Estratigrafía del Grupo Sierra Madre en Chiapas y su hipotético potencial petrolero

Stratigraphy of the Sierra Madre Group in Chiapas and its hypothetical petroleum potential

Samuel **Eguiluz y de Antuñano**[1,*], Bruno Andrés **Than-Marchese**[2], Luis Fernando **Camacho Ortegón**[3], Rafael **López-Martínez**[4], Luis Enrique **Gómez-Pérez**[5]

[1] Rinconada Precolombina, Bonampak 103, CDMX, México.

[2] Programa de Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales. Instituto de Ciencias Biológicas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Libramiento Norte #1150. Col. Lajas Maciel., C.P. 29039. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

[3] Profesor, Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Simón Bolívar #303A, C.P. 26830, Nueva Rosita, Coahuila de Zaragoza, México.

[4] Laboratorio de Carbonatos y Procesos Kársticos, Instituto de Geología, UNAM.

[5] Museo de Paleontología Eliseo Palacios Aguilera. Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural. Calzada de las Personas Ilustres S/N. Col. Centro. C.P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

* Autor para correspondencia: (S. Eguiluz y de Antuñano) *seguiluz662@gmail.com*

Cómo citar este artículo:
Eguiluz y de Antuñano, S., Than-Marchese, B.A., Camacho Ortegón, L.F., López-Martínez, R., Gómez-Pérez, L.E., 2023, Estratigrafía del Grupo Sierra Madre en Chiapas y su hipotético potencial petrolero: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 75 (3), A301023. http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Manuscrito recibido: 18 de julio de 2023.
Manuscrito corregido: 01 de octubre de 2023.
Manuscrito aceptado: 30 de octubre de 2023.

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Y-NC-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RESUMEN

El Grupo Sierra Madre de Chiapas tiene informalidades en su nomenclatura estratigráfica que han sido transmitidas a través de la literatura geológica. Este trabajo describe las características de tres sucesiones litoestratigráficas que hacen comprensible la división tripartita del Grupo Sierra Madre. Una litología particular, que aquí se define sucesión El Chango, separa las sucesiones Cantelhá y Cintalapa para integrar a este grupo. Adicionalmente, la sucesión El Chango hace posible realizar una cartografía apropiada y su correlación permite interpretar la distribución regional de facies sedimentarias que presentan estas sucesiones. La epifluorescencia de rocas de la sucesión El Chango (Cenomaniano) exhibe compuestos orgánicos. Datos de pirólisis indican ~0.22% de carbón orgánico total en roca carbonatada, su reflectancia equivalente es 0.7 y 1.0, que ubica a la roca en la ventana de generación del aceite y gas metagénico, los valores de S2 menores de 0.2 mg HC/g hacen cuestionable el bajo potencial de expulsión de hidrocarburos, por lo que se requieren análisis adicionales. La porosidad impregnada con asfalto en rocas del Grupo Sierra Madre sugiere la existencia de roca almacén, cubierta regionalmente por rocas pelíticas como sello y los cambios de facies y deformación indica la existencia de trampas potenciales. Los datos de este trabajo proponen explorar un *play* hipotético petrolero en esta región.

Palabras clave: Cenomaniano, play, facies sedimentarias, pirólisis.

ABSTRACT

The Sierra Madre Group of Chiapas has informalities in its stratigraphic nomenclature that have been transmitted through geological literature. This work describes the characteristics of three lithostratigraphic successions that make the tripartite division of the Sierra Madre Group understandable. A particular lithology, which here is defined as the El Chango succession, separates the Cantelhá and Cintalapa successions to integrate this group. Additionally, the El Chango succession makes it possible to do an appropriate mapping and its correlation allows interpreting the regional distribution of sedimentary facies that these successions. Epifluorescence of rocks from the El Chango succession (Cenomanian) exhibits organic compounds. Pyrolysis data indicate ~0.22% of total organic carbon in carbonate rock, its equivalent reflectance is 0.7 and 1.0, which places the rock in the generation window of metagenic oil and gas, S2 values less than 0.2 mg HC/g make the low hydrocarbon expulsion potential questionable, so additional analyzes are required. The porosity impregnated with asphalt in rocks of the Sierra Madre Group suggests the existence of reservoir rock, regionally covered by pelitic rocks as a seal, and the changes in facies and deformation indicate the existence of potential traps. The data from this work proposes to explore a hypothetical oil play in this region.

Keywords: Cenomanian, play, sedimentary facies, pyrolysis.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

1. Introducción

Las rocas carbonatadas del Cretácico que afloran en Chiapas tienen una evolución de nomenclatura estratigráfica compleja. Böse (1905) describió la presencia de calizas cretácicas con rudistas que fueron nombradas por Ver Wiebe (1925) como Formación San Cristóbal. Las calizas con miliólidos en la Sierra de Chiapas y en el Istmo de Tehuantepec fueron citadas como caliza Sierra Madre en un reporte petrolero de Nuttall (1929, in Salas, 1949). Müllerried (1936), Imlay (1944) y Richards (1963), correlacionaron a estas calizas con la Formación Cobán de Guatemala. Gutiérrez-Gil (1956) sintetizó trabajos de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y reportó la estratigrafía en un libreto guía, donde designó a las calizas cretácicas como Formación Sierra Madre (posiblemente retomado de Nuttall, 1929), que describió compuesta por una unidad inferior de caliza gris claro en estratos delgados a estratos medios, con *Caprina* y *Toucasia*, que alterna con lutita gris obscura y arenisca, así como una unidad superior constituida por caliza fosilífera con rudistas, gasterópodos y bivalvos del Cretácico Superior (Turoniano). Varias publicaciones (Sánchez-Montes de Oca, 1979; Quezada-Muñetón, 1987; Moreno-Bedmar *et al.*, 2014), refieren que fue González-Alvarado (1963) quien dividió a la Formación Sierra Madre con dos miembros, el inferior lo designó informalmente caliza Cantelhá y el superior Jolpabuchil. Castro Mora *et al.* (1975) describieron las microfacies que afloran en la Sierra Madre del Sur y sin dar nomenclatura preestablecida, reconocen que las unidades 22-27 (Figura 1) tienen un alcance estratigráfico del Albiano Inferior al Santoniano. La base de los depósitos de caliza la consideraron del Albiano Inferior, con discordancia erosiva sobre rocas del Hauteriviano, mientras que la cima de estas calizas están debajo de estratos del Maestrichtiano, con ausencia de rocas del Campaniano.

Sánchez-Montes de Oca (1979) citó que el miembro Cintalapa yace sobre el miembro Cantelhá y ambos miembros (elevados al rango de formación), constituyen parte del Grupo Sierra Madre. Steele (1982) describió la litoestratigrafía de 21 unidades de la Caliza Sierra Madre, ubicadas entre las formaciones San Ricardo en la base y Ocozocuautla en la cima. Sin embargo, Waite (1983) consideró que la sección de Steele (1982), en base al contenido paleontológico, podía integrarse en 11 unidades ubicadas entre el Albiano y Santoniano (Figura 1). Quezada-Muñetón (1987) publicó que el Grupo Sierra Madre (sin definirlo formalmente) lo integran las formaciones Cantelhá, Cintalapa y Jolpabuchil. En orden cronológico de ideas, Vega *et al.*, (2006) reportan amplia variedad de fósiles en la cantera El Espinal, entre ellos destaca el cangrejo *Roemerus robustus* y correlacionan a esta cantera con rocas de la Formación Glen Rose, en Texas, por consiguiente, asignaron edad Albiano Inferior al conjunto de fósiles del yacimiento. El hallazgo de *Graysonites* sp. en la cantera El Chango condujo a situar estos estratos en el Cenomaniano temprano (Moreno-Bedmar *et al.*, 2014) y los ~54 m de espesor los incluyeron en la base de la unidad Cintalapa (Figura 1).

En el Grupo Sierra Madre no existen trabajos publicados que consideren el potencial generador de hidrocarburos de estas rocas. Mandujanos-Velázquez (1996) en su análisis de megasecuencias de la Sierra de Chiapas no identificó las litologías del Espinal y El Chango, ni consideró la existencia de rocas generadoras de hidrocarburos, por lo que el potencial generador petrolero de estas rocas se ignoró. Vega *et al.* (2006), mediante palinología y litofacies sugieren que el ambiente de depósito de la litología El Espinal ocurrió en una laguna salobre o estuario, con 90-97% de querógeno en ambiente con oxidación, este es el primer registro que identifica materia orgánica en este grupo.

Este trabajo tiene como objetivos: a) describir tres sucesiones estratigráficas distintivas (Cantelhá, El Chango y Cintalapa), integradas al Grupo Sierra Madre en el área de estudio (Figura 1); b) describir la litología, dar énfasis en sus relaciones estratigráficas, mostrar la correlación estratigráfica y la distribución regional de facies de las unidades que constituyen a este grupo, y; c) aportar datos

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

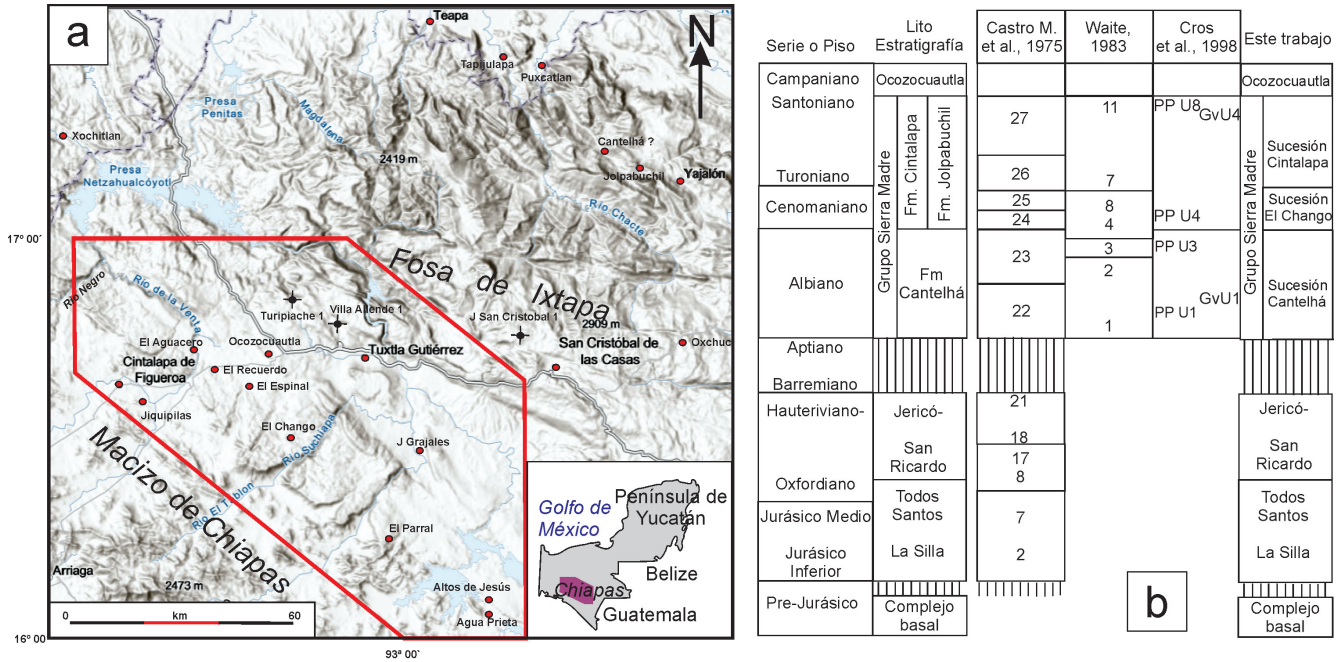


Figura 1 **a. Localidades citadas en el texto y ubicación del área de estudio. b. Tabla de correlación estratigráfica. Los números y anotación PP U y GvU corresponden con las unidades litológicas descritas por los autores indicados en las columnas.**

de pirólisis y contenido de carbón orgánico total (COT) en capas del Cenomaniano, con objeto de evaluar, de forma preliminar, un posible potencial generador de hidrocarburos.

2. Metodología

Durante varios periodos de campo se visitaron afloramientos clave que sirvieron para entender los problemas geológicos de esta región. Se integró y analizó la información publicada y varios informes inéditos de Petróleos Mexicanos. Con trabajos de campo se midieron secciones estratigráficas y colectaron muestras para estudios petrográficos, paleontológicos, geoquímicos y difracción de rayos X. Con estos datos y el análisis integrado de la información, se construyeron secciones estratigráficas y un mapa geológico regional (Figura 2).

Con lupa en el campo y microscopio petrográfico en laboratorio se analizaron en muestras de mano y lámina delgada respectivamente, la litología de rocas carbonatadas y se clasificaron acorde al criterio textural propuesto por Dunham (1962). El análisis petrográfico bajo epifluoresencia detectó compuestos orgánicos siguiendo la metodología de Bezouska *et al.*, 1998; van Beynen *et al.*, 2001 y Brennan y White, 2013. Las muestras se fotografiaron utilizando un microscopio Olympus BX51 con cámara acoplada. Difracción de rayos X en muestras selectas se realizó en el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, los difractogramas se obtuvieron con equipo Malvern Panalytical®. La medición se realizó en el intervalo angular 2θ de 4° a 80° en escaneo por pasos con un "*step scan*" de 0.003° (2 Theta) y un tiempo de integración de 40s por paso. La cuantificación se realizó utilizando el método de Rietveld implementado en el software HIGHScore® v4.5 y las bases de datos del ICDD (International Center for Diffraction DATA) y ICSD (Inorganic Crystal Structure Database). Estudios de pirólisis se realizaron para dos muestras (acrónimos de serie Eas 1007 y 1015), en el Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la Universidad Autónoma de Coahuila campus

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Nueva Rosita, Coahuila, con un equipo Rokeval® 6 Turbo y el resultado analítico mediante los softwares IFP - ROCKINTTM 6 y GeoworksTM V1.1R1.

La ubicación de muestras y datos de campo se realizó con equipo Garmin modelo GPSMap 78, coordenadas Universal Transversa Mercator 15Q datum GWS84. La toponimia fue obtenida de cartas topográficas escala 1:50,000 de INEGI.

3. Marco geológico regional

Álvarez (1949) definió al Macizo de Chiapas con características individuales a otros conjuntos tectónicos de México, varios autores lo denominan Complejo Granítico de Chiapas (Damon *et al.*, 1981; Morán-Zenteno, 1984; Torres *et al.*, 1999) o Complejo del Macizo de Chiapas (Quintana-Delgado, 2021). Estas rocas constituyen el basamento (sensu stricto) de la cubierta sedimentaria y se compone de ortogneis, augengneis y anfibolitas proterozoicas, penetradas por granitos y gabros deformados o migmatizados de un batolito complejo, con edades de ~270 Ma a ~250 Ma, con afinidad peri-Gondwana (Weber *et al.*, 2001, 2007; Schaaf *et al.*, 2002; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2018; Pindell *et al.*, 2021). Este basamento exhibe una sección estratigráfica-estructural natural (Figura 2), al estar rotado su eje horizontal en sentido a las manecillas del reloj. Sobre el basamento hay rocas sedimentarias marinas del Paleozoico (Hernández-García, 1973; Buitrón, 1977; Torres *et al.*, 2017), andesitas datadas por K/Ar en 206 ±10 Ma (Herrera-Soto y Estavillo-González, 1991) y capas sedimentarias continentales datadas con U-Pb y $^{40}Ar/^{39}Ar$ entre 196-171 Ma y 170 Ma (Formación La Silla y Miembro El Diamante, Godínez *et al.*, 2011).

A las rocas antes citadas y en discordancia angular le sucede la Formación Todos Santos, compuesta por capas rojas de ambiente fluvial y aluvial (Blair, 1987; 1988), con cambios de espesor que sugiere una topografía irregular durante su depósito en una etapa controlada por extensión de apertura (*rift*). Esta formación cambia de manera gradual a la cima a arenisca y caliza de ambiente litoral. Asimismo, lateralmente cambia a evaporitas (sal) y siliciclastos depositados en un ambiente de *sabkha*, en una sucesión transgresiva que avanzó en tiempo, desde el Bajociano al Oxfordiano (Pindell *et al.*, 2020) y en espacio, invadiendo un bloque paleogeográfico insular (Macizo de Chiapas). La Formación San Ricardo yace concordante sobre los lechos rojos antes descritos, en cambio gradual entre facies de planicie fluvio-lacustre a caliza y lutita de ambiente marino.

En la Formación San Ricardo se reconocen tres miembros, en la base mayormente caliza, en la parte media hay marga y terrígenos finos y en la parte superior mayormente arenisca (Richards, 1963; Quezada-Muñetón, 1983). Estos tres miembros en conjunto reflejan, primero, una transgresión en la base y posteriormente una regresión en la cima, sin embargo, también tienen cambios laterales de litología y disminuye su espesor entre las localidades de Río Negro y Jiquipilas al acuñarse (*on lap*) sobre un bloque alto paleogeográfico, por lo que la edad de estos depósitos varía en tiempo y espacio, desde el Kimmeridgiano (en Río Negro) al Tithoniano (en Jiquipilas) y Cretácico Inferior (en Grutas de Montecristo, Jericó y La Concordia), en donde la litología recibe el nombre de Jericó. Estos cambios de facies son corroborados por pozos al NE (Villa Allende 1, Turipache 1 y San Cristóbal 1, Figuras 1 y 2). Por su parte, algunos autores proponen la cima de la Formación San Ricardo como concordante con la Formación Cantelhá (Blair, 1987, 1988: Richards, 1963, Quezada-Muñetón, 1983; Steele y Waite, 1986), otros trabajos argumentan que hay discordancia, posiblemente angular (Castro-Mora *et al.*, 1975; Godínez *et al.*, 2011).

3.1. GRUPO SIERRA MADRE

El Grupo Sierra Madre y formaciones que lo integran, no obstante, su designación y uso en la literatura, adolece de claridad para referirlas

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

de manera formal con el rango de formaciones o grupo. Las secciones tipo, secciones de referencia, relaciones estratigráficas entre ellas y otros atributos, no cumplen con las recomendaciones que establece el Código Norteamericano de Estratigrafía para formalizar el rango (Barragán *et al.*, 2010). En el presente trabajo se designan a tres sucesiones estratigráficas distintivas, con nombres reconocidos en la literatura, pero no elevados a rango de formación. La definición formal del grupo y sus formaciones salen de los objetivos de este trabajo.

3.1.1. SUCESIÓN CANTELHÁ

La sucesión Cantelhá en el área de estudio (Figura 3), de forma general, se compone de caliza con textura wackestone, packstone y grainstone, con dolomitización variable, es de color crema a gris claro, en capas medias a capas gruesas, con moluscos y otros fósiles bentónicos. Su litología y contenido fósil sugieren facies de ambiente somero, de moderada a alta energía, depositadas en una plataforma lagunar restringida. Secciones mayormente bien expuestas están en las localidades: carreteras de cuota y libre que comunican a

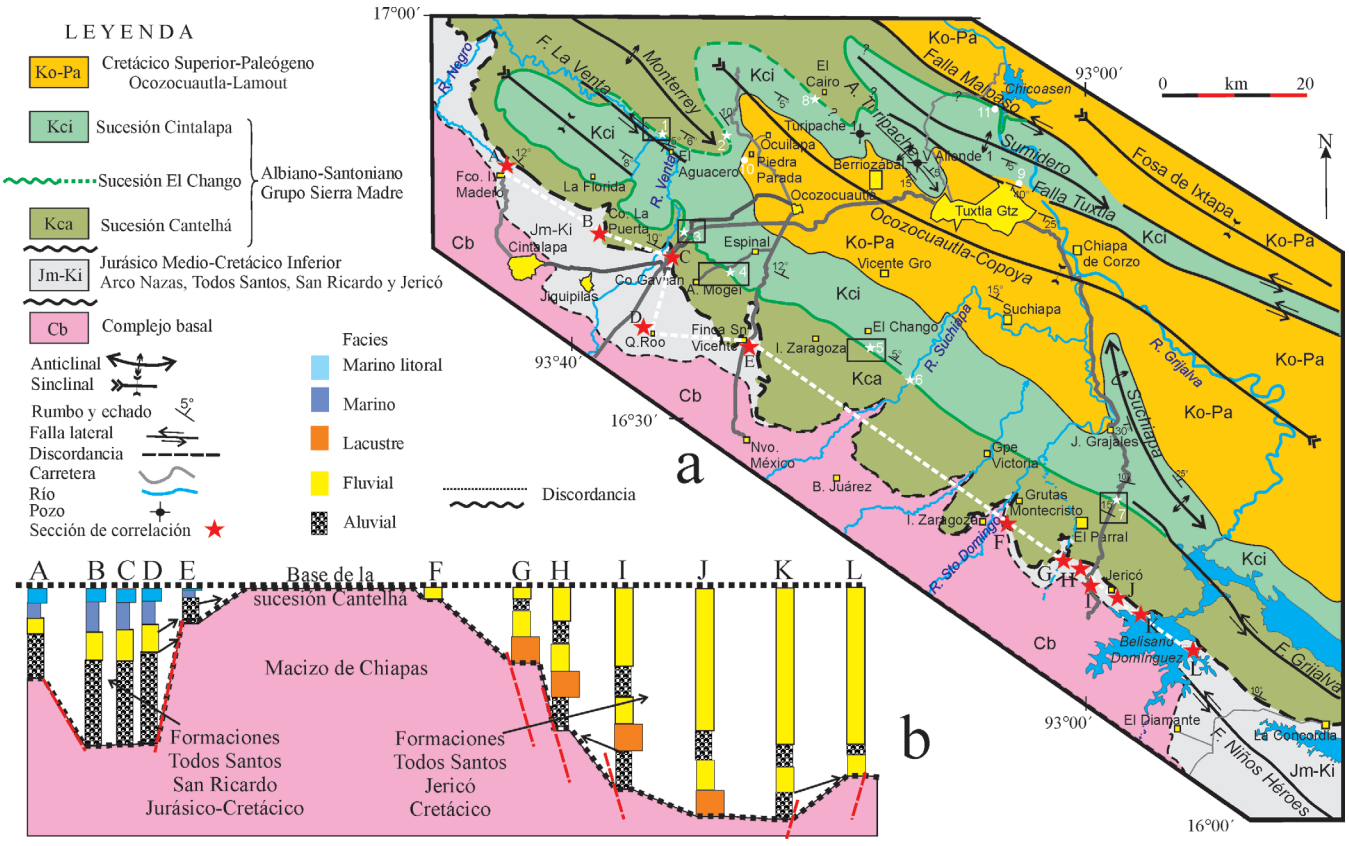


Figura 2 **a. Carta geológica del área de estudio con la separación tripartita de las sucesiones estratigráficas del Grupo Sierra Madre que aporta este trabajo. Los rectángulos son localidades en donde la sucesión El Chango fue medida a detalle. Los puntos blancos con dígitos 1-11 son localidades con rocas del Cenomaniano. b. Línea cortada en color blanco y estrellas rojas son la sección estratigráfica de correlación tomada de Blair (1987, 1988, modificada en este trabajo), localidades: Francisco I. Madero (A), Cerro La Puerta (B), Cerro Gavilán (C), Finca Quintana Roo (D), Finca San Vicente (E), Grutas Monte Cristo (F), Finca La Yerba (G), Finca San Antonio (H), carretera 83 (I), Jericó (J), Ramal Embalse (K) y Angostura (L). Espesores contenidos en bloques fallados del Macizo de Chiapas con el depósito de las formaciones Todos Santos-San Ricardo (Jurásico-Cretácico) y Todos Santos-Jericó (Cretácico), con cuñas (onlap) que migran en espacio y tiempo sobre el Macizo de Chiapas y son cubiertas en discordancia por la base de la sucesión Cantelhá.**

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Ocozocuautla con Jiquipilas, en el cerro Gavilán, en dónde aflora la base y parte media de la sucesión (Figuras 3a y 4a), mientras que en el río La Venta y el centro ecoturístico El Aguacero aflora el tercio superior, sin observar aquí (por inaccesibilidad) el contacto superior. En el camino entre Grutas de Montecristo y El Parral, aunado al lado de la carretera entre El Parral a Julián Grajales (Figura 2), aflora una sección parcialmente expuesta, que se toma como la sección más representativa de esta sucesión Cantelhá (Figura 3b). Esta sección muestra el contacto inferior (Figura 4b), así como el contacto superior. El tercio inferior de la sucesión Cantelhá con regular exposición está en el camino entre Plan de Agua Prieta y Altos de Jesús (Figura 3c), su base muestra con nitidez la discordancia con rocas preexistentes (Figura 4c). En las localidades citadas la sucesión Cantelhá yace discordante sobre el miembro arenoso de las formaciones San Ricardo y Jericó.

Las rocas inmediatas a la litología pre-Cantelhá tienen estratos delgados a medios compuestos por arcosa de cuarzo, feldespato y líticos, de grano medio y color verde. Se destaca que en el Plan de Agua Prieta hay capas de limolita calcárea (Figuras 3c). El criterio para sustentar una discordancia es la existencia regional de una superficie de erosión irregular, que separa a las capas de arcosa de la Formación San Ricardo y Jericó en la base, que yacen debajo de una ortobrecha granosoportada, formada por clastos de caliza, dolomía y yeso, de formas angulares y subangulares y tamaños de 5 cm a 30 cm, compuestos de dolomía de color gris claro, con recristalización de calcita, así mismo, en la matriz de la ortobrecha hay arcosa similar a las capas inferiores y fragmentos fósiles con abrasión por retrabajo, así como foraminíferos bentónicos sin neomorfismo. En lámina delgada se observan numerosos cortoides y otros granos con cemento micrítico y ortoesparítico afectados por una extensa dolomitización, la micritización alrededor de los cortoides parece sustituir al cemento de drusa antecedente de posible ambiente vadoso (Figura 4d).

Se reconocen algunos fragmentos de equinodermos mal preservados. Estas características sugieren una microfacies estándar SMF 17 depositada en ambientes de plataforma interna restringida. El espesor de este cuerpo de ortobrecha es variable según la localidad, desde 3 m a 50 m (Figura 3). Este cuerpo de ortobrechas está en la base y no se repite en capas de la sucesión más joven. En ascenso estratigráfico se pasa de manera gradual a capas de espesor medio de dolomía o grainstone dolomitizado, sucedido por un monótono y potente conjunto de estratos de wackestone, packstone y grainstone parcialmente dolomitizados, de color gris claro y crema, en capas medias a gruesas, con fragmentos de moluscos con porosidad móldica o porosidad intercristalina en dolomía (Figura 4e). Ocasionalmente en la sucesión hay intervalos con cúmulos de rudistas y fuerte dolomitización.

En las capas superiores de Cantelhá predomina caliza wackestone de miliolidos y grainstone de peloides, con estratificación cruzada, estructuras de corte (Figura 4f), relleno y deslizamiento (*slumps*, Figura 4g), en estratos delgados a medios, hay capas con estructura ondula o "*boudin*" que pasa de forma gradual y en espesor corto a una litología diferente que se describe más adelante. La sucesión Cantelhá en las localidades estudiadas tiene ~1400 m de espesor (Figura 3). Reportes de *Orbitolina* sp, y *Microcalamamoides diversus* en esta unidad asignan la edad Albiano (Castro Mora *et al.*, 1975, unidades 22 y 23). La dificultad para separar a las sucesiones Cantelhá y Cintalapa fue la carencia de una litología distintiva que permitiera hacer su separación, así mismo, no se definió la relación estratigráfica entre ambas sucesiones (Sánchez-Montes de Oca, 1979). A continuación, se describen las características litológicas, geoquímicas, mineralógicas y paleontológicas que separa a las sucesiones Cantelhá de Cintalapa.

3.1.2. SUCESIÓN EL CHANGO

Con este nombre se designa a una sucesión litológica peculiar (Figura 5), que tiene correlación regional y distribución amplia susceptible de ser cartografiada (Figuras 2 y 6). Su litología está com-

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

puesta en la base por caliza grainstone de peloides, color gris claro, dolomitizada y laminar, en estratos delgados (Figuras 4h y 7a), así como estructuras de corte y relleno y textura rudstone con fragmentos derivados de caliza laminar (Figuras 5 y 7b-d). Nódulos de pedernal gris claro son frecuentes en las secciones El Parral y El Chango (Figura 7e). En la parte inferior y media de la sucesión hay dolomía, marga y caliza, con estratificación laminar que al romper despide olor a hidrocarburos, rasgo vinculado a tapetes microbianos. Mediante fluorescencia al microscopio hay materia orgánica dispersa. Análisis de pirólisis indica contenido variable de carbono orgánico total (COT), relaciones de índices de oxígeno e hidrógeno (IH/IO), madurez termal (%Ro) y temperatura máxima (Tmax), que posteriormente se analizará. Hay capas intercaladas de wackestone y packstone de peloides y bioclastos de color crema, con 1 m a 2 m de espesor. La cima de esta sucesión es caliza wackestone y packstone gris claro, en capas de espesor medio, con miliólidos y bioclastos que pasan gradualmente a caliza en estratos gruesos de la sucesión Cintalapa. La sección El Chango (Figura 5) se propone como tipo de esta sucesión y se localiza en las coordenadas UTM 15Q 470958m E y 1831982m N, en el rancho Plan de Guadalupe, a ~3 km al SW de la finca Quince de Septiembre (El Chango) referida según toponimia de INEGI 1:50,000 (carta E15C69).

La sucesión El Chango tienen variado contenido fósil, tallos de plantas, carpetas microbianas,

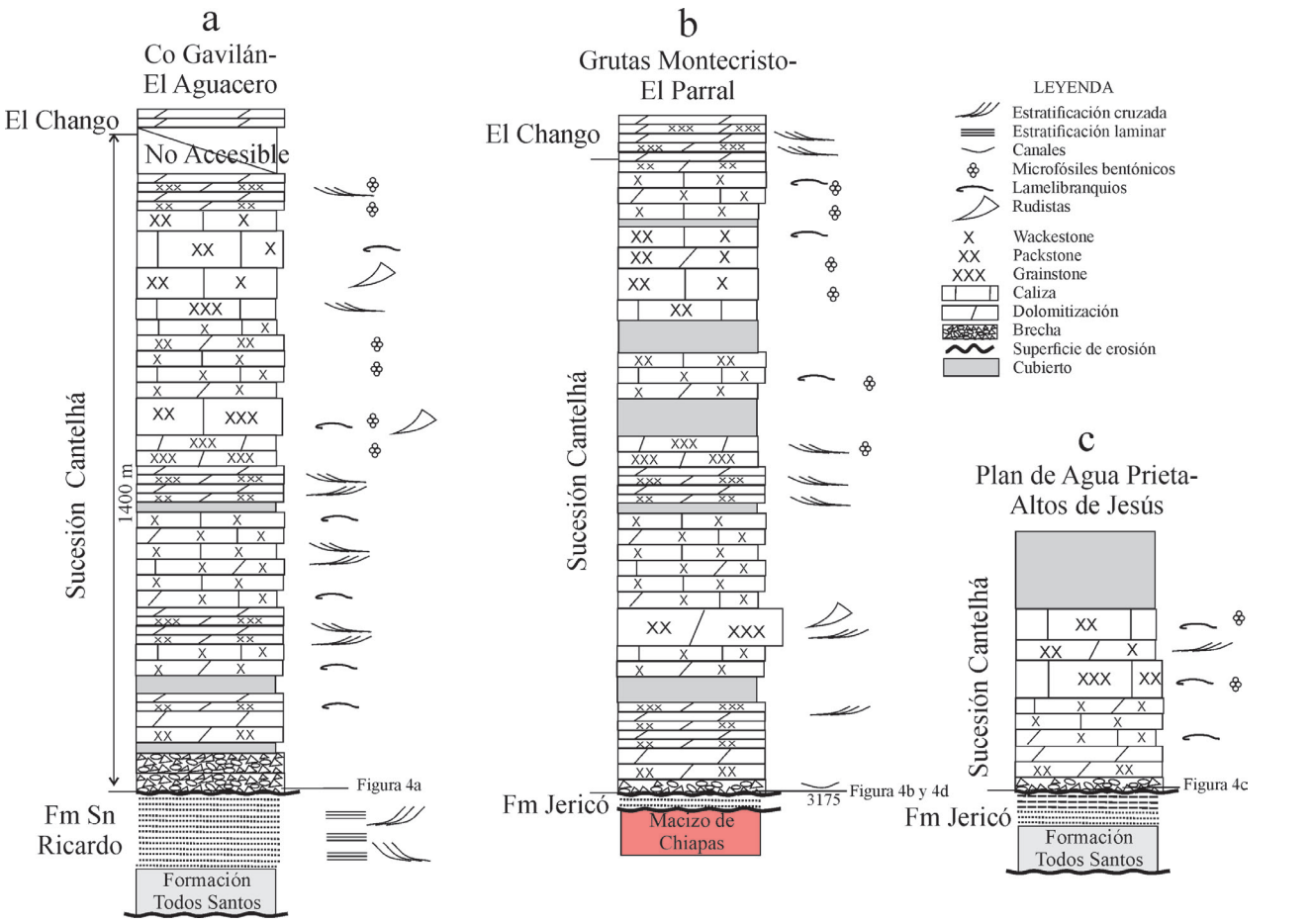


Figura 3 **Secciones estratigráficas de la sucesión Cantelhá y sus relaciones estratigráficas. Ubicaciones descritas en el texto y en la Figura 2.**

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

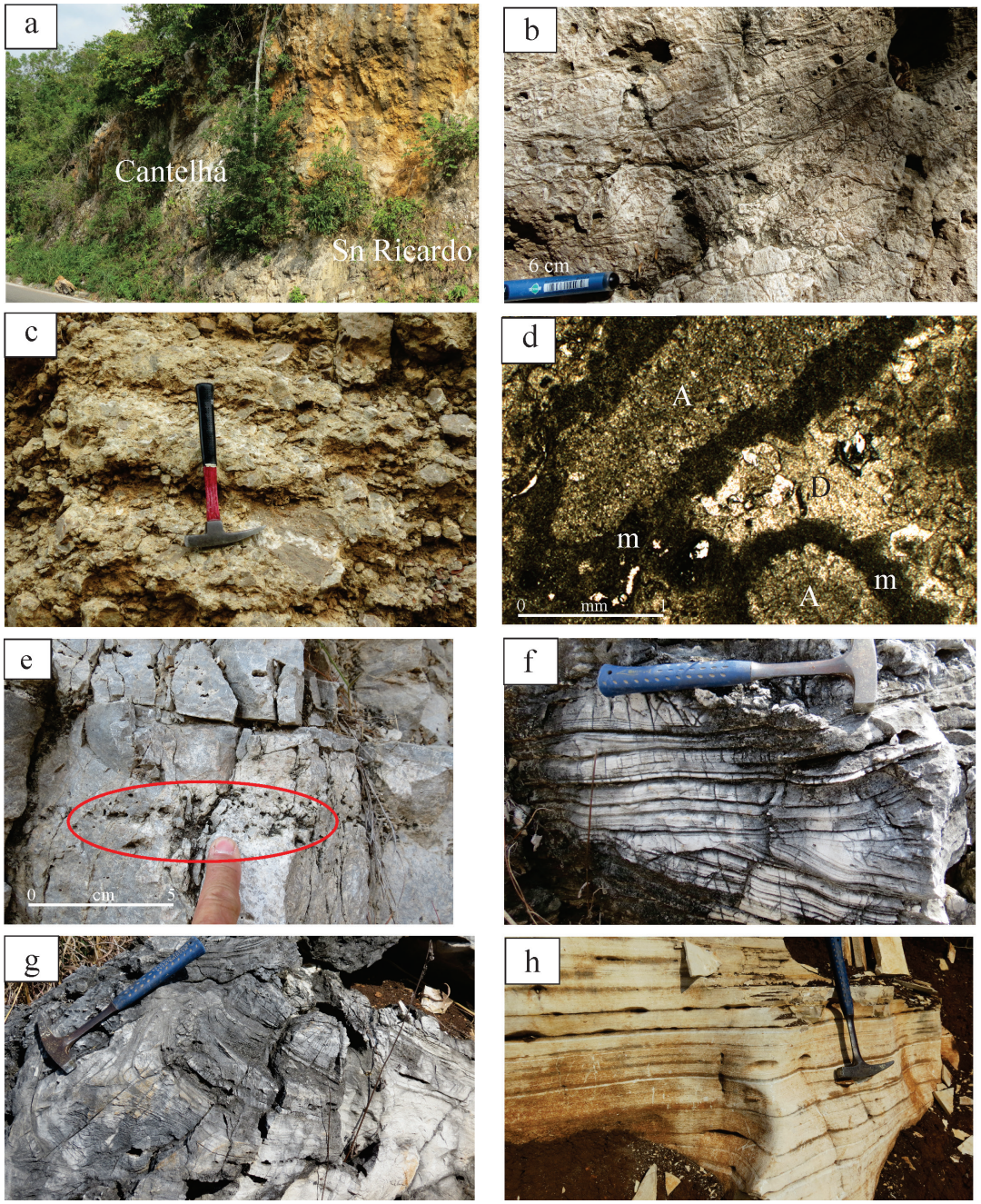


Figura 4 a. Contacto estratigráfico formado por ortobrecha en la base de la sucesión Cantelhá y sobre una superficie de erosión en la cima de la Formación San Ricardo en el km 100 de la carretera libre 83, al pie del Cerro Gavilán. b. Ortobrecha en la base de la sucesión Cantelhá en la localidad de Grutas de Montecristo (b, en Figura 3 b). c. Base de la Formación Cantelhá en la sección Plan de Agua Prieta (c, en Figura 3 c). d. Microimagen de la muestra 3175 en la localidad Grutas de Montecristo (d, en Figura 3 b), con cortoides (A) y cemento micrítico (m), la ortoesparita y dolomitización ocluye la porosidad vugular y deja porosidad intercristalina (D). e. Porosidad móldica en la cima de la sucesión Cantelhá, (muestra 3186 en la sección El Recuerdo, Figura 5). f-g. Estratificación cruzada (*troug-cross bedding* y *tangential foresets)* con polaridad divergente en grainstone peloide en la cima de la sucesión Cantelhá (f y g, en la sección El Chango, Figura 5). h. Estratos delgados con laminación paralela y nódulos de pedernal de la sucesión El Chango (muestra 3174 en la sección Parral, Figura 5).

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

ictiofauna (*Pepemkay maya*, *Scombroclupea javieri*, *Veridagon avendanoi*, *Zoqueichthys carolinae*, *Sapperichtys chiapanensis* Figura 7f), ammonites (*Grysonites* sp.), artrópodos, conchas fragmentadas de quelonios, foraminíferos bentónicos y planctónicos (Alvarado-Ortega *et al.*, 2009; Alvarado-Ortega y Than-Marchese, 2012, 2013; Díaz-Cruz *et al.*, 2019; Guerrero-Márquez *et al.*, 2012; Moreno-Bedmar *et al.*, 2014; Than-Marchese *et al.*, 2020; Vega *et al.*, 2022; entre otros). La presencia de *Graysonites* (Moreno-Bedmar *et al.*, 2014), *Rotalipora apenninica* y *Praeglobotruncana stephani* (Castro-Mora *et al.*, 1975, unidades 24 y 25) y *Rotalipora cushmani* (Waite, 1983), sitúan a esta sucesión en edad Cenomaniano Inferior o simplemente Cenomaniano. En varios intervalos de esta litología hay discontinuidades de sedimentación marcadas por superficies de erosión, con brechas o conglomerados granosoportados (rudstone) con diferente grado de angulosidad (Figuras 5 y 7b-d). Análisis de difracción de rayos X (Tabla 1), en muestras de litología similar entre las secciones estratigráficas medidas (Figura 5), sugieren que hay coincidencia mineralógica común, con 95% de dolomita y 5% de andesita. La presencia de tallos de plantas infiere que proceden de un área continental sujeta a erosión. Las características litológicas descritas, la posición estratigráfica y contenido fósil indican que las localidades estudiadas son el mismo horizonte estratigráfico Cenomaniano Inferior y no es más antiguo (v.gr. cantera El Espinal). El espesor de esta sucesión varia de 55 m a 70 m, espesores similares son reportados con anterioridad en litologías de esta edad (Castro Mora *et al.*, 1975; Waite, 1983; Vega *et al.*, 2006, Moreno-Bedmar *et al.*, 2014). Secciones de referencia de la sucesión El

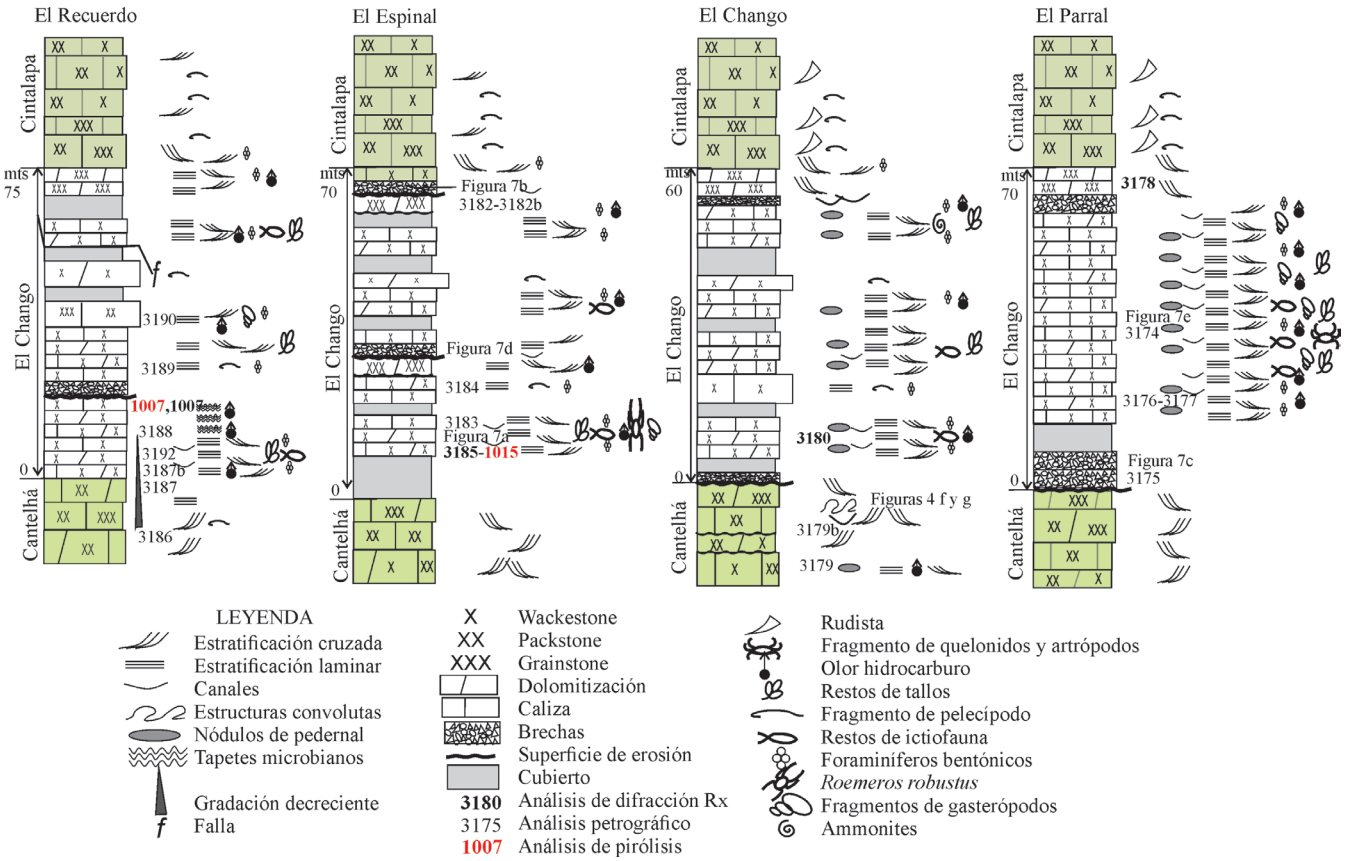


Figura 5 **Secciones estratigráficas de la sucesión El Chango con litologías similares entre las localidades ubicadas en las Figuras 2 y 6. Descripción en el texto.**

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Chango están a 2.5 km al noreste del poblado El Parral, otra en el poblado de Guadalupe Victoria, una más a 3.5 km al SW del Espinal de Morelos (cantera El Espinal) y a 2.5 km al SW del poblado El Recuerdo, en el km 78 del corte de la carretera de cuota Ocozocuautla a Jiquipilas (Figuras 5 y 6).

3.1.3. SUCESIÓN CINTALAPA

Esta sucesión estratigráfica está compuesta por estratos de caliza con texturas wackestone y packstone de peloides, bioclastos, moluscos y foraminíferos bentónicos, su color es gris claro y crema, con capas delgadas, medias y gruesas, lateralmente continuas, entre las capas hay marga, limolita o lutita laminar de 2 cm a 5 cm de espesor que separa estratos de caliza, así mismo, hay estratos dolomitizados, similares a la sucesión Cantelhá (Figura 8a-c). La sucesión Cintalapa es homogénea, con ~1100 m de espesor, su mejor exposición está en la carretera entre El Parral y Julián Grajales (Figura 8a y 8b), así mismo, en el cauce del río Santo Domingo y en el cañón El Sumidero (Figura 8d). Sin embargo, hay localidades con intervalos cubiertos o inaccesibles que limitan su exposición plena. El contacto estratigráfico inferior es gradual con las capas El Chango (Figuras 5 y 8a), mientras que el contacto superior es gradual y nítido, en un intervalo de 10 m, hacia la Formación Ocozocuautla (miembro Piedra Parada), formada por limolita y arenisca. Este contacto es claramente visible en el arroyo Piedra Parada y en el km 7.5 (UTM 491273m E; 1856580m N) de la carretera a los miradores del Parque Nacional Cañón del Sumidero (Figura 8e). La edad de esta sucesión es dada por los foraminíferos *Globotruncana angusticarinata*, *G. sigali*, *Pseudolituonella reichelli picardi*,

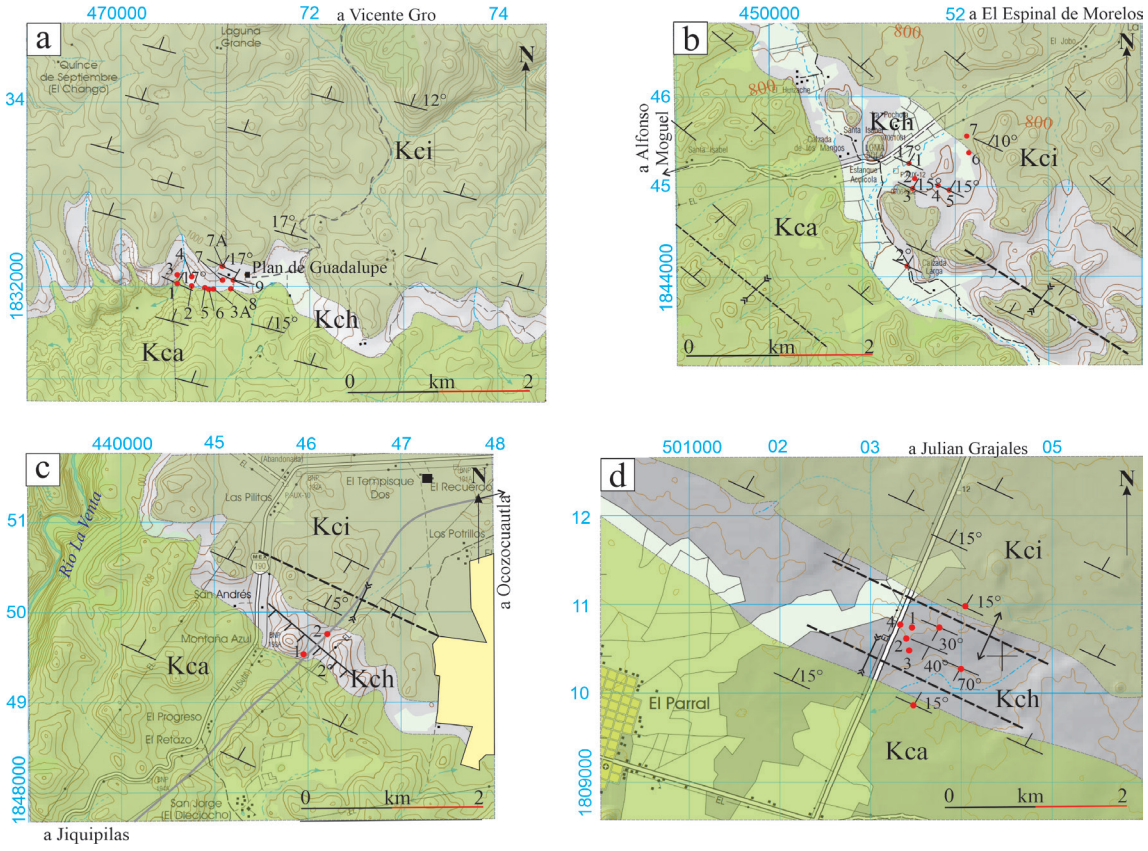


Figura 6 **Mapas geológicos a detalle de afloramientos de la sucesión El Chango. Localidades: a. El Chango, b. El Espinal, c. El Recuerdo, d. El Parral. Sucesión Cantelhá (Kca), sucesión El Chango (Kch), sucesión Cintalapa (Kci). Ubicación de los mapas y simbología en la Figura 2.**

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Mariginotruncana marianosi, *Valvulammina Caucasina* sp., *Nezzazata* sp., *Dicyclina schlumbergeri*, *Massilina* sp., *Pseudochrysaldina* sp., *Sawagesia* sp. y *Whiteinella archeocretacea*) que datan a estas rocas entre el Turoniano y el Santoniano (Castro Mora *et al.*, 1975, unidades 26 y 27 y Waite, 1983, unidades 7-11).

4. Discusión

La nomenclatura estratigráfica de las rocas carbonatadas de la Sierra de Chiapas tomada de informes de compañías petroleras carece del protocolo apropiado para su definición formal, sin embargo, esta nomenclatura es retomada de forma tácita por numerosos trabajos publicados que admiten la nomenclatura para establecerla como formal. La Formación Cantelhá González-Alvarado (1963) la definió en un informe que Quezada-Muñetón (1987) retoma y parafrasea para describirla como "calizas color gris lustrosa, sacaroide cuando se encuentra recristalizada y café crema cuando es fosilífera" del Cretácico Medio (Albiano-Cenomaniano). Su localidad de referencia es imprecisa, "situada a 16 km al noroeste del poblado de Yajalón, Chiapas" (Figura 1). Esta localidad no se localiza con referencia toponímica en cartas topográficas INEGI (E15D42 y E15D32), por consecuencia, no hay forma de tener la ubicación de una sección tipo o de referencia de esta



Figura 7 a. Capas delgadas con estratificación laminar, ubicación en Figura 5 sección El Espinal. b. Conglomerado oligomíctico formado por fragmentos de caliza y dolomía, ubicación Figura 5 sección El Espinal. c. Brechas de caliza y dolomía, Figura 5 sección El Parral. d. Brecha de caliza laminar en canal de erosión, Figura 5 sección El Espinal. e. Nódulos de pedernal, Figura 5 sección El Parral. Icnofauna con diferentes géneros (f), en estratos de la sucesión El Chango en varias localidades estudiadas en este trabajo.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Tabla 1. Fases identificadas con análisis de difracción de rayos X muestran concordancia de minerales entre las localidades estudiadas. La plagioclasa andesina es correlacionable en las localidades, con excepción de la muestra 3178 donde domina SiO_2 en la localidad El Parral (Figura 7 e). Posición estratigráfica de la colecta de muestras se indica en la Figura 5.

#Muestra	Clave	Fases Identificadas	Ficha PDF	%(semiquant) RIR	Comentarios
DRX1	1007	Dolomita: $(CaMg(CO_3)_2$ Trazas de plagioclasa: $(\underline{Na},Ca)(Si,Al)_3O_8$	ICDD 04 015 9838 ICSD 98 010 0868	96 4	Cristalinidad alta, sin arcillas.
DRX2	3178	Dolomita: $(CaMg(CO_3)_2$ Calcita (no magnesiana): $CaCO_3$ Cuarzo: SiO_2	ICSD 98 018 5044 ICDD 01 086 4274 ICDD 01 009 8934	37 62 1	Cristalinidad alta, sin arcillas.
DRX3	3180	Calcita: $CaCO_3$ Trazas de plagioclasa: $(\underline{Na},Ca)(Si,Al)_3O_8$	ICDD 01 086 4274 ICDD 98 010 0868	97 3	Cristalinidad alta, sin arcillas.
DRX4	3185	Dolomita: $(CaMg(CO_3)_2$ Trazas de plagioclasa: $(\underline{Na},Ca)(Si,Al)_3O_8$	ICDD 04 015 9838 ICSD 98 010 0868	95 5	Cristalinidad alta, sin arcillas. Muy similar a la muestra 1007.

formación citada originalmente en un informe (inédito). Sobre la caliza Cantelhá está el miembro Jolpabuchil, que Quezada-Muñetón (1987) parafrasea de la siguiente forma "una caliza gris claro, gris obscuro y gris acero, litográfica, criptocristalina, densa y compacta, de fractura concoidal bien estratificada, en capas delgadas, con bandas y nódulos de pedernal, de edad Turoniano-Coniaciano". La sección de referencia Jolpabuchil aflora en el arroyo del mismo nombre, "a 11 km al oeste del poblado Yajalón, Chiapas" y 4 km al SSW de Petalcingo, Chiapas (carta topográfica INEGI, E15D42). Sánchez-Montes de Oca (1979) publicó que los miembros Cantelhá y Cintalapa ("elevados al rango de formaciones en informes de PEMEX"), constituyen parte de un grupo, al que se refiere como Grupo Sierra Madre, sin dar detalles estratigráficos para designar localidades de las secciones tipo, relaciones estratigráficas, ni fundamento al protocolo del Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010). Las localidades de Oxchuc y Tapijulapa (Figura 1) descritas por Quezada-Muñetón (1987), son importantes como secciones de referencia para las unidades Cantelhá y Jolpabuchil. La primera localidad describe, sin conocer su base, "~835 m de la Formación Cantelhá, compuesta por estratos de dolomías con horizontes delgados de bentonita", sobre esta litología hay "en concordancia 45 m de lutita gris verdosa con capas delgadas de caliza wackeston y packstone de pellas e intraclastos, de color café claro y carpetas microbianas con *Valvulamina* sp., *Favusella scitula*, *Calciesphaerula innominata*". Esta asociación fue considerada por Quezada-Muñetón (*op. cit.*) como edad Albiano Superior. A su vez, esta litología es cubierta en discordancia por la Formación Angostura.

La segunda localidad Quezada-Muñetón (*op. cit.*) describe que la Formación Cantelhá subyace concordante a la "Formación Jolpabuchil" (elevada de rango), como posible sección condensada, constituida por ~8 m de caliza wackestone con *Rotalipora cushmani*, *Globigerinelloides bentonensis* con laminación y vegetales carbonosos, nódulos y bandas de pedernal negro con 2.5 cm a 15 cm de espesor. En ascenso estratigráfico hay ~4.5 m de litología similar a la anterior, con fragmentos de los fósiles arriba señalados y adición de *Marginotruncana indica*, *Claviedbergella simplex* y *Witeinella inornata*, sucedida por ~11.3 m de capas de litología similar, en estratos de 15 a 45 cm de espesor, con *Marginotruncana angusticarinata*, *M. renzi* y *M. coronata*. La microfauna sitúa estos intervalos en Cenomaniano-Coniaciano. Sobre

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

la sección descrita yace una litología similar con ~250 m, con microfauna que data a estas rocas en el Santoniano y parte del Campaniano. Es necesario señalar que Quezada-Muñetón (1987) relata que hay secciones estratigráficas de la Formación Jolpabuchil (facies de cuenca) con brechas de talud intercaladas en la sucesión (secciones Puxcatán I, Puxcatlán II y otras localidades más), brechas derivadas de una plataforma de facies lagunar (posiblemente isócrona a la sucesión Cintalapa, Figura 9).

Aportaciones relevantes son los trabajos de Castro-Mora *et al.* (1975, unidades 24 y 25) y de Waite (1983, unidades 4-6), estos trabajos identifican el Cenomaniano en las unidades situadas en la parte media del Grupo Sierra Madre (Figura 1). La descripción detallada de la sucesión estratigráfica referida como X publicada por Steele y Waite (1986), carece de ubicación precisa, está en la Reserva de la Biosfera el Ocotal y en este trabajo no fue posible localizar el afloramiento en el campo. Rosales-Domínguez *et al.* (1994) con microscopía petrográfica proponen que en tres afloramientos de la Caliza Sierra Madre hay *Microcodium*, sin evidencia litológica de karst o paleosuelo en los intervalos muestreados.

Rosales-Domínguez *et al.* (*op. cit.*) señalan que *Microcodium* es indicativo de ambiente de exposición subaérea, que, de acuerdo con el conjunto de foraminíferos, se interpreta como un hiato durante el Cenomaniano Superior-Turoniano. Al respecto, la microfacies de *Valvulamminidos-Microcodium* se vinculó con las unidades 26 y 27 de Castro-Mora *et al.* (1975). Esta discordancia posiblemente sea equivalente a la reportada en el Cañón del Sumidero entre las unidades 7 y 8 de Zavala Moreno (1971). Mandujanos-Velázquez (1996) describe que la parte central y oriental de la Sierra de Chiapas está integrada por una megasecuencia del Albiano-Campaniano, con dos secuencias estratigráficas de tercer orden, formadas por rocas carbonatadas, Cantelhá-Cintalapa y Jolpabuchil. En esta concepción marca el contacto inferior de Cantelhá sin discordancia con las formaciones San Ricardo y Jericó. Mientras que el contacto superior de Cintalapa y Jolpabuchil es discordante con la Formación Ocozocuautla, existiendo relaciones estratigráficas confrontadas con trabajos previos.

Adicionalmente, Mandujanos - Velázquez (1996) no considera la existencia de rocas generadoras de hidrocarburos en esta megasecuencia, contrario a los datos que este trabajo aborda. Cros *et al.* (1998), mediante la correlación de secciones regionales, plantearon la evolución de la plataforma carbonatada de Chiapas. Su trabajo es relevante por la descripción litológica que refiere packstones-floatstone, pedernal y contenido fosilífero planctónico de posible edad Cenomaniano en la sección Piedra Parada (unidades PP-U4a - PP-U4c), con 78 m de espesor, sus características son coincidentes con las observaciones de las unidades 24-25 de Castro Mora *et al.* (1975) y unidades 4-6 de Waite (1986). Este intervalo estratigráfico del Cenomaniano no fue observado por Cros *et al.* (1998) en las secciones Guadalupe Victoria y Julián Grajales, que el presente trabajo aquí lo identifica. Vega *et al.*, (2006) situaron las capas El Espinal en el Albiano Inferior, sin embargo, los datos estratigráficos aportados por este trabajo y la fauna de actinopterigios fósiles (*Macrosemiocotzus* sp., *Paraclupea* sp. *Saurorhamphus* sp. y *Triplomystus applegatei*) de esta localidad ha sido relacionada con yacimientos de edad Cenomaniano, como la Formación Namoura en el Líbano, así mismo, reportados en la base de la "Formación Cintalapa" en México (Alvarado-Ortega *et al.*, 2009; Moreno-Bedmar *et al.*, 2014; Than-Marchese *et al.*, 2021). La inclusión de los estratos El Chango en la "Formación Cintalapa" del Grupo Sierra Madre, como lo proponen Moreno-Bedmar *et al.* (2014), se aparta del protocolo sugerido para su designación en el Código Estratigráfico Norteamericano (Barragán *et al.*, 2010).

Las secciones estratigráficas presentadas en este trabajo describen litologías particulares para identificar a las sucesiones estratigráficas Cantelhá, El Chango y Cintalapa. La Figura 3 representa columnas estratigráficas y litologías de la sucesión Cantelhá, en localidades específicas, con una correlación apropiada y relaciones estratigráficas

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

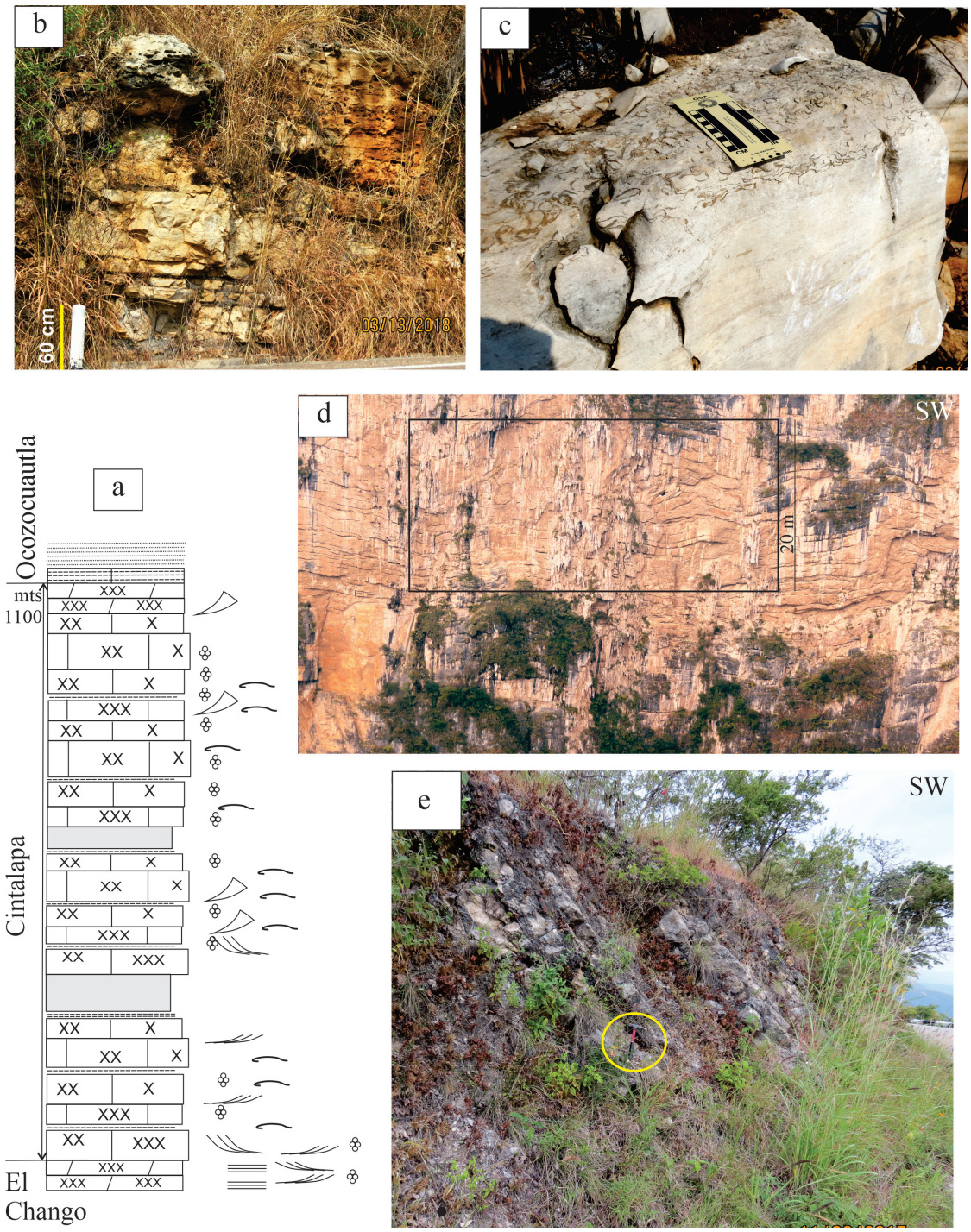


Figura 8 a. Características litológicas generales de la sucesión Cintalapa entre los poblados El Parral y Julián Grajales. Simbología en leyenda de la figura 5. b-c. Capas gruesas y delgadas con numerosos fósiles bentónicos alternan con lutita y limolita, afloran aledañas en la carretera entre El Parral y Julián Grajales. d. Montículos biogénicos decamétricos de la sucesión Cintalapa, mirador Los Chiapa en el Parque Nacional Cañón del Sumidero. e. El contacto estratigráfico con la Formación Ocozocuautla es gradual y concordante como se describe en el texto. Martillo de escala.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

distintivas. La base de las secciones identifica una superficie irregular que corresponde a una discordancia erosiva sobre las formaciones San Ricardo y Jericó (Cretácico Inferior acorde a Castro-Mora *et al.*, 1975). En el SW de Guerrero, Michoacán, centro y SW de Oaxaca las calizas del Cretácico (Medio) están en discordancia angular sobre estratos más antiguos (Burckhardt, 1930; Pantoja-Alor, 1959), esta discordancia puede ser registrada en Chiapas de acuerdo con los datos aquí expuestos. El ambiente de depósito de la sucesión Cantelhá representa facies lagunares de una plataforma carbonatada restringida (facies 7 y 8 del modelo de Wilson, 1975), con crecimiento agradacional en equilibrio con la subsidencia, lo que dio el espacio de acomodo para acumular ~1400 m de espesor. La cima de la sucesión estratigráfica Cantelhá en las secciones estudiadas de El Parral, El Chango, El Espinal y El Recuerdo (km 78 carretera de cuota a Ocozocuautla-Jiquipilas), es un paso gradual de dolomía, caliza grainstone y packstone, en capas gruesas, hacia estratos delgados y laminares de dolomía, con tapetes microbianos y marga.

Las capas de la sucesión El Chango son mayormente delgadas con laminación particular. El olor fétido, con abundante material fósil corresponde exclusivamente a las capas El Chango, litología y características que individualizan a los estratos El Chango, de las sucesiones Cantelhá y Cintalapa. Inexplicablemente las relaciones estratigráficas entre las formaciones Cantelhá y Cintalapa en trabajos previos no fueron definidas y no se describieron o identificaron sus contactos. El análisis de difracción de Rx en estratos El Chango muestra estrecha similitud mineralógica entre sí, con ~95% de dolomita y ~5% de andesina o sílice, estos datos sugieren la correlación mineralógica estrecha de estas secciones (Tabla 1).

La controversia de edad de las capas El Espinal y El Chango en trabajos previos complica la correlación estratigráfica y alcance bioestratigráfico del contenido taxonómico fósil. La edad Cenomaniano de este depósito dado por *Graysonites* sp., (Moreno-Bedmar, *et al.*, 2014), *Rotalípora apenninica* y *Rotalípora cushmani* (Castro-Mora *et al.*, 1975; Steele y Waite, 1986), se correlaciona con la base de la Formación Jolpabuchil en las secciones Oxchuc y Tapijulapa (Quezada-Muñetón, 1987). A su vez, los taxones de actinopterigios fósiles, entre ellos; *Triplomystus applegatei*,*Macrosemiocotzus americanus*, *Sapperichthyus chiapanensis*, *Scombroclupea javieri* y *Saurorhamphus* sp., provienen de las capas de la cantera El Chango, con edad Cenomaniano (Alvarado-Ortega y Ovalles-Damián, 2008; Alvarado-Ortega *et al.*, 2009; Amaral *et al.*, 2013; Than-Marchese *et al.*, 2020, 2021). Por lo descrito, *Roemerus robustus* en la cantera El Espinal es Cenomaniano, pero posiblemente este fósil tiene un alcance estratigráfico más amplio. Las capas ubicadas en la sucesión El Chango tienen superficies de erosión que sugieren discordancias internas, canales y brechas (rudstone), esto puede interpretarse como provocadas por tormentas, hiato o diastemas, interrupciones en la sedimentación reportadas previamente con posible similar edad y posición estratigráfica en otras secciones (Zavala-Moreno, 1971; Rosales-Domínguez *et al.*, 1984), por lo que es necesario realizar a futuro un análisis minucioso a este intervalo. La base de la sección de Tapijulapa (Cenomaniano) puede correlacionarse con la sucesión El Chango. La correlación de las capas El Chango con otras localidades similares en el área de este trabajo permitió elaborar un mapa geológico para conocer la distribución de las unidades estratigráficas que constituyen al Grupo Sierra Madre (Figura 2).

Se interpreta que el ambiente sedimentario en que se depositó la sucesión El Chango es en una plataforma abierta, de tipo rampa (Ahr, 1973), con cambios batimétricos oscilantes al existir superficies de erosión y canales rellenos por brechas rudestone, estratos intercalados de caliza wackestone, packstone y grainstone, así como carpetas microbianas con litoclastos redepositados. La presencia de plagioclasa (andesina) en difracción de rayos X, sugiere posible procedencia de rocas ígneas pre-existentes. Adicionalmente, hay aporte terrígeno fino y fragmentos de plantas fósiles proviene de un área posiblemente continental sujeta a erosión. Ammonites y foraminíferos planctónicos

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

son indicios de comunicación con facies de mar abierto (Figura 9). Estas características sugieren un evento transgresivo que ahogó a la plataforma e inhibió el depósito lagunar previo.

El contacto superior entre las sucesiones El Chango y Cintalapa es un cambio litológico gradual (Figura 5). Los estratos laminares de la sucesión El Chango decrementan en espesor, mientras que, el espesor de caliza wackestone y packstone aumenta y se amalgama en cuerpos gruesos en la sucesión Cintalapa, la descripción de la litología Cintalapa ha sido realizada con gran detalle por Castro Mora *et al.* (1975, unidades 26-27), Steele y Waite (1986, unidades 7-11 de Waite) y Cros *et al.* (1998, unidades U2c-d y U3) y se remite al lector para su mejor consulta, en este trabajo se presenta una sección litológica generalizada (Figura 8).

La edad de la sucesión Cintalapa se ubica por posición estratigráfica y contenido paleontológico, entre el Turoniano (*Mariginotruncana marianosi*, *Praeglobotruncana stephani*, *Valvulammina* sp., *Caucasina* sp., *Nezzazata* sp.) y el Santoniano (*Dicyclina schlumbergeri*, *Massilina* sp., *Pseudochrysaldina* sp., *Sauvagesia* sp. y *Whiteinella archeocretacea*). La sucesión Cintalapa de este trabajo se correlaciona en edad Turoniano-Campaniano de la Formación Jolpabuchil de la sección Tapijulapa descrita por Quezadas (1987), por lo que representa un cambio de facies de ambiente lagunar a facies de cuenca entre estas localidades (Figura 9).

4.1. POSIBILIDADES PETROLERAS

El Sistema Petrolero está formado por los elementos de las rocas generadora, almacén, sello y la trampa (estratigráfica y/o estructural), así como los procesos de sepultamiento, expulsión y sincronía, que forman un yacimiento de rendimiento económico (Magoon, 1988; Tisot y Welte, 1984). En el área de estudio se observó que las sucesiones Cantelhá, El Chango y Cintalapa, tienen porosidad intercristalina desarrollada en dolomía, en caliza de texturas wackestone, packstone, grainstone y en carpetas microbianas, en estas rocas hay porosidad móldica, vugular, fenestral e intersticial, así como hay porosidad en ortobrechas y caliza rudstone. La porosidad móldica tiene asfalto impregnado en la oquedad del poro. Estas características cualitativas sugieren que las rocas carbonatadas son rocas almacén potenciales.

Las capas El Chango al romperse despiden olor a hidrocarburos, tienen tapetes microbianos (Figura 10a y 10b) y materia orgánica dispersa, el material arcilloso es variable y hay reportes de querógeno (Vega *et al.*, 2006). Bajo el microscopio

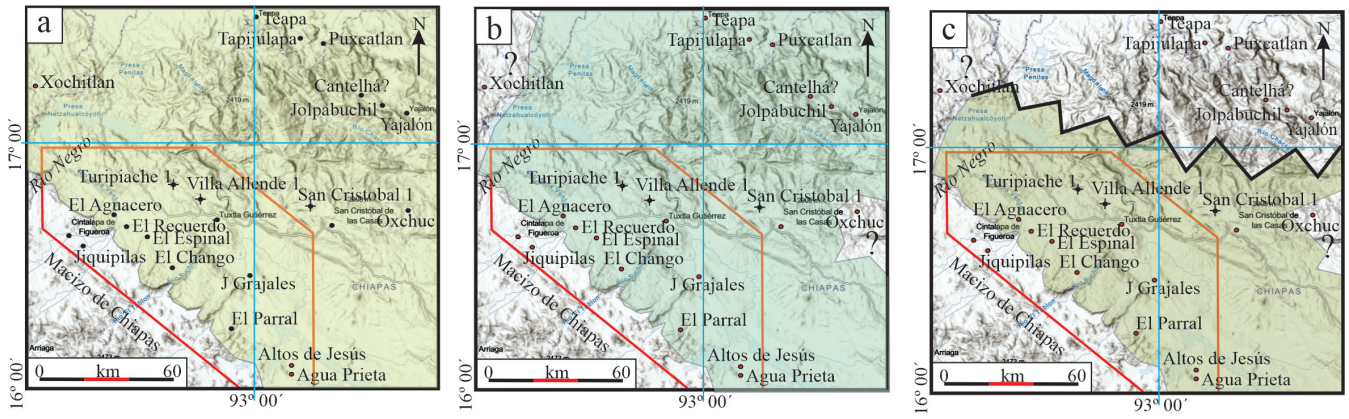


Figura 9 a. Distribución de facies lagunares para la sucesión Cantelhá. b. Distribución de facies transgresivas de plataforma abierta y cuenca, para las sucesiones El Chango y base de Jolpabuchil. c. Distribución de facies lagunares para la sucesión Cintalapa, al sur, y el cambio de ambiente a cuenca de Jolpabuchil, al norte.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

petrográfico se pueden observar una serie de texturas de tipo bindstone con tapetes microbianos (Figura 10c). Estos tapetes atrapan una serie de intraclastos micríticos de angulosidad variada y forman porosidad fenestral (Figura 10d). Bajo epifluorescencia hay la presencia de compuestos orgánicos y texturas micríticas coaguladas sugerentes de la actividad microbiana (Figura 10e). Estas características dieron el criterio para hacer su análisis geoquímico. Datos preliminares de pirólisis (Figura 11a), en dos muestras de microdolomía de las capas El Chango, tienen valores de 0.22% y 0.20% de carbón orgánico total (COT % peso), S2 de 0.13 y 0.16 (mgHC/g) roca y ~60.5 de índice de hidrógeno (IH). Cabe señalar que las muestras son insuficientes para dar un dictamen definitivo, por consiguiente, aquí se presentan los primeros datos geoquímicos y mineralógicos cuantitativos para evaluar a estas rocas. En la literatura hay diferentes criterios para evaluar a una roca generadora por el contenido mínimo de COT.

Peter y Cassa (1974) y Tissot y Welte (1984) argumentan que las rocas carbonatadas con < 0.5% tienen potencial petrolero pobre para generar hidrocarburos, no obstante, otros criterios (Junqing-Chen *et al.*, 2018) consideran que 0.2% de COT en rocas carbonatadas son generadoras, como sucede en la cuenca Tarim, China, cuenca en la que se argumenta que rocas carbonatadas que actualmente contienen porcentaje bajo de COT, pudieron haber tenido COT alto en el pasado, valor modificado durante la transformación y expulsión de los hidrocarburos por evolución térmica (Pang *et al.*, 2014). Los valores de temperatura máxima de pirólisis (Tmax 460°C) obtenidos en las muestras analizadas sugiere que estas rocas tienen una madurez de reflectancia

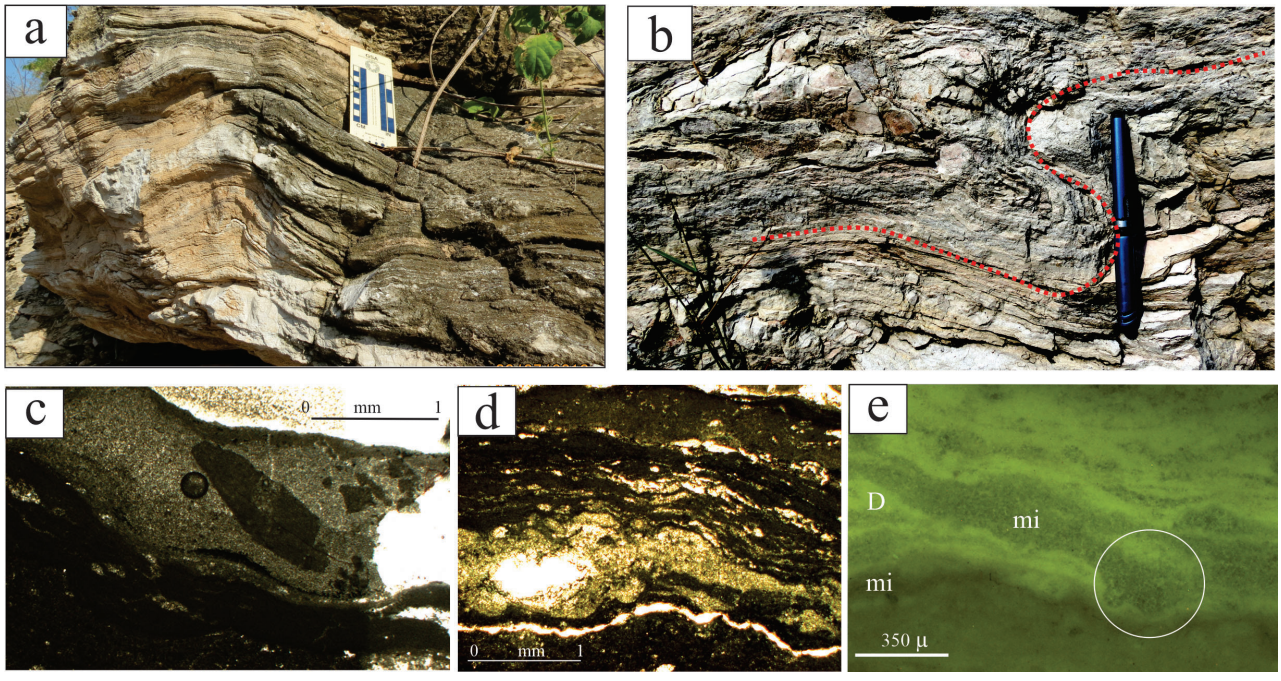


Figura 10 **a-b. Estratos laminares con tapetes microbianos con variable contorsión en estratos de la sucesión El Chango, localidad km 87 carretera de cuota Ocozocuautla - Jiquipilas. c. Con microscopio petrográfico hay rudstone de microbialitas con imbricación de intraclástos micríticos. d. Bindstone de microbialitas separadas en las que alternan capas micríticas densas y capas de porosidad fenestral en la que se desarrollan mosaicos laminares de dolomita. d. Textura de micrita coagulada en microbialita (mi y círculo blanco) y materia orgánica dispersa en dolomía. e. Nótese que la mayor concentración de compuestos orgánicos se encuentra dentro de la porosidad fenestral que crean los tapetes microbianos observada con epifluorescencia en microscopio petrográfico.**

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

equivalente (Req) entre 0.7 y 1.0, lo que pudieran estar en la ventana de generación del aceite y gas metagénico.

Este trabajo aplicó el modelo de Ibach (1982), que correlaciona la velocidad de sedimentación y el tipo de sedimento, para inferir el COT conservado de rocas marinas antiguas (Figura 11b). Así, el espesor acumulado de roca de ~72.5 m durante 6.6 Ma de acumulación, puede definir una velocidad de sedimentación de ~11 m/Ma, que, aplicado al modelo, infiere un COT original de ~0.8% (Figura 11c). Esta relación y su interpretación puede depender del origen de la materia orgánica y tener diferentes variables (Katz y Fang Li, 2021). Las relaciones atómicas H/C y O/C infieren que el querógeno procede de materia orgánica de tipo II (marina), congruente con las características litológicas observadas con tapetes microbianos de las rocas analizadas aquí. En la literatura los valores de S2 menores de 0.2 mg HC/g descartan el potencial generador y hace cuestionable la expulsión y carga de hidrocarburos (Peters, 1986), más no excluye condenar el potencial petrolero de una vasta región con los limitados datos aquí aportados, la exploración es obtener datos, indagar con optimismo y realismo los recursos naturales, por ello, basados en los resultados analíticos obtenidos de un mínimo número de muestras con los recursos de este trabajo, se requiere mayor investigación.

La Formación Ocozocuautla tiene lutita y limolita con espesores gruesos que hacen de esta unidad una potencial roca sello regional. Por otro lado, el cambio de facies entre las facies de cuenca y lagunar de la sucesión Cintalapa puede generar trampas estratigráficas, asimismo, hay estructuras y fallas que pueden ser trampas estructurales convenientemente sepultadas aledañas al área de estudio. Técnicas adicionales como petrografía orgánica y conteo maceral permiten, con mayor precisión, cerrar la brecha de la estimación del %Ro, la distribución del origen de la materia orgánica e inferir la profundidad máxima de enterramiento de las capas El Chango, así como estimar la erosión en el área de estudio.

De acuerdo con el espesor de rocas que afloran en el área, se especula que las capas El Chango pudieron estar sepultadas a ~4000 m de profundidad, en un lapso comprendido en tiempo entre el Turoniano y Eoceno. El asfalto observado en poros de rocas carbonatadas infiere que hay migración de hidrocarburos desde una roca generadora hacia la roca reservorio. Los datos descritos sugieren la existencia de elementos y procesos que entran en juego (*play*) para cuestionar la existencia de un sistema petrolero. Se requiere mayor densidad de muestras, análisis geológico y modelado, para evaluar convenientemente el *play* hipotético en las rocas de este trabajo.

5. Conclusiones

Este trabajo identifica la distribución regional de una litología distintiva, formada por una sucesión de rocas carbonatadas que se designa sucesión El Chango, con fósiles pelágicos del Cenomaniano, su litología separa a dos sucesiones estratigráficas de ambiente lagunar, mismas que han recibido impropiamente el rango de formación y son ampliamente citadas en la literatura con los nombres de Cantelhá en la base y Cintalapa en la cima. Las tres sucesiones son un conjunto que se conoce en el léxico estratigráfico como Grupo Sierra Madre. El reconocimiento de la sucesión estratigráfica del Cenomaniano admite hacer una cartografía geológica apropiada que este trabajo aporta, adicionalmente, permite hacer la correlación y distribución de facies para las sucesiones estratigráficas de este grupo. Análisis de pirólisis de muestras en la sucesión El Chango sugieren la existencia de una roca generadora potencial que requiere más estudio. Además, hay porosidad de diferentes tipos en rocas de facies lagunares, así mismo, hay pliegues, fallas y cambios de facies que sugieren la existencia de trampas y sobre éstas, yacen rocas sello de extensión regional. Impregnación de hidrocarburos en rocas porosas indican la migración y expulsión de petróleo como procesos favorables a un hipotético *play* petrolero que se recomienda estudiar en el futuro.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

a

Muestra	S1 mgHC/g	S2 mgHC/g	PI	Tmax ºC	S3(mg/g)	COT % peso	HI	OI
1015	0.02	0.13	0.15	460	0.06	0.22	62	29
1007	0.01	0.16	0.07	461	0.02	0.20	59	8

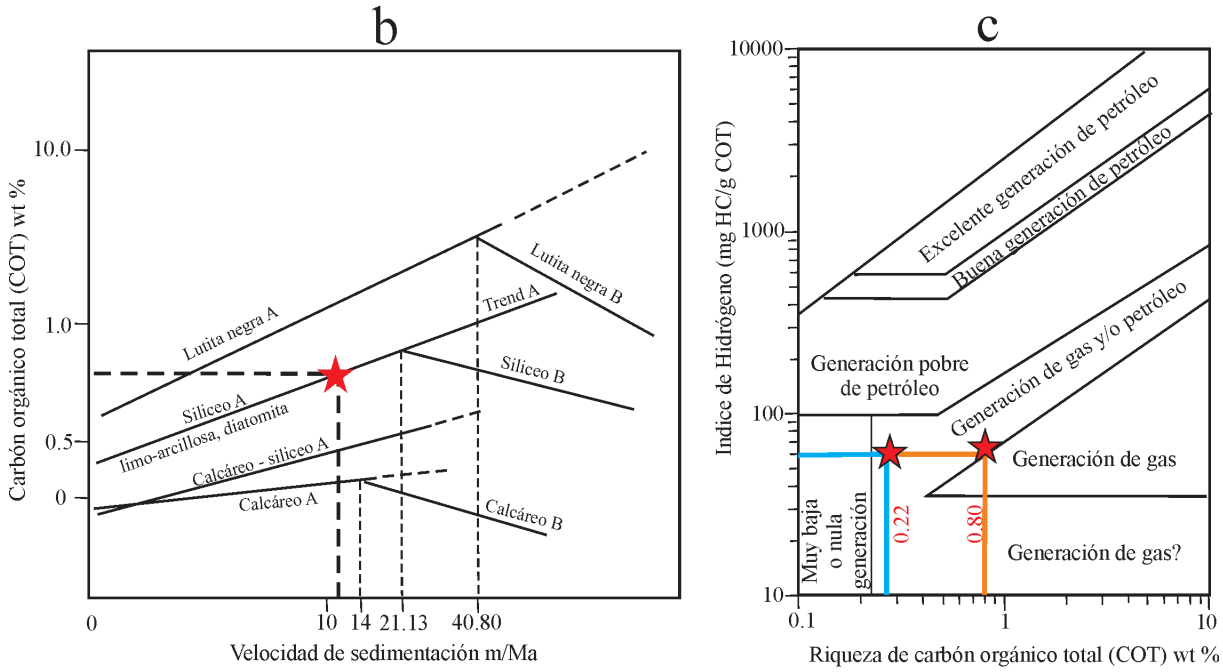


Figura 11 **a. Datos geoquímicos de pirólisis de las capas El Chango. b-c. Relaciones entre celeridad de sedimentación (metros) por tiempo (millones de años), tipos de roca y ambiente de depósito y IH/COT, de acuerdo con el modelo de Ibach (1972). Explicación en el texto.**

Contribución de los autores

La adquisición de datos en campo, integración, análisis, conceptualización del tema, desarrollo técnico y redacción del manuscrito preliminar, diseño gráfico e interpretación fue elaborado por el autor. La petrografía al microscopio fue labor del Dr. Rafael López Martínez. Análisis de pirólisis, sus resultados e interpretación fue el aporte del Dr. Luis Camacho Obregón en conjunto con el autor. Drs. Bruno Andrés Than-Marchese y Luis Enrique Gómez Pérez colaboraron en el campo e intercambio de ideas in situ, asimismo, contribuyeron con datos paleontológicos. La revisión y contribución al texto final fue labor de todos los participantes de este trabajo.

Financiamiento

No hubo financiamiento externo, el primer autor financió los trabajos de campo y análisis de difracción de rayos X.

Agradecimientos

Se agradece a los revisores de este trabajo Dr. Claudio Bartolini y otro incógnito, sus valiosas opiniones para mejorar lo expuesto en este trabajo. Al Ing. Sergio Vela Noriega que realizó los análisis de pirólisis en el Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas de la Universidad Autónoma de Coahuila campus Nueva Rosita. A los Drs. Alejandro Morelos y Demetrio Santa

María por sus comentarios preliminares a los datos de pirólisis aquí descritos. A la Dra. Teresa Pi Puig por las observaciones dadas a los datos de difracción de rayos X. El Dr. Bruno Andrés Than-Marchese agradece al Programa de Doctorado en Biodiversidad y Conservación de Ecosistemas Tropicales de la UNICACH, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca doctoral (Beca 747984, CVU: 660483). Al equipo editor de este Boletín por el esmerado trabajo que realiza.

Conflicto de intereses

Se declara que no existe conflicto de intereses para publicar este trabajo.

Referencias

Ahr, W.M., 1973, The Carbonate Ramp: An Alternative to the Shelf Model, Transactions-Gulf Coast Association of Geological Societies, 23, 221-225.

Alvarado-Ortega, J., Ovalles-Damián, E., 2008, *Triplomystus applegatei*, sp. nov. (Teleostei: Ellimmichthyiformes), a rare "Triple armored herring" from El Espinal Quarry (Early Cretaceous), Chiapas, Southeastern Mexico. Journal of Vertebrate Paleontology, 28: 53–60. https://doi.org/10.1671/0272-4634(2008)28[53:TASNTE]2.0.CO;2

Alvarado-Ortega, J., Ovalles-Damian, E., Blanco-Piñón, A., 2009, The fossil from the Sierra Madre Formation, Ozocuautla, Chiapas, Southern Mexico; Paleontología Electrónica, 12 (2), 1-22.

Alvarado-Ortega, J., Than-Marchese, B.A., 2012, A Cenomanian aipichthyoid fish (Teleostei, Acanthomorpha) from America, *Zoqueichthys carolinae* gen. and sp. nov. from El Chango quarry (Cintalapa Member, Sierra Madre Formation), Chiapas, Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29 (3), 735e748.

Alvarado-Ortega, J., Than-Marchese, B.A., 2013, The first record of a North American Cenomanian Trachichthyidae fish (Acanthomorpha, Acanthopterygii), Pepemkay maya, gen. et sp. nov., from El Chango Quarry (Sierra Madre Formation), Chiapas, Mexico: Journal of Vertebrate Paleontology, 33 (1), 48e57. https://doi.org/10.1080/02724634.2012.712585

Álvarez, M. Jr., 1949, Unidades Tectónicas de la República Mexicana: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 14, 1-22. http://dx.doi.org/10.18268/BSGM1949v14n1a1

Amaral, C.R.L, Alvarado-Ortega, J., Brito, P.M., 2013, *Sapperichthys* gen. nov., a new gonorynchid from the Cenomanian of Chiapas, México, en Arriatia G, H.P., Schultze, M.V.H. Wilson (eds.), Mesozoic Fishes 5–Global Diversity and Evolution: München, Germany, Verlag Dr. Friedrich Pfeil.

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 p.

Blair, T.C., 1987, Tectonic and hydrologic controls on cyclic alluvial fan, fluvial, and lacustrine rift-basin sedimentation, Jurassic–lowermost Cretaceous Todos Santos Formation, Chiapas, Mexico: Journal of Sedimentary Petrology, 57, 845–862. https://doi.org/10.1306/212F8C83-2B24-11D7-8648000102C1865D

Blair, T.C., 1988, Mixed siliciclastic-carbonate marine and continental syn-rift sedimentation, Upper Jurassic-Lowermost Cretaceous Todos Santos and San Ricardo Formations, Western Chiapas, Mexico: Journal of Sedimentary Petrology, 58 (4), 623-636. https://doi.org/10.1306/212F8E09-2B24-11D7-8648000102C1865D

Bezouska, J.R., Wang, J., Mullins, O.C., 1998, Origin of limestone fluorescence: Applied Spectroscopy, 52 (12), 1606-1613.

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Böse, E., 1905, Reseña acerca de la geología de Chiapas y Tabasco: México: Boletín del Instituto Geológico, 20, 5-100.

Brennan, E.S., White, W.B., 2013, Luminescence of speleothems: a comparison of sources and environments: Journal of Cave and Karst Studies,75 (3), 210-217. http://dx.doi.org/10.4311/2012ES0280

Buitrón, B.E., 1977, Invertebrados (Crinoidea y Bivalvia) del Pensilvánico de Chiapas,: Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1 (1), 144-150.

Burckhardt, C., 1930, Etude syntetique sur le Mésozoïque mexicain: Memoires de la Société Paléontologique Suisse, L, 280.

Castro-Mora, J., Shleper, C., Martínez-Rodríguez, E., 1975, Estratigrafía y microfacies del Mesozoico de la Sierra Madre del Sur, Chiapas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 27 (1-3), 103.

Cros, P. Francois Michaud, Eric Fourcade and Jean-Jacques Fleury, 1998, Sedimentological evolution of the Cretaceous carbonate platform of Chiapas (Mexico): Journal of South American Earth Sciences, 11 (4), 311-332. https://doi.org/10.1016/S0895-9811(98)00022-4

Damon, P.E., Shafiqullah, M., ClarkL, K.F., 1981, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis: Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 5 (2), 223-238.

Díaz-Cruz, J.A., Alvarado-Ortega, J., Carbot-Chanona, G., 2019, *Dagon avendanoi* gen. and sp. nov., an Early Cenomanian Enchodontidae (Aulopiformes) fish from the El Chango quarry, Chiapas, southeastern Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 91, 272-284. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.01.014

Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in Ham, W.E. (ed.), Classification of Carbonate Rocks: American Association of Petroleum Geologist, Memoir 1, 108-121. https://doi.org/10.1306/M1357

González-Alvarado, J., 1963, Exploración Geológica del Arca Túmbala—Chilón, Chiapas: Informe Geológico 490, Petróleos Mexicanos, Zona Sur, 2 1 - 3 2. (Inédito).

Godínez-Urban, A., Lawton, T. F., Molina Garza, R. S., Iriondo, A., Weber, B., López-Martínez, M., 2011, Jurassic volcanic and sedimentary rocks of the La Silla and Todos Santos Formations, Chiapas: Record of Nazas arc magmatism and rift-basin formation prior to opening of the Gulf of Mexico: Geosphere, 7(1), 121-144. https://doi.org/10.1130/GES00599.1

Guerrero-Márquez, G., Calvillo-Canadell, L., Cevallos-Ferriz, S.R.S., Avendaño Gil, M.J., 2012, Angiospermas de la localidad El Chango (Aptiano-Campaniano) de Chiapas, México, in VI Jornadas Paleontológicas y I Simposio de Paleontología en el Sureste de México: 100 años de Paleontología, en Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Resúmenes, p. 26.

Gutiérrez-Gil, R., 1956, Geología del Mesozoico y Estratigrafía Pérmica del Estado de Chiapas, in 20th International Geological Congress, Guidebook, Excursión C-15: México, D.F., International Geological Congress, 15-23.

Hernández-García, R., 1973, Paleogeografía del Paleozoico de Chiapas, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 25, 79-134.

Herrera-Soto, M.E., Estavillo-González, C.F., 1991, Análisis estratigráfico y Modelo de sedimentación de la Formación Todos Santos en el área del alto Uzpanapa-Matías Romero, Oaxaca: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, 23 (1), 5-42.

Ibach, L.E.J., 1982, Relationship Between Sedimentation Rate and Total Organic Carbon Content in Ancient Marine Sediments: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 66 (2), 170–188.

https://doi.org/10.1306/03B59A5D-16D1-11D7-8645000102C1865D

Imlay, R.W., 1944, Cretaceous formations of Central America and Mexico: American Association of Petroleum Geologists: Bulletin, 28, 1077-1195. https://doi.org/10.1306/3D9336A8-16B1-11D7-8645000102C1865D

INEGI, Geografía y medio ambiente. https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/

Junqig-Chen, Xiongqi Pang, Hong Pang, 2018, Quantitative prediction model of present day low-TOC carbonate source rocks: Example from the Middle-uper Ordovician in the Tarim Basin: Energy Exploration & Exploitation, 2018, 36(5) 1335–1355. https://doi.org/10.1177/01445987187583

Katz, B.J., Fang Lin, 2021, Consideration of the limitations of thermal maturity with respect to vitrinite reflectance, Tmax, and other proxies: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 105, (4), 695–720. https://doi.org/10.1306/09242019261

Magoon, L.B., 1988, The petroleum system-A classification scheme for research, exploration, and resource assessment, in Magoon, L.B.a (ed.), Petroleum systems of the United States: U.S. Geological Survey Bulletin, 1870, 2-15.

Mandujanos-Velázquez, J., 1996, Cuatro megasecuencias de evolución litoestratigráfica en la Sierra de Chiapas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, XLV (1), 46-60.

Morán-Zenteno, D., 1984, Geología de la República Mexicana: Facultad de Ingeniería, UNAM, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 88 p.

Moreno-Bedmar, J.A., Latil, J.L., Villanueva-Amadoz, U., Calvillo, L., Cevallos Ferriz, F.R.S., 2014, Ammonite age-calibration of the El Chango Fossil-Lagersttätte, Chiapas State (SE Mexico): Journal of South American Earth Sciences, 56, 447- 453. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.022

Müllerried, F.K.G., 1936, Estratigrafía preterciaria preliminar del Estado de Chiapas: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 9, 31-41.

Nuttall, W.L.F., 1929, en Salas, G.P., 1949, El Cretácico de Mascupana y su Correlación: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, XIV, 47—65.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D. J., Solari, L., Weber, B., Luna-González, L., 2018, The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution: EarthScience Reviews, Elsevier, 183, 2–37. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.006

Pang XQ, Li QW, Chen JF., 2014, Recovery method of original TOC and its application in source rocks at high mature-over mature stage in deep petroliferous basins: Journal of Palaeogeography, 16 (6), 769–789.

Pantoja-Alor, J., 1959, Estudio geológico de reconocimiento de la Región de Huetamo, Estado de Michoacán: Consejo de Recursos Naturales No Renovables (SGM), 50, 1-36.

Peters, K. E., 1986, Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 70, 318-329. https://doi.org/10.1306/94885688-1704-11D7-8645000102C1865D

Peters, E.K., Cassa, M.R., 1974, Applied Source Rock Geochemistry, Chapter 5: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60, 93-120.

Pindell, J., Weber, B., Hale-Erlich, W., Cossey, S., Bitter, M., Molina Garza, R., Graham, R., Erlich, R.N., 2020, Strontium isotope dating of evaporites and the breakup of the Gulf of Mexico and Proto–Caribbean Seaway, in Martens, U., Molina Garza, R.S., (eds.), Southern and Central Mexico: Basement Framework, Tectonic Evolution, and Provenance of Mesozoic–Cenozoic Basins: Geological Society of America Special Paper 546. https://doi.org/10.1130/2020.2546(12)

http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2023v75n3a301023

Pindell, J., Villagómez, D., Molina-Garza, R., Graham, R., Weber, B, 2021, A revised synthesis of the rift and drift history of the Gulf of Mexico and surrounding regions in the light of improved age dating of the Middle Jurassic salt: Geological Society, London, Special Publications, Geological Society, London, 504 (1), 29–76. https://doi.org/10.1144/SP504-2020-43

Quezada-Muñetón, F.M., 1987, El Cretácico medio-Superior y el límite Cretácico Superior-Terciario inferior en la Sierra de Chiapas: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros, 39, 3-98.

Quezada-Muñetón, F.M., 1983, Las Formaciones San Ricardo y Jericó del Jurásico Medio-Cretácico Inferior en el SE de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 35 (1), 37-64.

Quintana-Delgado, J.A., 2021, Estudio petrogenético del basamento metamórfico proterozoico en la sierra del sur de Chiapas (municipio de Capitán Luis Ángel Vidal y alrededores): Baja California, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Tesis, 127 p.

Richards, H.G., 1963, Stratigraphy of earliest Mesozoic sediments in southeastern Mexico and western Guatemala: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 47, 1861-1870. https://doi.org/10.1306/BC743B6F-16BE-11D7-8645000102C1865D

Rosales Domínguez, M.C., Caus, E., Santana, J.B., Piña, M.A., 1994, Evidencias de exposición subárea en el Cretácico de Chiapas: primer reporte de Microcodium en la caliza sierra madre: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1, 1-15.

Schaaf, P., Weber, B., Weis, P., Groß, A., Ortega-Gutiérrez, F. y Köhler, H., 2002, The Chiapas Massif (Mexico) revised: New geologic and isotopic data and basement characteristics: Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie – Abhandlungen, 225 (1), 1-23. https://doi.org/10.1127/njgpa/225/2002/1

Salas, G.P., 1949, El Cretácico de Mascupana y su Correlación: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 14, 47-65.

Sánchez-Montes de Oca, R., 1979, Geología Petrolera de la Sierra de Chiapas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 31, (2 a 6), 67-96.

Steele, D.R., 1982, Physical stratigraphy and petrology of the Cretaceous Sierra Madre limestone, West-Central Chiapas, Mexico: University of Texas Arlington, Thesis, 174 p.

Steele, D.R., Waite, L.E., 1986, Contributions to the Stratigraphy of Sierra Madre Limestone (Cretaceous) of Chiapas, Part 1 and Physical stratigraphy and petrology of the Cretaceous Sierra Madre Limestone, westcentral, and Part 2, Biostratigraphy and paleoenvironmental analysis of the Sierra Madre Limestone (Cretaceous), Chiapas: Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín del Instituto de Geología, 102, 1-101.

Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984, Petroleum formation and occurrence (2d ed.): Berlin, Springer-Verlag, 699 p. https://doi.org/10.1007/978-3-642-87813-8

Than-Marchese, B.A., Alvarado-Ortega, J., Matamoros, W.A., Velázquez-Velázquez, E., 2020, *Scombroclupea javieri* sp. nov., enigmatic Cenomanian clupeomorph fish (Teleosti, Clupeomorpha) from the marine deposits of the Cintalapa Formation, Ocozocoautla, Chiapas, southeastern Mexico: Cretaceous Research, 112, 104448. https://doi.org/10.1016/j.cretres.2020.104448

Than-Marchese, B.A., Díaz-Cruz, J.A., Alvarado-Ortega, J., 2021, Los peces actinopterigios del Cenomaniano de Chiapas y sus relaciones biogeográficas, in Estudios sobre la biodiversidad tropical mexicana: conservación y aprovechamiento sustentable: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Instituto de Ciencias Biológicas, 157-198.

Torres-Martínez, M.A., Barragán, R., Sour-Tovar, F., González-Mora, S., 2017, Depositional paleoenvironments of the Lower Permian (upper Cisuralian) carbonate succession of Paso Hondo Formation in Chiapas State, southeastern Mexico: Journal of South America Earth Sciences, 79, 254-273. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.08.018

Torres, R., Ruiz, J., Patchett, P.J., Grajales, J.M., 1999, Permo-Triassic continental arc in eastern Mexico: Tectonic implications for reconstructions of southern North America: Special Paper of the Geological Society of America, Geological Society of America, 340, 191–196. https://doi.org/10.1130/0-8137-2340-X.191

van Beynen, P., Bourbonniere, R., Ford, D., Schwarcz, H., 2001, Causes of color and fluorescence in speleothems: Chemical Geology, 175 (3-4), 319-341. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00343-0

Vega, F.J, García-Barrera, P., Perrilliat, M. C., Coutiño, M.A., Mariño Pérez, R., 2006, El Espinal, a new plattenkalt facies locality from the Lower Cretaceous Sierra Madre Formation, Chiapas, southeastern Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 23, 323-333.

Vega, F.J., Alvarado-Ortega, J., Luque, J., Porras-Múzquiz, H., Carbot-Chanona, G., González-Rodríguez, K., Cevallos-Ferriz, S., Ifrim, C., 2022, Cretaceous Crustacea from plattenkalk deposits of Mexico: Journal of South American Earth Sciences, 116, 103839. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103839

Ver Wiebe, W.A., 1925, Geology of southern Mexico oil fields: Pan American Geology, 94, 121-138.

Waite, L.E., 1983, Biostratigraphy and Paleoenvironment analysis of Sierra Madre limestone (Cretaceous), Chiapas, Southern Mexico: Arlington, University of Texas, Master These, 192 p.

Weber, B., Gruner, B., Hecht, L., Molina-Garza, R., Köhler, H., 2001, El descubrimiento del basamento metasedimentario en el Macizo de Chiapas: La Unidad Sepúltura: GEOS, 22 (1), 2-11.

Weber, B., Iriondo, A., Premo, W. R., Hecht, L., Schaaf, P., 2007, New insights into the history and origin of the southern Maya block, SE México: U-Pb-SHRIMP zircon geochronology from metamorphic rocks of the Chiapas massif: International Journal of Earth Sciences, 96, 253-269. https://doi.org/10.1007/s00531-006-0093-7

Wilson, J.L., 1975, Carbonate Facies in Geologic History: New York, Springer-Verlag, 971 p. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-6383-8

Zavala-Moreno, J.M., 1971, Estudio geológico del proyecto hidroeléctrico Cañón del Sumidero, Río Grijalva, Estado de Chiapas: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 23, 1-92.