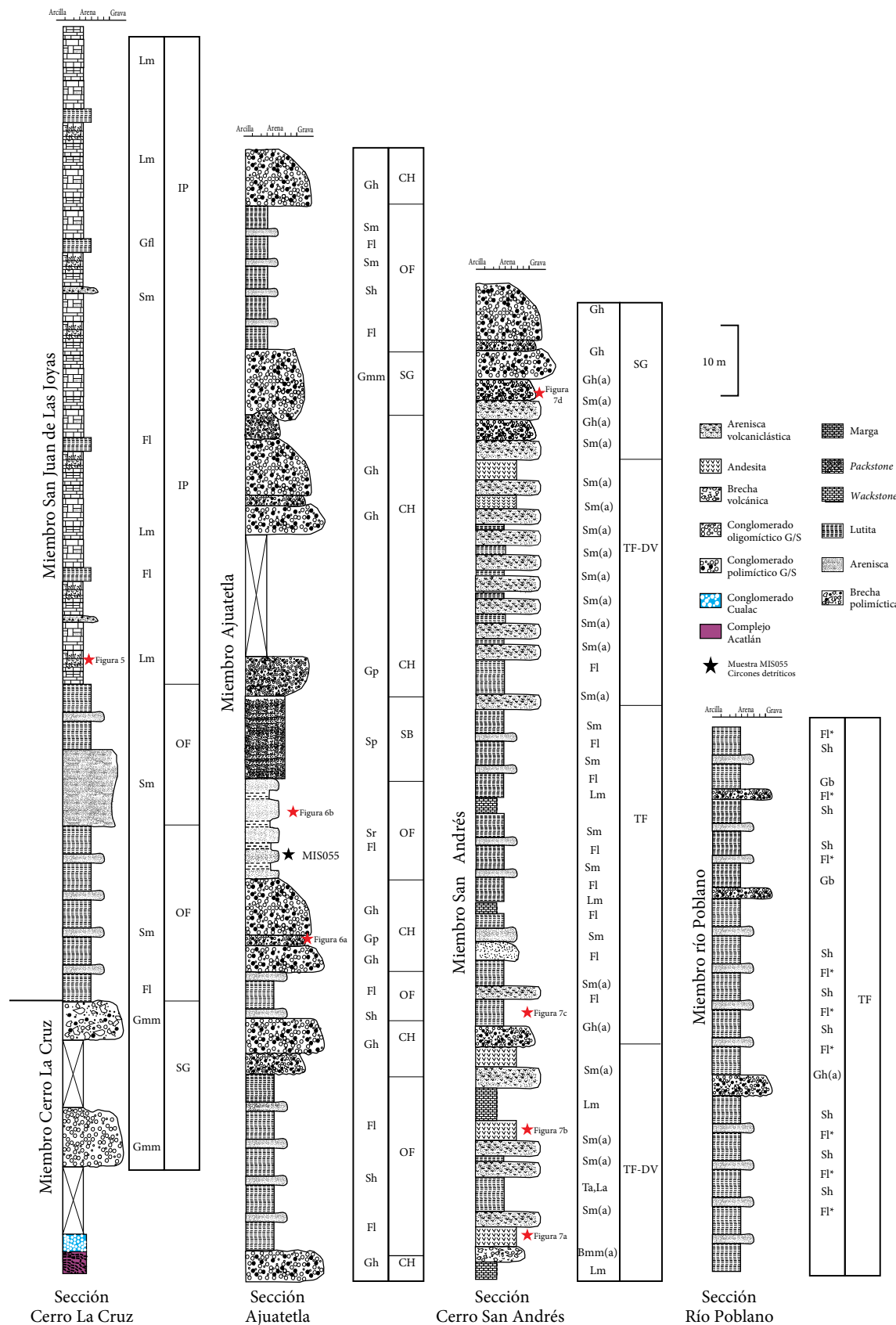


Figura 4. Columna estratigráfica compuesta y facies de la Formación Zicapa en la localidad San Juan de las Joyas. De izquierda a derecha, se describen las secciones de la base a la cima. Los códigos de litofacies corresponden a la Tabla 1 y las asociaciones de facies a la Tabla 2. Las estrellas rojas muestran la localización de las Figuras 5, 6 y 7.

Tabla 2. Descripción e interpretación de los elementos de arquitectura de las facies de la Formación Zicapa (Modificado de Miall, 1996).

Elemento de arquitectura	Tamaño de grano	Descripción	Interpretación
Canales (CH)	Conglomerados de guijas y guijarros, areniscas de grano fino a grueso	Geometría lenticular con base erosiva; Gh, Gp, St, Sp, Sm, y Sr	Rellenos de canales de gravas y arenas
Barras de gravas (GB)	Conglomerados soportados por clastos, de gránulos a guijarros, interestratificadas con areniscas	Geometría tabular y en lentes con una extensión lateral de hasta 10 m; Gco, Gt y Gp	Barras longitudinales relativamente pequeñas
Barras de acreción aguas abajo (DA)	Conglomerados de gránulos a guijas y areniscas de grano fino a grueso	Geometría de cuña, de extensión moderada (hasta decenas de metros); Gh, Sm, St, Ss	Acreción río abajo de barras de arenas y gravas
Sedimentos de flujos por gravedad (SG)	Conglomerados soportados por matriz, de guijarros a bloques	Pueden estar interestratificados con barras de gravas y de arenas; Gm	Flujos de gravedad
Barras de arenas (SB)	Areniscas de grano fino a grueso	Geometría de cuña o tabulares, con superficies erosivas y extensión lateral de hasta 50 m; St, Sm, Sr y Sm	Rellenos de canales, dunas y sedimentos de planicie de inundación (<i>crevasse splay</i>)
Sedimentos finos de llanura de inundación (OF)	Limolitas y areniscas de grano muy fino	Geometría tabular con una extensión lateral no mayor de 200 metros; Sr, Fl y Fl*	Depósitos de llanura de inundación
Calizas de agua dulce (FL)	Calizas con carofitas intercaladas con limolitas pardas y brechas de calizas	Geometría tabular a lenticular, límites abruptos con capas subyacentes; Lch, FL	Lagunas en ambientes fluviales
Plataforma interior (IP)	<i>Packstone/wackestone</i> , brechas de gránulos a bloques angulares con matriz roja a ocre	Capas tabulares a cuñas; Lm, B, Fl, Sc	Calizas de plataforma interior
Llanura de mareas (TF)	Limolitas laminadas con bioturbación, areniscas calcáreas	Capas tabulares de amplia extensión lateral; Fl*, Fl, Sh	Llanura de mareas

transicional y se observa a lo largo del arroyo que cruza al norte de la localidad de San Juan de las Joyas y en el camino de terracería hacia la población. En este sitio se compone de capas heterolíticas de estratos tabulares de areniscas de grano medio con estratificación plana-paralela y rizaduras, intercaladas con lutitas moradas tabulares con facies de *Thallasynoides* y algunos estratos de conglomerados medianamente bien seleccionados con clastos de caliza, cuarzo y roca metamórfica, con diámetro máximo de 2 cm y estratificación cruzada tipo canal (Figura 6). Las areniscas son ligeramente conglomeráticas mostrando gradación normal. El miembro Ajuatetla tiene un espesor de 160 m.

Miembro San Andrés. Este miembro aflora de forma continua en el camino al cerro San Andrés, y se caracteriza por la presencia de derrames de andesitas con autobrechas en la base y tobas intercaladas con areniscas, rocas epiclásticas y algunas capas delgadas (30 cm) de calizas tipo *mudstone* a *grainstone* (Figura 7). Hacia la cima, la secuencia se vuelve de grano más grueso, incorporando conglomerados tabulares a lenticulares en capas de 1 m, compuestos de clastos medianamente redondeados de rocas volcánicas, cuarzo lechoso y cuarcitas, que se intercalan con areniscas masivas de grano medio, en capas de 70 cm a 1 m. El Miembro San Andrés tiene un espesor total de 140 m.

Las rocas volcánicas de la Formación Zicapa son andesitas porfídicas con fenocristales de andesina y cuarzo accesorio, con una textura microlítica y pilotaxítica (Figura 8). Estas andesitas se presentan en derrames masivos, con espesores de 20 a 30 metros en la localidad de San Juan de las Joyas y en Zicapa; en ambas localidades están asociadas a una autobrecha volcánica basal compuesta por fragmentos de andesita. Los derrames de lava están asociados a capas de tobas de lapilli y ceniza con gradación inversa, lo cual sugiere un medio de sedimentación acuoso.

Miembro río Poblano. La parte superior de la sección, con un espesor de 92 m, aflora al oeste de la población de San Juan de las Joyas, en el camino hacia el río Poblano. Se caracteriza por el predominio de limolitas y lutitas rojas tabulares con espesores entre 0.5 y 1.0 m, con

presencia de icnofósiles (*Skolithos*); están intercaladas con areniscas de grano fino, con laminación tenue a masivas, en espesores promedio de 0.5 metros. Se presentan escasos conglomerados soportados por guijas de rocas volcánicas, calizas y roca metamórfica, y geometría lenticular. El contacto con las calizas de la Formación Morelos que le sobreyace es transicional, y aunque no fue posible tener acceso a él por la topografía, se le pudo observar en el río Poblano, donde la actitud estructural de las capas de lutitas y calizas son concordantes.

Localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga

Esta localidad se localiza al sur de Puebla en la terracería que conduce de Pilcaya a San Miguel la Ciénaga (Figura 9). En esta zona, al noroeste de la cabalgadura de Papalutla, la Formación Zicapa se encuentra en discordancia angular sobre el Complejo Acatlán presentando una diferencia en la litología basal entre esta zona y la región de San Juan de las Joyas, marcada por la ausencia de material derivado de la secuencia jurásica y la presencia de calizas de agua dulce.

La sección 1 tiene un espesor de 35 m (Figura 10) y está constituida por el Miembro Cerro La Cruz, compuesto por una brecha basal soportada por matriz, con líticos metamórficos angulosos, en discordancia angular con el Complejo Acatlán y el Miembro San Juan de las Joyas, que incluye calcarenitas con laminación cruzada a escala decimétrica, estratos de 1 a 1.5 metros de *wackestone* de agua dulce con fósiles de carofitas, gasterópodos y ostreidos, y brechas de caliza. La sección 2 tiene un espesor de 70 m, se encuentra estratigráficamente en un nivel superior con relación a la Sección 1, e incluye una intercalación de conglomerados masivos, areniscas rojas con estratificación cruzada tipo canal, areniscas con rizaduras, limolitas con restos de plantas y calcarenitas del Miembro Ajuatetla. A este conjunto le sigue una secuencia dominada por lutitas rojas masivas intercaladas con estratos tabulares de 30 cm de espesor de arenitas volcánicas y arcosas con rizaduras en la cima correspondientes al Miembro San Andrés. Finalmente, la sección 3 localizada al sur, en el poblado de San Miguel

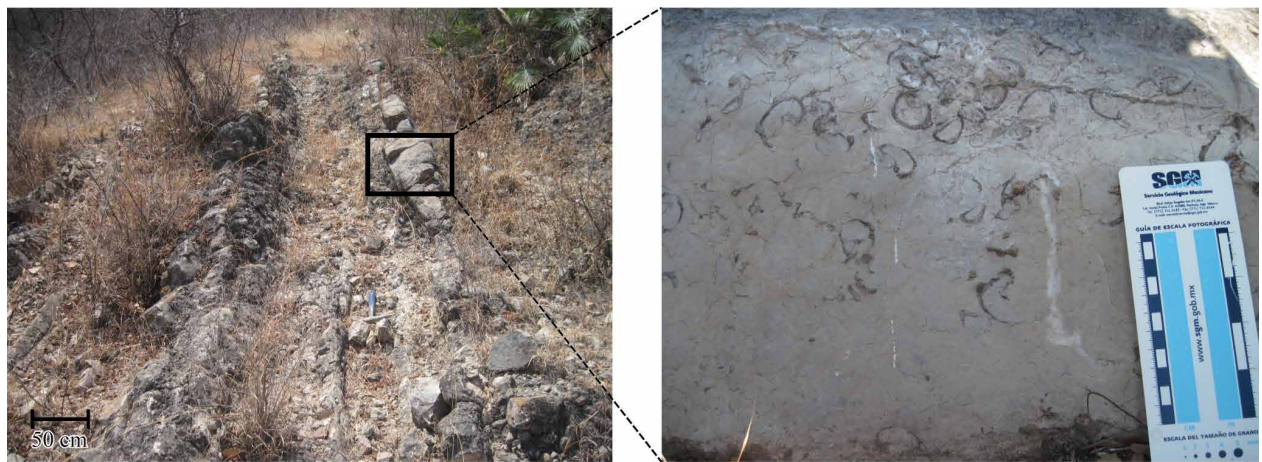


Figura 5. Intercalaciones de calizas tipo *wackestone* con lodo calcáreo en la base del Miembro Cerro La Cruz. En la imagen del lado derecho se observan fósiles de bivalvos fragmentados.

la Ciénaga, tiene un espesor de 75 m y está caracterizada, al igual que la sección 1, por el Miembro Cerro La Cruz, compuesto por una brecha basal soportada por matriz con líticos metamórficos, en contacto de falla con el Complejo Acatlán. Sobreyaciendo transicionalmente al Miembro Cerro la Cruz, se encuentra el Miembro Ajuatetla caracterizado por secuencias de capas heterolíticas de limolitas y lutitas rojas con bioturbación e icnofacies de *Skolithos* intercaladas con litarenitas con estratificación cruzada burda, separadas por capas de conglomerados masivos, soportados por granos.

Procedencia y Edad

Con el fin de determinar edades máximas de depósito, se hicieron análisis con el método U/Pb en circones, de dos muestras de arenisca en los miembros Ajuatetla (MIS055) y San Andrés (0118-3c).

La muestra MIS055 se colectó en la localidad San Juan de las Joyas, en la base del Miembro Ajuatetla (Figuras 3 y 4). Esta es una arcosa lítica con fragmentos de cuarzo policristalino de origen metamórfico, cuarzo monocristalino con extinción ondulante y recta, albita, feldespato potásico, esquistos, intraclastos de caliza recristalizada y arenisca, líticos volcánicos felsíticos, sin matriz y con abundante cemento. Para los análisis de geocronología detrítica ($n=126$) se definieron cuatro familias morfológicas (Figura 11a). La primera familia corresponde a

circones euhedrales, bipiramidales, translúcidos; la segunda familia son circones euhedrales rosas, la tercera familia son circones redondeados de tamaño variable y la cuarta familia son circones de gran tamaño, en colores de pardo a rosa, redondeados a subredondeados. En cuanto a las edades obtenidas, se encontraron cinco familias de circones concordantes (Figura 11b) con las siguientes edades: una familia del Paleó-Mesoproterozoico (~1.7 y 1.0 Ga, 66 granos), Neoproterozoico (~875 -570 Ma, 12 granos), Ordovícico-Silúrico (~480 Ma, 2 granos), Pérmico-Triásico (~290-220 Ma, 13 granos), Jurásico Temprano (~178 Ma, 2 circones) y una edad del Jurásico Tardío (152-149 Ma, 2 granos). La edad máxima de depósito se determinó por el circón más joven en 149 Ma.

La muestra 0118-3c se colectó en el Miembro San Andrés en la Sección 2 de la localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga (Figuras 9, 10). Ésta es una arenisca volcánoclastica de grano medio, compuesta por plagioclasa, cuarzo policristalino de origen metamórfico, feldespato, esquistos e intraclastos de caliza recristalizada; carece de matriz y contiene abundante cemento de calcita. Para análisis de circones detríticos ($n=76$) se agruparon en tres familias morfológicas (Figura 12a). La primera familia la más abundante, de circones pequeños, euhedrales, transparentes y translúcidos; la segunda familia corresponde a circones medianamente retrabajados de color rosa pálido a



Figura 6. Miembro Ajuatetla: a) Conglomerados con estratificación cruzada; b) intercalaciones de areniscas y limolitas rojas tabulares.

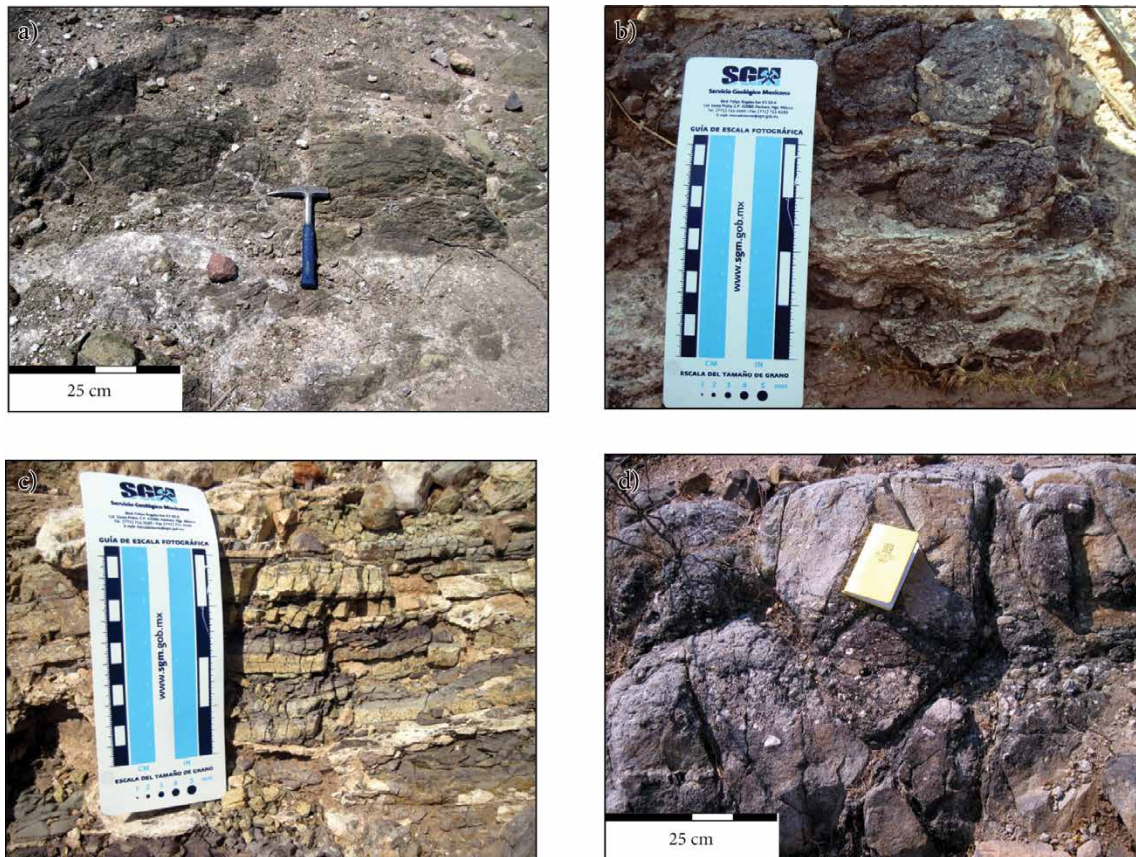


Figura 7. Características de las rocas del Miembro San Andrés: a) brecha andesítica en la base; b) lavas andesíticas intercaladas; c) horizonte de tobas de ceniza y lapilli; d) arenisca conglomerática en la cima del miembro.

transparentes y una tercera familia de circones redondeados de color rosa a rojo, de tamaño variable. En cuanto a las edades obtenidas se encontraron cinco familias de edad (Figura 12b, 12c): una población mayoritaria del Cretácico Temprano (~148–131 Ma, 35 granos) y poblaciones del Paleo-Mesoproterozoico (~1.6 y 1.0 Ga, 11 granos), Neoproterozoico (un circón 682 Ma), Ordovícico-Silúrico (un circón 480 Ma), Pérmico-Triásico (~260–240 Ma, dos granos) y Jurásico (153–190 Ma, siete circones). Para esta muestra se determinó una edad máxima de depósito como el promedio ponderado de la población más joven de 133 ± 1.3 Ma ($n=7$ granos), la cual corresponde al límite Valanginiano-Hauteriviano en una población de circones con edades entre 131 y 148 m. a.

Fitz-Díaz *et al.* (2002) reportaron una edad de 127 ± 2 Ma por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en roca total para una andesita asignada a la Formación Zicapa en el acroyal Piedras Grandes, aguas arriba de la localidad de Mezquitlán en Guerrero (Figura 9), a 1 km al oeste de la falla de Papalutla (E. Fitz, comunicación personal, 2012). En el presente trabajo, se muestreó en esa localidad (MIS107) una brecha volcánica de color verde, compuesta por clastos entre 15 y 30 cm, angulosos, de composición variable entre andesita y dacita, embebidos en una matriz volcánica verde cloritizada. Dicha roca fue fechada mediante el método U/Pb en circón por ablación láser, obteniendo una discordancia con la edad reportada por Fitz-Díaz *et al.* (2002). La edad obtenida arroja dos poblaciones de edades concordantes (Figura 13), una con circones entre 66 y 71 Ma ($n=5$ circones) y una edad máxima de depósito de 66.3 ± 4 Ma, y otra población con circones concordantes entre 122 y 141 Ma ($n=11$), un grano de circón ~80 Ma y otro de ~480 Ma. Aunque el depósito es del Cretácico Tardío, algunos de

los clastos incorporados en la brecha son del Cretácico Temprano y fueron derivados localmente de la Formación Zicapa. La edad determinada por Fitz-Díaz *et al.* (2002) correspondería al fechamiento de uno de estos clastos. No se puede descartar la hipótesis de que la fecha reportada por el método Ar/Ar en roca total pueda corresponder a una mezcla de edades entre volcanismo de la Formación Zicapa y la Formación Tetelcingo, de edad entre 66 y 68 Ma (método K-Ar; Ortega-Gutiérrez, 1980) y Ar-Ar (Cerca *et al.*, 2007) entre 66 y 68 Ma.

Correlación

La Formación Zicapa ha sido correlacionada al norte del terreno Mixteco con la Formación Atzompa (Tarango, 1968, en Monroy-Fernández y Sosa-Patrón, 1984) que aflora en la Sierra de Tentzo y denominada por Monroy-Fernández y Sosa-Patrón (1984) como Capas Rojas del Neocomiano y por Zepeda-Martínez (2013) como Formación Agua de Cordero. Esta formación al igual que la Formación Zicapa, cuenta con conglomerados intercalados con areniscas y lodolitas de facies transicionales, las cuales pasan gradualmente a calizas someras con fauna del Barremiano-Aptiano (Monroy-Fernández y Sosa-Patrón, 1984; Zepeda-Martínez, 2013). Hacia el sur de las localidades estudiadas, las capas rojas de la Formación Zicapa son correlacionadas con la Formación Chapolapa en las localidades de El Ocotito y Quechultenango en Guerrero (Salinas-Prieto, 1986). Regionalmente y basados en la edad y características ambientales, la Formación Zicapa puede ser correlacionada con las formaciones de ambiente costero como La Compañía y Agua de Cordero de la Cuenca de Zapotitlán (Mendoza-Rosales, 2010). La Formación Zicapa también ha sido reconocida en el homoclinal de Petlalcingo (Figura 1), entre Huajuapán

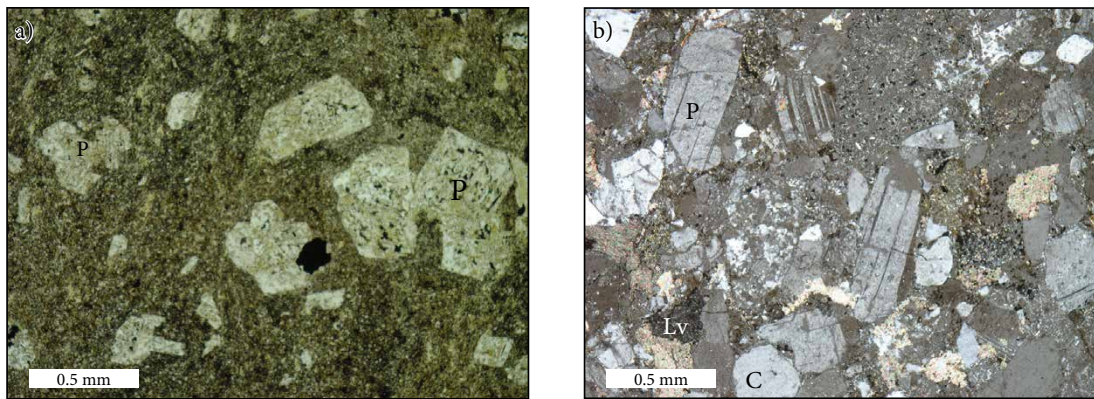


Figura 8. Características petrográficas del Miembro San Andrés: a) Andesita porfídica con fenocristales de plagioclasa subidiomórfica con abundantes inclusiones de magnetita en una matriz microlítica (luz polarizada); b) arenisca volcániclastica con abundantes fragmentos líticos volcánicos (Lv), cristales subangulosos de plagioclasa (p) y fragmentos de cuarzo (C) (luz polarizada).

de León y Acatlán de Osorio (Pérez-Ibargüengoitia *et al.*, 1965), donde se caracteriza por conglomerados con abundante madera silicificada. Volcanismo contemporáneo a la Formación Zicapa ocurre también en la Formación Xonamán de la sierra de Zongolica, donde se asigna al Barremiano por su posición estratigráfica (Carrasco *et al.*, 1975).

El registro de magmatismo del Cretácico Temprano en la margen de Oaxaquia parece extenderse desde la región de San Luis Potosí hasta el sur de Guerrero. En la sierra de Pinos, Zacatecas, lavas andesíticas están intercaladas con calizas (Dávalos-Elizondo, 2011), que se asignan a la Formación Teraises con base en la presencia del amonite *Thurmanniceras thurmani* del Valanginiano (González-Arreola, comunicación personal, 2011). Igualmente, con base en la edad del magmatismo es posible correlacionar las formaciones San Juan de la Rosa y Trancas, en la región central de Querétaro (Ortega-Flores *et al.*, 2013), con la Formación Zicapa. Estas unidades se caracterizan por contener un registro de magmatismo félsico con edades entre 127 y 150 Ma en la margen de Oaxaquia. Capas rojas del Cretácico Inferior que subyacen calizas de la plataforma de Actopan, en el sur de Hidalgo (Abascal y Murillo-Muñetón, 2013), también son correlacionables con la Formación Zicapa.

ANÁLISIS DE FACIES

El análisis sedimentológico realizado en la Formación Zicapa se basó en la identificación de litología, estructuras sedimentarias, espesores, geometría de las capas y presencia de material fósil, lo cual permitió analizar las relaciones inter- e intracapa, y definir las facies sedimentarias (Tablas 1 y 2). Para la Formación Zicapa se definieron asociaciones de facies o la arquitectura de los elementos característicos de ambientes continentales (CH, GB, DA, SG y SB) y ambientes transicionales deltaicos a costeros (OF, IP, TF).

DISCUSIÓN

Ambientes sedimentarios: análisis e interpretación

Con base en las asociaciones de facies y la arquitectura de facies, fue posible determinar los ambientes de depósito de la Formación Zicapa en las dos localidades estudiadas. La unidad basal en ambas secciones consta de facies conglomeráticas y brechas características de flujos por gravedad (asociación de facies SG), los cuales se asocian directamente a la creación del espacio de acomodación por actividad tectónica en un

ambiente continental. Al sur de Tlapa de Comonfort, a las afueras de la ciudad, la Formación Zicapa se encuentra en contacto por falla con areniscas y lutitas del Jurásico Medio. Las características litológicas de la Formación Zicapa sugieren que el fallamiento fue contemporáneo con el depósito. Dicho fallamiento pudo haber favorecido la incursión marina que caracteriza al Miembro San Juan de las Joyas y el subsecuente desarrollo de plataformas internas de carbonatos, seguido por facies de llanura de marea con desarrollo de *Skolithos* (asociación de facies OF, IP, TF). Las incursiones marinas registradas en la Formación Zicapa se caracterizan por alternancias de calizas arenosas y margas con *packstone*, lo cual representa períodos de incursión marina en un ambiente donde existió el aporte de sedimentos detríticos. En la localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga, las calizas del Miembro San Juan de las Joyas son de agua dulce, y sobreyacen facies de llanura de inundación. Estas asociaciones de facies se atribuyen a desarrollo de lagunas en los sistemas fluviales incipientes, generadas por efectos de represado y aumento del nivel base de depósito, en contraste con la localidad San Juan de las Joyas, donde las condiciones de agua fueron propicias para el establecimiento de pequeños arrecifes. En otras localidades, las plataformas calcáreas de la Formación Zicapa fueron destruidas dejando solo como evidencia, algunas brechas de emergencia. Estas brechas se pueden observar, por ejemplo, al sur de la ciudad de Tlapa de Comonfort (Figura 1).

Aunque es clara la relación entre fallamiento, el depósito de facies de flujo por gravedad y la creación de espacio de acomodación, la presencia de facies marinas en la localidad San Juan de las Joyas intercaladas con facies continentales, permite formular la hipótesis de que el Miembro San Juan de las Joyas pudiera corresponder a un evento transgresivo global. Los candidatos incluyen el evento Ap3 del Aptiano inferior, el evento Bar5, de finales del Barremiano, o un evento Ha7 del Hauteriviano (Haq *et al.*, 1987; Haq *et al.*, 1988). Tomando en cuenta la edad máxima de depósito de 133 ± 1.3 Ma (edad promedio para siete circones concordantes e interpretados como cercanos a la edad de depósito) del Miembro San Andrés que sobreyace al Miembro San Juan de las Joyas, el escenario más probable es que la plataforma interna se halla desarrollado entre el Hauteriviano-Barremiano (Ha7) previo al volcanismo, ya que el límite entre estos pisos se sitúa en 130 m. a.. Aunque el evento de sedimentación previo al volcanismo es una gruesa formación de calizas, éste no es el único evento presente en la secuencia. En la base del Miembro San Andrés, en la localidad San Juan de las Joyas, se encuentran capas lenticulares de caliza de 30 cm de espesor máximo, espaciadas sucesivamente cada 20 metros (Figura 3), intercaladas con andesitas, tobas y areniscas volcániclasticas. Estas

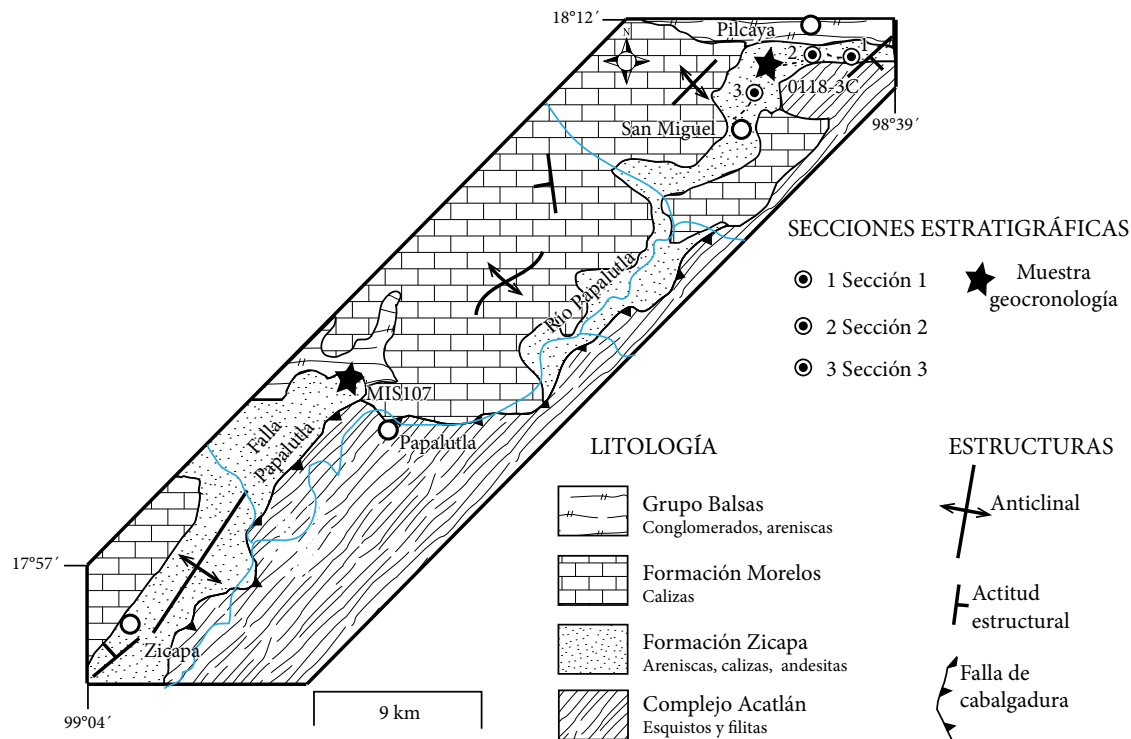


Figura 9. Mapa geológico de la localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga. Se marcan las secciones estratigráficas compuestas con línea punteada (modificado de Rivera-Carranza *et al.*, 1998).

calizas pueden representar, a su vez, un evento transgresivo contemporáneo con el volcanismo más acorde con los eventos Ap3 o Ap4.

La parte media de la Formación Zicapa, en el Miembro San Andrés, muestra un aporte significativo de brechas volcánicas, flujos de lava andesítica, tobas de ceniza y lapilli, así como areniscas volcanoclásticas de ambiente costero. El brechamiento de las lavas andesíticas en los bordes sugiere que estas rocas volcánicas fueron depositadas en un ambiente submarino somero. Se desconoce la localización de los aparatos volcánicos, fuente de dicho volcanismo, sin embargo se descarta que se localicen al norte ya que el espesor de las rocas volcánicas disminuye en esa dirección, y el volcanismo está solo presente en las areniscas volcanoclásticas.

La actividad volcánica cesa para originarse un depósito de limolitas y lutitas con facies de *Skolithos*, y lentes de caliza intercalados con areniscas tabulares masivas y conglomerados, correspondientes a un ambiente de marea. Finalmente, la sedimentación de lodolitas cambia gradualmente hacia el desarrollo de la plataforma de carbonatos de la Formación Morelos. La naturaleza del contacto entre las formaciones Zicapa y Morelos sugiere que ocurrieron varios intentos para establecer la plataforma, evidentes por la presencia de brechas de emersión en su base.

En trabajos previos (de Cserna *et al.*, 1980) se propuso una variación lateral de facies entre la Formación Zicapa y la Anhidrita Huitzuco, localizada al oeste, donde ésta última correspondería a facies lagunares mientras que la Formación Zicapa, a facies de laguna costera. En el presente trabajo se observaron variaciones laterales de facies entre las localidades Pilcaya-San Miguel la Ciénaga, que se interpreta como más cercano al continente y San Juan de las Joyas con mayor influencia marina. Dichas localidades se encuentran a una distancia de 45 km de sur a norte, siguiendo el rumbo de las estructuras contráctiles y del contacto con el Complejo Acatlán, el cual se asume como un elemento paleogeográfico preservado. Aunque no tenemos

evidencias de campo en el presente trabajo para refutar la relación de la Formación Zicapa con la Anhidrita Huitzuco como una variación lateral de facies, consideramos que la presencia de la falla de Papalutla entre ambas localidades, pudo afectar los sistemas de depósito, la cual jugó un papel importante como elemento paleogeográfico durante el tiempo de depósito de ambas formaciones.

CONCLUSIONES

La Formación Zicapa se depositó entre un ambiente continental y uno marino, donde la creación de espacio para su depósito está directamente relacionado con actividad tectónica. Hacemos notar que la extensión cortical en el Cretácico Inferior es una característica que es posible reconocer desde el norte de México, como en las cuencas de Sabinas y la fosa de Chihuahua (Haenggi, 2001; Eguluz, 2011), hasta el sur de México en las cuencas Cuicateca (Mendoza-Rosales *et al.*, 2010), Zapotitlán y Zicapa (este estudio). La Formación Zicapa registra un ambiente de sedimentación continental cercano a la costa, con evidencias de por lo menos una, y posiblemente múltiples transgresiones. Es posible que una de esas transgresiones corresponda con el evento Ha7 (Hauteriviano), registrado en el Miembro San Juan de las Joyas.

Se propone dividir la Formación Zicapa en cinco miembros: el Miembro Cerro La Cruz, compuesto por un conglomerado basal, el Miembro San Juan de las Joyas de carácter calcáreo, el Miembro Ajuatetla de carácter siliciclástico y de ambiente transicional marino, el Miembro San Andrés de carácter volcanosedimentario y el Miembro río Poblano, dominado por limolitas y lutitas rojas con algunas intercalaciones de caliza.

Entre las localidades Pilcaya-San Miguel la Ciénaga y San Juan de las Joyas, la Formación Zicapa registra una variación lateral de facies, de

norte a sur. La localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga muestra facies más cercanas al continente, donde los efectos de incursiones marinas, ya sea por efectos tectónicos o eustáticos, no fueron suficientes para desarrollar plataformas internas de carbonatos, como en el caso de la localidad San Juan de las Joyas.

La edad máxima de depósito del Miembro Ajuatetla de la Formación Zicapa, es Titoniano, la cual es la edad del círculo más joven en el depósito, mientras que para el Miembro San Andrés, es el Hauteriviano-Barremiano. Esto permite afirmar que los miembros Cerro La Cruz, San Juan de las Joyas y Ajuatetla se depositaron después del Jurásico Tardío y durante el Hauteriviano, previo al volcanismo presente en la Formación Zicapa. A su vez, circones detríticos en la Formación Zicapa en la localidad de Pilcaya registran evidencia de actividad magmática entre 131 y 148 Ma.

La parte media a superior de la Formación Zicapa se depositó en un ambiente transicional marino de forma contemporánea con volcanismo intermedio que afectó el margen suroccidental del núcleo continental de México durante el Cretácico Temprano (Hauteriviano). Dicho volcanismo intermedio se correlaciona con el volcanismo de la Formación Chapolapa y el Complejo Xolapa (Solari *et al.*, 2007), al sur de la zona de estudio. Con los datos actuales no es posible concluir si este volcanismo es atribuido a arco o *rift*, sin embargo se puede correlacionar con eventos extensionales debido a las facies de capas rojas y conglomerados y brechas basales.

La edad de la Formación Zicapa reportada por Fitz-Díaz *et al.* (2002) cartográficamente no corresponde a dicha formación sino a la Formación Tetelcingo, con una edad máxima de depósito de 68 Ma. No obstante, los depósitos de esta unidad contienen evidencia de

magmatismo en la región de Papalutla con una edad aproximada entre 141 y 122 Ma (Berriasiano-Aptiano). En el presente estudio se sugiere que la presencia de material volcánico en el Miembro San Andrés de la Formación Zicapa, compuesto por derrames de lavas y tobas, tienen un significado geológico mayor al que se le ha dado en trabajos anteriores y permite ubicar a la Formación Zicapa en el marco geotectónico de una margen convergente en el suroeste de México para el Cretácico Inferior.

Otras manifestaciones de magmatismo del Cretácico Inferior incluyen andesitas intercaladas en calizas de la Formación Taraises (Dávalos-Elizondo, 2011). Incluye también unidades volcánicas como la Formación San Juan de la Rosa, de carácter turbidítico, la cual presenta estratos de rocas volcánicas con edades de 139 Ma (Dávila-Alcocer *et al.*, 2009) y rocas volcanosedimentarias con edades máximas de 127 Ma, una población de circones entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano (Ortega-Flores *et al.*, 2013) y en San Miguel Allende (Ortiz-Hernández *et al.*, 2002), cuya edad está definida por su contenido faunístico. Eso lleva a proponer que el magmatismo (supra-subducción) del Cretácico Temprano en la margen del subcontinente Oaxaquia fue un evento regional, extendiéndose desde Zacatecas hasta Guerrero y posiblemente el Bloque Chortis, como han propuesto Talavera-Mendoza *et al.* (2007).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación (PAPIIT: IN104511-3), Carlos Ortega-Obregón por el apoyo técnico en el Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias y

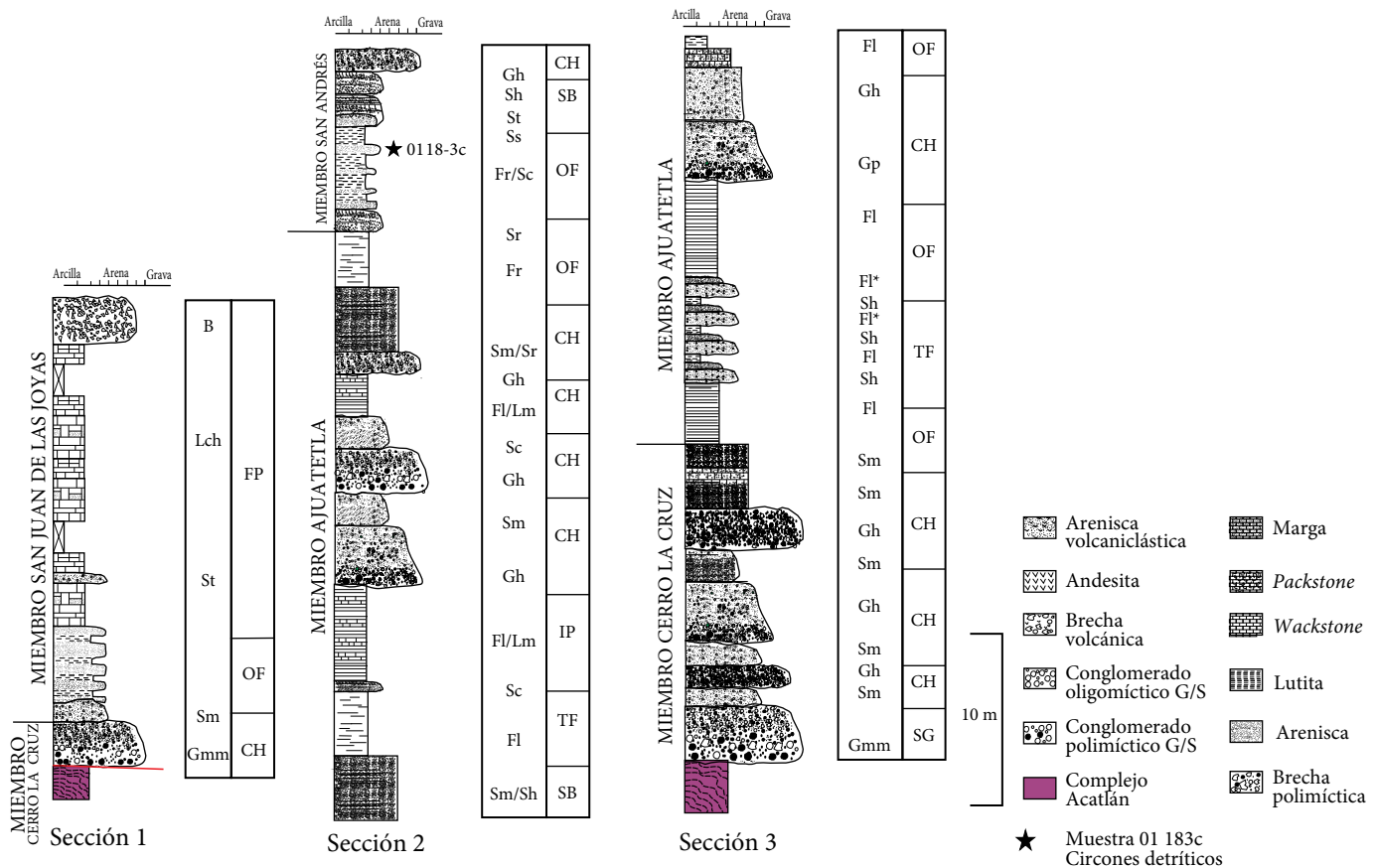


Figura 10. Columna estratigráfica compuesta y asociación de facies de la Formación Zicapa en la localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga. Los códigos de litofacies corresponden a la Tabla 1, y las asociaciones de facies, a la Tabla 2.

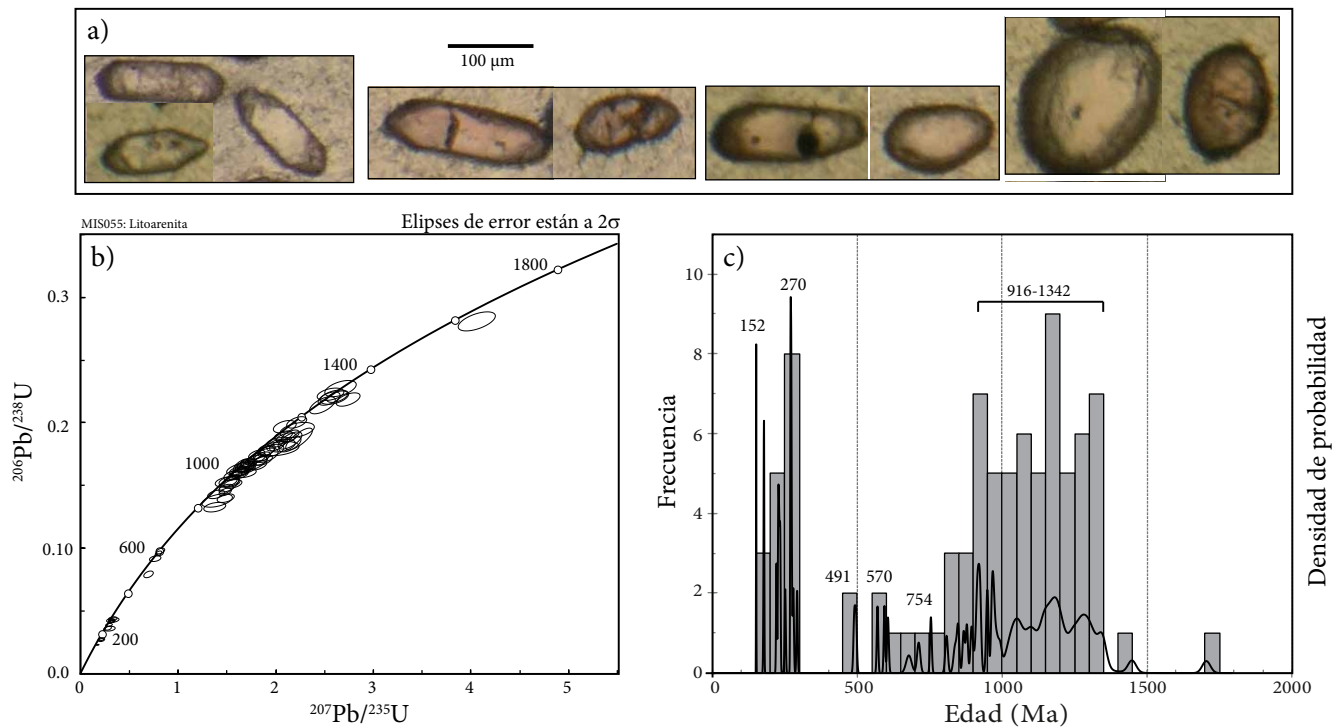


Figura 11. Geocronología de circones detríticos de litoarenita de la localidad San Juan de las Joyas, Miembro Ajuatetla ($17^{\circ}45'35.50''\text{N}$, $99^{\circ}5'10.65''\text{W}$). a) Características de las cuatro familias morfológicas de circones; b) Diagrama de concordia Wetherill mostrando las edades de los circones detríticos de la muestra MIS055; c) Diagrama de densidad de probabilidad para las edades de los circones detríticos de la muestra MIS055. Todos los errores tienen una desviación estándar de 2σ .

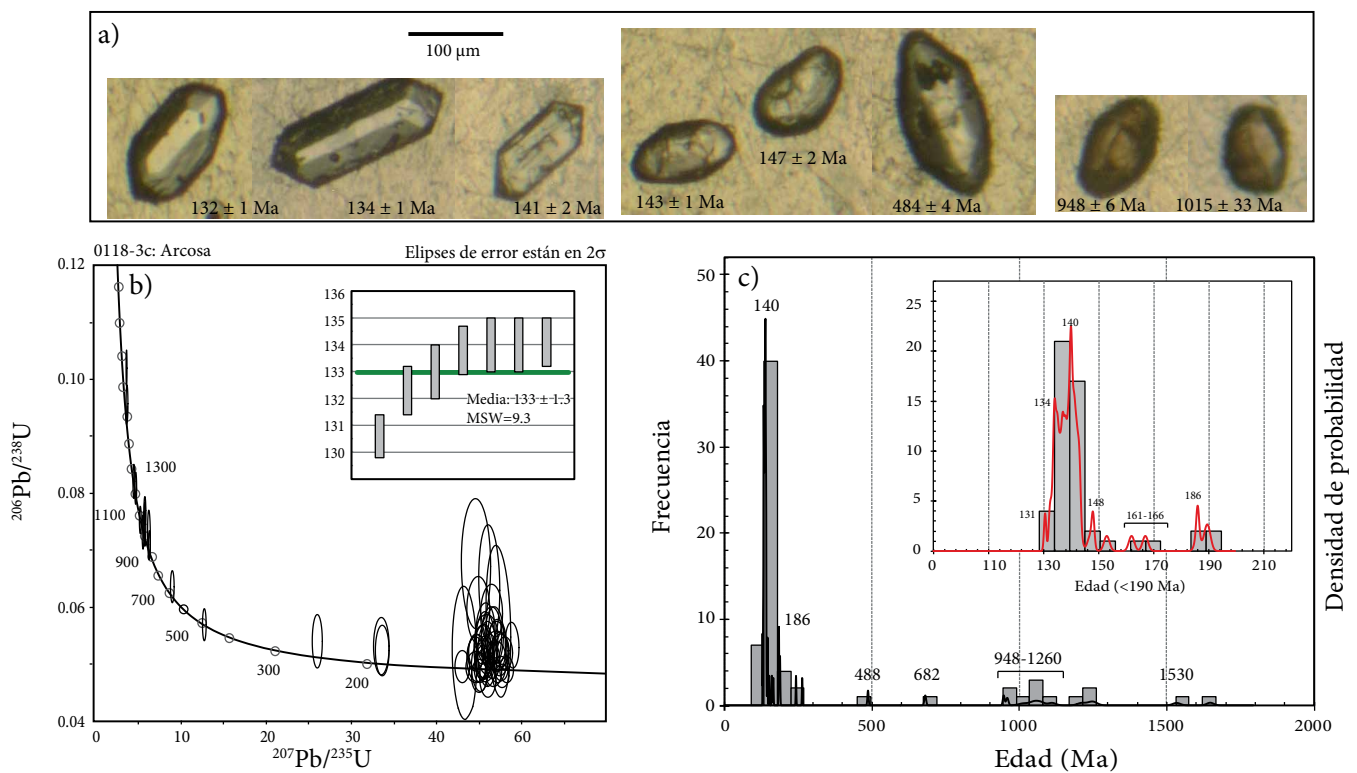


Figura 12. Geocronología de circones detríticos de arenisca volcániclastica de la localidad Pilcaya-San Miguel la Ciénaga, Miembro San Andrés ($18^{\circ}12'16.77''\text{N}$, $98^{\circ}42'24.04''\text{W}$). (a) Características de las tres familias morfológicas de circones; b) Diagrama de concordia Tera-Wasserburg mostrando las poblaciones de edad de la muestra MIS055. En el pequeño recuadro se muestra el promedio ponderado de los siete circones más jóvenes (edad máxima de depósito); c) Diagrama de densidad de probabilidad para las edades de los circones detríticos de la muestra 0118-3c. En detalle, el diagrama de densidad de probabilidad de los circones Jurásico-Cretácico Temprano. Todos los errores tienen una desviación estándar de 2σ .

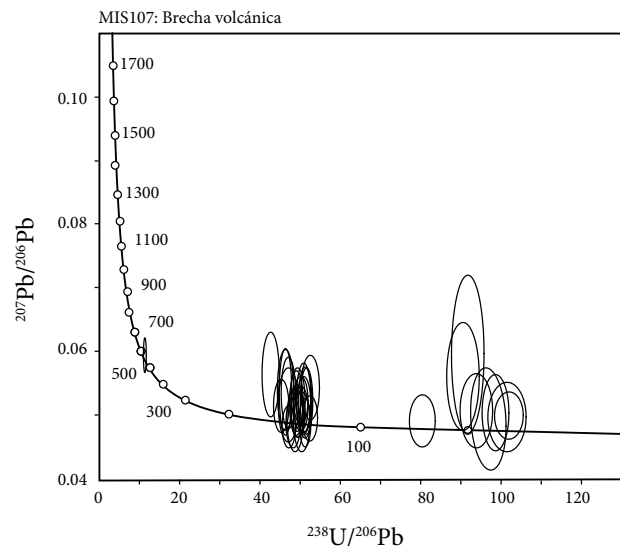


Figura 13. Diagrama de concordia Tera-Wasserburg mostrando las poblaciones de edad de la brecha volcánica de Mezquitlán (MIS107) perteneciente a la Formación Tetelcingo (18°2'3.11"N, 98°56'17.66"W).

a Juan Tomás Vázquez-Ramírez por el apoyo en la preparación de las láminas delgadas. Al Dr. Timothy Lawton por sus importantes aportes en la sedimentología, muchas gracias. Este trabajo se benefició de los comentarios de los árbitros de la revista, Mariano Elías, Elena Centeno y un árbitro anónimo.

REFERENCIAS

- Abascal, G., Murillo-Muñetón, G., 2013, Preliminary Sequence stratigraphy framework of the SW part of the Actopan Platform, Lower Cretaceous, Hidalgo, Mexico, in *American Geophysical Union, Meeting of The Americas*, Cancún, México, <<http://moa.agu.org/2013/eposters/eposter/pp51a-02/>>.
- Barragán, R., Campos-Madrigal, E., Ferrusquía-Villafranca, I., López-Palomino, I., Tolson, G., 2010, Código estratigráfico norteamericano: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 117, 48 pp.
- Campa-Uranga, M.F., Iriondo A., 2004, Significado de dataciones cretácicas de los arcos volcánicos de Taxco, Taxco el Viejo y Chapolapa, en la evolución de la Plataforma Guerrero Morelos: IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Juriquilla, Querétaro, Sociedad Geológica Mexicana, Libro de Resúmenes, 76.
- Campa-Uranga, M.F., García-Díaz, J.L., Bustamante-García, J., Torreblanca-Castro, T., Aguilera-Martínez, M.A., Vergara-Martínez, A., 1998, Carta Geológico-Minera Chilpancingo E14-8, escala 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa.
- Carrasco, B., Flores, V., Gody, D., 1975, Tobas del Cretácico Inferior del área de Fortín-Zongolica, Estado de Veracruz: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 7(1), 7-27.
- Centeno-García, E., Corona-Chávez, P., Talavera-Mendoza, O., Iriondo, A., 2003, Geologic and tectonic evolution of the western Guerrero terrane-a transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico, in *Geologic transects across Cordilleran Mexico*, Guidebook for the field trips of the 99th Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Publicación Especial, 1, 201-228.
- Centeno-García E., Guerrero-Suástegui, M., Talavera-Mendoza O., 2008, The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a suprasubduction zone: Geological Society of America Special Paper, 436, 279-308, doi:10.1130/2008.2436(13).
- Centeno-García, E., Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C., 2009, Sedimentología de la Formación Matzitzzi (Paleozoico superior) y significado de sus componentes volcánicos, región de Los Reyes Metzontla-San Luis Atolotitlán, Estado de Puebla: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26(1), 18-36.
- Cerca, M., 2004, Deformación y magmatismo Cretácico tardío-Terciario temprano en la zona de la Plataforma Guerrero-Morelos: Guerrero, México: Juriquilla, Querétaro, Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de doctorado, 175 pp.
- Cerca, M., Ferrari, L., López-Martínez, M., Martiny, B., Iriondo, A., 2007, Late Cretaceous shortening and early Tertiary shearing in the central Sierra Madre del Sur, southern Mexico: Insights into the evolution of the Caribbean-North American plate interaction: Tectonics, 26(3), 1-34.
- Corona-Esquivel, R.J., 1981, Estratigrafía de la región de Olinalá-Tecocoyunca, noreste del Estado de Guerrero: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 5(1), 17-24.
- Dávalos-Elizondo, E., 2011, Análisis estructural del complejo volcano-tectónico de Pinos, Zacatecas, México: Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 136 pp.
- Dávila-Alcocer, V., Centeno-García, E., Valencia, V., Fitz-Díaz, E., 2009, Una nueva interpretación de la estratigrafía de la región de Toluca, Estado de Querétaro: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 61, 491-497.
- de Cserna, Z., 1965, Reconocimiento geológico de la Sierra Madre del Sur, entre Chilpancingo y Acapulco, estado de Guerrero: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 62, 77 pp.
- de Cserna, Z., Ortega G.F., Palacios, N.M., 1980, Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla, en V Convención Geológica Nacional, Libro Guía de la Excursión a la parte alta de la Cuenca del Alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla: México, Sociedad Geológica Mexicana, 1-33.
- Eguiluz, S., 2011, Secuencias estratigráficas del Berriasiano-Aptiano en la Cuenca de Sabinas: su significado en el entendimiento de la evolución geológica del noreste mexicano: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 63(2), 285-311.
- Erben, H.K., 1956, El Jurásico Inferior de México y sus amonitas, en XX Congreso Geológico Internacional: México D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 20, 393 pp.
- Fedo, C.M., Sircombe, K.N., Rainbird, R.H., 2003, Detrital zircon analysis of the sedimentary record, en Hanchar, J.M. and Hoskin, P.W.O. (eds.), Zircon: Experiments, Isotopes, and Trace Element Investigations: Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, 10(53), 277-303.
- Ferrari, L., Morán, D., González, E., 2007, Actualización del Mapa Geológico de México a escala 1:4,000,000, Nuevo Atlas Nacional de México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 1 mapa.
- Figuerroa-Catalán, A., Gómez-Martínez, G.A., 2010, Estratigrafía, Petrografía y Procedencia de la formación Zicapa (Cretácico Temprano) en la Región de Zicapa y San Juan de Las Joyas, Guerrero, México: Taxco, Guerrero, Universidad Autónoma de Guerrero, tesis de licenciatura, 103 pp.
- Fitz-Díaz, E., 2001, Evolución estructural del sinclinal de Zacango en el límite oriental de la Plataforma Guerrero-Morelos, Guerrero, México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, tesis de licenciatura, 103 pp.
- Fitz-Díaz, E., Campa-Uranga, M.F., López-Martínez, M., 2002, Fechamiento de las lavas andesíticas de la Formación Zicapa, en el límite oriental de la Plataforma Guerrero-Morelos, en III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra (Resumen): GEOS, 22(2), 178-179.
- Fries, C.Jr., 1960, Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín del Instituto de Geología, 60, 236 pp.
- Gehrels, G.E., Valencia, V.A., Ruiz, J., 2008, Enhanced precision, accuracy, efficiency, and spatial resolution of U-Pb ages by laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma-mass spectrometry: Geochemistry Geophysics Geosystems, 9(3), 13 p., Q03017, DOI: 10.1029/2007GC001805.
- Guzmán, E.J., 1950, Geología del noroeste de Guerrero: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 2, 95-156.
- Haenggi, W., 2001, Tectonic history of the Chihuahua trough, Mexico and adjacent USA, Part I: the pre-Mesozoic setting: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 54, 28-66.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R., 1987, Chronology of fluctuating sea

- levels since the Triassic: *Science*, 235, 1156-1167, DOI: 10.1126/science.235.4793.1156.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, P.R., 1988, Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change, *en* Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.S.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (eds.), *Sea level changes: an integrated approach*: Tulsa, Oklahoma, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (Society for Sedimentary Geology), Special Publication, 42, 71-108.
- Hernández-Romano, U., Aguilera-Franco, N., Martínez-Medrano, M., Barceló-Duarte, J., 1997, Guerrero-Morelos Platform drowning at the Cenomanian-Turonian boundary, Huitziltepec area, Guerrero State, southern Mexico: *Cretaceous Research*, 18, 661-686.
- Hernández-Treviño, T., Torres de León, R., Solís-Pichardo, G., Schaaf, P., Hernández-Bernal, M., Morales-Conteras, J., 2004, Edad de la Formación Chapolapa en la localidad de río Cochoapa, al oeste del Ocotito, estado de Guerrero, *en* Reunión de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jal., México: GEOS, 24, 179.
- Juárez-Arriaga, E., 2006, Marco de estratigrafía de secuencias para la sucesión estratigráfica terrígeno-carbonatada del Paleozoico Superior en el área de Olinálá, Guerrero, México: Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de maestría, 93 pp.
- Keppie, J.D., 2004, Terranes of Mexico revisited: A 1.3 billion year odyssey: *International Geology Review*, 46(9), 765-794.
- 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 re-dating tectonothermal events in the Acatlán Complex, southern Mexico: *International Geology Review*, 46(8), 745-753.
- Keppie, J.D., Dostal, J., Murphy, J.B., Nance, R.D., 2008, Synthesis and tectonic interpretation of the westernmost Paleozoic Variscan orogen in southern Mexico: From rifted Rheic margin to active Pacific margin: *Tectonophysics*, 461(1-4), 277-290.
- López-Ticha, D., 1985, Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la Cuenca de Tlaxiaco: *Boletín Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 37(1), 49-92.
- Ludwig, K.R., 2012, User's manual for Isoplot 3.75, A geochronological toolkit for Microsoft Excel: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 5.
- Martini, M., Mori, L., Solari, L., Centeno-García, E., 2011, Sandstone provenance of the Arperos Basin (Sierra de Guanajuato, central Mexico): Late Jurassic-Early Cretaceous back-arc spreading as the foundation of the Guerrero terrane: *The Journal of Geology*, 119, 597-617.
- Mendoza-Rosales, C., 2010, Estratigrafía y facies de las cuencas cretácicas de Puebla y su significado tectónico: Universidad Nacional Autónoma de México, tesis doctoral, 190 pp.
- Mendoza-Rosales, C., Centeno-García, E., Silva-Romo, G., Campos-Madrigal, E., Bernal, J.P., 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*, 295, 419-434.
- Miall, A.D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits*: Berlin, Springer-Verlag, 581 pp.
- Monroy-Fernández, M.G., Sosa-Patrón, A.A., 1984, Geología de la Sierra de Tentzo, Pue., borde norte del Terreno Mixteco: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 45(1-2), 43-71.
- Ortega-Flores, B., Solari, L., Lawton, T.F., 2013, Detrital-zircon record of a major Middle Triassic-Early Cretaceous provenance shift, central Mexico: demise of Gondwanan continental fluvial systems and onset of back-arc volcanism and sedimentation: *International Geology Review*, 56, 237-261, DOI:10.1080/00206814.2013.844313.
- Ortega-Gutiérrez, F., 1980, Rocas volcánicas del Maastrichtiano en el área de San Juan Tetelcingo, Estado de Guerrero, *en* V Convención Geológica Nacional, Libro Guía de la Excursión a la parte alta de la Cuenca del Alto Río Balsas, estados de Guerrero y Puebla: México, Sociedad Geológica Mexicana, 34-38.
- Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R.L., Speed, R.C., 1994, Phanerozoic tectonic evolution of Mexico, *en* Speed, R.C. (ed.), *Phanerozoic evolution of North American continent ocean transitions*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Decade of North American Geology Summary Volume to accompany the DNAG Continent-Ocean Transects Series, 265-306.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., López, R., 1999, Late Ordovician-Early Silurian continental collision orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections: *Geology*, 27(8), 719-722.
- Ortega-Obregón, C., Keppie, J.D., Murphy, J.B., Lee, J.K.W., Ortega-Rivera, A., 2009, Geology and geochronology of Paleozoic rocks in western Acatlán Complex, southern Mexico: evidence for contiguity across an extruded high-pressure belt and constraints on Paleozoic reconstructions: *Geological Society of America Bulletin*, 121(11-12), 1678-1694.
- Ortiz-Hernández, L.E., Flores-Castro, K., Acevedo-Syoval, O., 2002, Petrographic and geochemical characteristics of upper Aptian calc-alkaline volcanism in San Miguel Allende, Guanajuato State, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(2), 81-90.
- Padilla y Sánchez, R.J., 2007, Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 59(1), 19-42.
- Pantoja-Alor, J., 1990, Redefinición de las unidades estratigráficas de la secuencia mesozoica de la región de Huetamo-Altamirano, estados de Michoacán y Guerrero (resumen), *en* X Convención Geológica Nacional: México, D.F., Sociedad Geológica Mexicana, 66.
- Perez-Ibargüengoitia, J.M., Hokuto-Castillo, A., de Cserna, Z., 1965, Reconocimiento geológico del área Petlalcingo-Santa Cruz, Municipio de Acatlán, Estado de Puebla: *Paleontología Mexicana* 21, 1-22.
- Rivera-Carranza, E., De la Teja-Segura, M.A., Miranda-Huerta, A., Lemus-Bustos, O., Motolinea-García, O., León-Ayala, V., Moctezuma-Salgado, M.D., 1998, Carta Geológico-Minera Cuernavaca E14-5, escala 1:250,000: Pachuca, Hidalgo, México, Consejo de Recursos Minerales, 1 mapa.
- Salinas-Prieto, J.C., 1986, Estudio Geológico de la Porción Occidental de la Región de la Montaña, Estado de Guerrero, México: México, D. F., Instituto Politécnico Nacional, tesis profesional, 85 pp.
- Sánchez-Rojas, L.E., Sabanero-Sosa, M.H., Salinas-Prieto, J.C., Talavera-Mendoza, O., Campa, M.F., 1996, Carta geológico-minera y geoquímica de Chiautla, estado de Puebla, Tomo I: Consejo de Recursos Minerales y Escuela Regional de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero, Informe técnico, 93 pp.
- Smith, G., 1987, The influence of explosive volcanism on fluvial sedimentation; the Deschutes Formation (Neogene) in central Oregon: *Journal of Sedimentary Petrology*, 57(4), 613-629.
- Solari, L., Torres de León, R., Hernández-Pineda, G., Solé, J., Solís-Pichardo, G., Hernández-Treviño, T., 2007, Tectonic significance of Cretaceous-Tertiary magmatic and structural evolution of the northern margin of the Xolapa Complex, Tierra Colorada area, southern Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 119(9-10), 1265-1279.
- Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Valencia, V.A., Centeno-García, E., 2007, Detrital zircon U/Pb geochronology of southern Guerrero and western Mixteca arc successions (southern Mexico): New insights for the tectonic evolution of the southwestern North America during the late Mesozoic: *Geological Society of America Bulletin*, 119, 1052-1065.
- Zepeda-Martínez, M. del C., 2013, Estratigrafía y Sedimentología de la Sierra del Tentzo, Estado de Puebla, México: México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, tesis de licenciatura, 127 pp.

Manuscrito recibido: Agosto 23, 2013

Manuscrito corregido recibido: Febrero 27, 2014

Manuscrito aceptado: Marzo 1, 2014