

CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA BIOESTRATIGRAFÍA, PALEOECOLOGÍA Y TECTÓNICA DEL JURÁSICO (ANTICLINORIO DE HUAYACOCOTLA) EN LA REGIÓN DE MOLANGO, HIDALGO, MÉXICO

Héctor R. Ochoa-Camarillo¹,
Blanca Estela Buitrón^{1,2} y
Alicia Silva-Pineda¹

RESUMEN

En afloramientos de la región de Molango, en el Estado de Hidalgo, el Jurásico Inferior está representado por la Formación Huayacocotla, que consta de tres miembros. El miembro inferior está formado por conglomerado, arenisca, limolita y lutita con exoclastos que contienen fusulínidos y crinoides retrabajados y se caracteriza por la ausencia de fósiles autóctonos. El miembro intermedio está constituido por conglomerado, arenisca, limolita y lutita, con amonites (*Arietites*, *Arnioceras*). El miembro superior está formado por arenisca, limolita, lutita y conglomerado; se caracteriza por la presencia de plantas fósiles continentales (*Phlebopteris*). Se desconoce la relación estratigráfica de las rocas del Jurásico Inferior con las del Paleozoico. El contenido de amonites en la parte intermedia, indica un ambiente marino, y el de arenisca, lutita y limolita con plantas continentales en la parte superior, denota un cambio de ambiente marino a continental.

El Jurásico Medio está representado por dos unidades: las capas rojas de la Formación Cahuwasas que, por su similitud litológica con la Formación La Joya, se infiere se depositara en una planicie aluvial continental arriba de la línea de supramarea, y por la Formación Tepéxic, caracterizada por su contenido de caliza arenosa, marga y lutita con trigonias (*Vaugonia*, *Myophorella*) y ostreas (*Gryphaea*, *Ostrea*). Se encuentra descansando en discordancia angular sobre el Jurásico Inferior. La unidad se depositó en un ambiente marino, somero.

El Jurásico Superior comprende a las formaciones Santiago, Chipoco y Pimienta. La primera consiste en limolita negra y calcárea, y escasas capas de caliza negra con amonites (*Reineckeia*) y ostreidos; descansa concordantemente sobre la Formación Tepéxic y en el área de Huiznopala sobre el Gneis Huiznopala; su composición limolítica calcárea y la ausencia de fósiles en la parte media, señalan que se depositó en condiciones marinas tranquilas, reductoras, en facies de cuenca. La Formación Chipoco está constituida por cuatro miembros: (1) caliza manganesífera con intercalaciones de lutita calcárea; (2) arenisca calcárea con intercalaciones de lutita calcárea arenosa; (3) limolita y lutita calcárea con intercalaciones de caliza arcillosa; (4) caliza interestratificada en forma rítmica con lutita negra. Es común encontrar concreciones con amonites (*Idoceras*, *Glochiceras*). Yace concordantemente sobre la Formación Santiago y se depositó en facies de cuenca. La Formación Pimienta está formada por caliza negra con intercalaciones rítmicas de lutita negra con nódulos y lentes de pedernal y amonites. Se encuentra concordante y transicionalmente sobre la Formación Chipoco, con excepción del área de Ixtapala, donde descansa directamente sobre el basamento. Encima, en contacto transicional, se halla la Formación Tamaulipas Inferior (Cretácico Inferior). El ambiente de depósito es pelágico (facies de cuenca).

Entre los eventos tectónicos que señalan las observaciones de campo, se encuentra una fase de extensión durante el Jurásico Inferior y Medio que propició la formación de fosas y pilares tectónicos delimitados por fallas normales. En el Jurásico Medio continúa la formación de las fosas y pilares tectónicos que son evidenciados por la terminación brusca de los lechos rojos de la Formación Cahuwasas. Las rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas fueron plegadas durante el Cretácico Tardío-Eoceno tardío, en lo que se conoce como Orogenia Laramídica, formando un conjunto complejo de pliegues y cabalgaduras llamado anticlinorio de Huayacocotla. Finalmente, se tuvo un evento tectónico por extensión, pospliocénico, evidenciado por fallas normales que están delimitando a un *graben* conocido como *graben* de Molango.

Palabras clave: Bioestratigrafía, paleoecología, tectónica, Jurásico, Hidalgo, México.

ABSTRACT

In the area of Molango, State of Hidalgo, the Lower Jurassic is represented by the Huayacocotla Formation, that is composed of three members. The lower one consists of conglomerate, sandstone, siltstone and claystone with exoclasts that bear reworked fusulinids and crinoids, but without any autochthonous fossils. The middle unit is composed of conglomerate, sandstone, siltstone and claystone with ammonites (*Arietites*, *Arnioceras*). The upper member consists of sandstone, siltstone, claystone, and conglomerate. This member is characterized by the presence of continental fossil plants (*Phlebopteris*). The stratigraphic relationship between these Lower Jurassic rocks and the Paleozoic units is unknown. The presence of ammonites

¹Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510 México, D.F.
Correo electrónico: blancab@servidor.unam.mx

in the middle member indicates a marine environment, and the sandstone, siltstone and claystone content of the upper member together with the fossil land plants, denote a significant change in the deposit, from marine to continental.

The Middle Jurassic is represented by two units: one is constituted by the red beds of the Cahuwasas Formation, that show a lithological similarity with the alluvial plateau deposits (above the supratidal line) of the La Joya Formation; and the other is the Tepéxic Formation, characterized by its contents of sandy limestone, marl and claystone with trigonids (*Vaugonia*, *Myophorella*) and ostreids (*Gryphaea*, *Ostrea*). This unit represents a shallow marine deposit that lies discordantly over the Lower Jurassic.

The Upper Jurassic includes the Santiago, Chipoco and Pimienta Formations. The Santiago Formation consists of black calcareous siltstone and a few beds composed of black limestone with ammonites (*Reineckeia*) and ostreids. In most of the area, the Santiago Formation rests conformably above the Tepéxic Formation, and in the Huiznopala neighborhood it lies above the Huiznopala Gneis; its calcareous-siltstone composition and the absence of fossils suggest that the unit was deposited under low-energy marine anaerobic conditions, within a basin. The Chipoco Formation consists of four members: (1) limestone with manganese, intercalated with some calcareous siltstone; (2) calcareous sandstone intercalated with sandy calcareous siltstone; (3) claystone and calcareous siltstone intercalated with sandy limestone; (4) limestone rhythmically interstratified with black claystone. Within this part of the formation, it is common to find concretions with ammonites (*Idoceras*, *Glochiceras*). The Chipoco Formation rests conformably above the Santiago Formation and represents a basin facies deposit. The Pimienta Formation is composed by a black limestone rhythmically intercalated with black claystone that bears chert nodules and lenses, as well as ammonites. This unit lies conformably and transitionally above the Chipoco Formation with the exception of the Ixtapala area, where it rests on the Paleozoic basement. Above the Pimienta Formation, on top of a transitional contact, rests the Tamaulipas Inferior Formation (Lower Cretaceous). The Pimienta Formation is a pelagic deposit (of basin facies).

Among the tectonic episodes studied in the field, one extension phase was recognized for the Lower and Middle Jurassic. This event produced several tectonic horsts and grabens delimited by gravity faulting. In Middle Jurassic times, the formation of tectonic horsts and grabens continued, in an episode that ended abruptly with the deposit of Cahuwasas red beds. Later, the Jurassic and Cretaceous sedimentary rocks were folded during a time span that ranged from the Late Cretaceous to the late Eocene, in what is known as the Laramide Orogeny. As an end result, this tectonic event produced a complex set of folds and overthrusts known as the Huayacocotla Anticlinorium. Finally a post-Pliocene extension event was detected, which produced by normal faulting a tectonic valley known as the Molango Graben.

Key words: Biostratigraphy, paleoecology, tectonics, Jurassic, Hidalgo, Mexico.

INTRODUCCIÓN

TRABAJOS PREVIOS

Existen numerosos estudios sobre el anticlinorio de Huayacocotla y áreas adyacentes. La primera cartografía geológica de una parte del anticlinorio fue realizada por von Kuegelgen (1958), quien consignó una unidad de lechos rojos arriba de la Formación Huayacocotla, a la que nombra Formación Huizachal. Martínez-Pérez (1962) estudió la zona de Zacualtipán-Tianguistengo y mencionó por primera vez sedimentos paleozoicos de la Formación Guacamaya y lechos rojos del Triásico de la Formación Huizachal abajo de la Formación Huayacocotla. Carrillo-Bravo (1965) también estudió la geología de una parte del anticlinorio, estableció la columna estratigráfica y describió la litología de las unidades que afloran en el anticlinorio de Huayacocotla. Imlay (1980) señala que la base y la cima de la formación contienen abundante material de plantas fósiles. Buitrón y colaboradores (1987) describieron los crinoides pensilvánicos de la región de Calnali, Hidalgo. Silva-Pineda (1987) publicó sobre una flóru-la pérmica de la misma región. Suter (1990) elaboró la hoja Tamazunchale. May (1990), en su tesis, trató sobre la petrografía, paleogeografía, ambiente de depósito de la Formación Chipoco y la mineralización de manganeso en la región de Molango. Rueda-Gaxiola y colaboradores (1993) estudiaron la

bioestratigrafía, cronoestratigrafía y paleoecología de los lechos rojos del área de Huizachal-Peregrina y de Calnali. Maynard y colaboradores (1990) investigaron sobre la paleogeografía del Jurásico Superior y más tarde Maynard y Klein (1995) propusieron un modelo para analizar la subsidencia tectónica de los depósitos sedimentarios del área de Molango. Ochoa-Camarillo (1996) estudió en detalle la estratigrafía y la tectónica de la región de Molango. La cartografía y las interpretaciones que hizo Carrillo-Bravo (1965) en el estudio geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla, son diferentes de las realizadas por Ochoa-Camarillo (1996), ya que se demuestra que los lechos rojos considerados por Carrillo-Bravo (1965) como Formación Huizachal de edad triásica tardía no existen, pues no hay intervalo de lechos rojos estratigráficamente abajo de la Formación Huayacocotla. Las plantas fósiles procedentes de la región comprendida entre Tlahuelompa, Hidalgo-San Mateo, Veracruz, que se consideraban del Triásico Tardío, de la Formación Huizachal (Silva-Pineda, 1963), corresponden a una edad pérmica (Weber, 1997). Ochoa y colaboradores (1997) estudiaron las capas rojas continentales y su relación con las capas sedimentarias marinas del anticlinorio de Huayacocotla, Hidalgo. En la II Convención sobre la evolución geológica de México y recursos asociados, varios autores presentaron trabajos de diferente índole sobre el anticlinorio de Huayacocotla (Ochoa-Camarillo, 1997a, b; Rosales-Lagarde *et al.*, 1997; Ortega-

Gutiérrez, 1997; Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1997; Centeno-García y Rosales-Lagarde, 1997). En la presente investigación, el estudio de la geología fue realizado por Ochoa-Camarillo y la paleontología por Buitrón (invertebrados) y Silva-Pineda (plantas).

LOCALIZACIÓN

La región de Molango se ubica en la parte septentrional del Estado de Hidalgo, en el centro-oriente de la República Mexicana, entre las coordenadas 98°33' a 98°50' W y 20°40' a 21°05' N. La región pertenece a la parte central del anticlinorio de Huayacocotla, que a su vez es parte del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental. El área de estudio tiene una extensión aproximada de 1,500 km² (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

BIOESTRATIGRAFÍA Y PALEOAMBIENTE

JURÁSICO INFERIOR

Formación Huayacocotla (Liásico)

Las rocas de la Formación Huayacocotla están localizadas en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. La formación fue estudiada por Díaz-Lozano (1916) y Burckhardt (1930), siendo descrita formalmente por Imlay y colaboradores (1948), quienes proponen como localidad tipo afloramientos en el río Vinasco, cerca de Huayacocotla, Veracruz. En esta localidad se encuentra una abundante tafoflora representada por cicadofitas (*Otozamites hespera* Wieland, *Ptilophyllum acutifolium* Morris, *Zamites* sp.), coníferas (*Cheirolepis* sp., *Podozamites* sp.) y helechos (*Piazopteris*), que están intercalados con una fauna marina de amonites de los géneros *Coroniceras*, *Arnioceras*, *Oxynoticeras*, *Pleurechioceras*, *Echioceras* y *Microderoceras* (Erben, 1956).

En la región de Molango se identificó, en la cima de la unidad, la secuencia litoestratigráfica denominada por Erben (1956) "lutita con plantas" y se señaló una composición siliciclástica con ausencia de carbonato. En el área de Otongo, la formación está constituida por arenisca de grano grueso y limolita verde con helechos fósiles de los géneros *Phlebopteris* y cf. *Cladophlebis*. En la región de Ixtlahuaco-Calnali, se pre-

senta una alternancia de arenisca y lutita gris con impresiones de helechos y coníferas (cf. *Elatocladus*). En el arroyo Jalpa (Amaxatl) se encuentra un afloramiento donde está expuesto el máximo espesor de la Formación Huayacocotla, que consta de tres miembros. El miembro inferior está formado por conglomerado, arenisca, limolita y lutita con exoclastos que contienen fósiles retrabajados como fusulinidos y crinoides (*Cylindrocauliscus fiski* Moore y Jeffords, *Barychyr anosus* Moore y Jeffords, *Cyclocaudex costatus* Moore y Jeffords, *C. insaturatus* Moore y Jeffords, *C. jucundus* Moore y Jeffords, *Mooreanteris waylandensis* Miller, *Plummeranteris sansaba* Moore y Jeffords, *Heterostelechus keithi* Miller) y se caracteriza por la ausencia de fósiles autóctonos. El miembro intermedio está constituido por conglomerado, arenisca, limolita y lutita, con amonites (*Arietites*, *Arnioceras*). El miembro superior está formado por arenisca, limolita, lutita y conglomerado, y se caracteriza por la presencia de plantas fósiles continentales (Figura 2). Otra localidad con plantas muy fragmentarias pertenecientes a esta formación se encuentra en la región de Tlahuelompa, ubicada al sureste de Molango; están representadas por cicadofitas de los géneros *Ptilophyllum*, *Otozamites*, cf. *Sagenopteris*.

El espesor de la Formación Huayacocotla es muy variable, existen zonas sin depósito y lateralmente a unos cientos de metros los espesores pueden ser grandes, pero no reales, por la existencia de repeticiones tectónicas intraformacionales. En el arroyo Amaxatl, la exposición de la unidad tiene aproximadamente 900 m, que es lo máximo observado sin repeticiones tectónicas. La Formación Huayacocotla descansa sobre el zócalo cristalino y yace en discordancia angular bajo la Formación Cahuásas, pero en algunos lugares se encuentra cubierta en discordancia angular por la Formación Tepexic. Se desconoce la relación estratigráfica de las rocas del Jurásico Inferior con las rocas del Paleozoico.

Los tres miembros estratigráficos reconocidos en la Formación Huayacocotla indican tres ambientes diferentes de depósito. La litología del miembro inferior consiste en conglomerados y algunas brechas masivas y, debido al gran tamaño de los clastos, se sugiere que fueran transportados por corrientes de energía alta y depositados muy cerca de su lugar de origen. Con base en los criterios para reconocer los depósitos de aban-

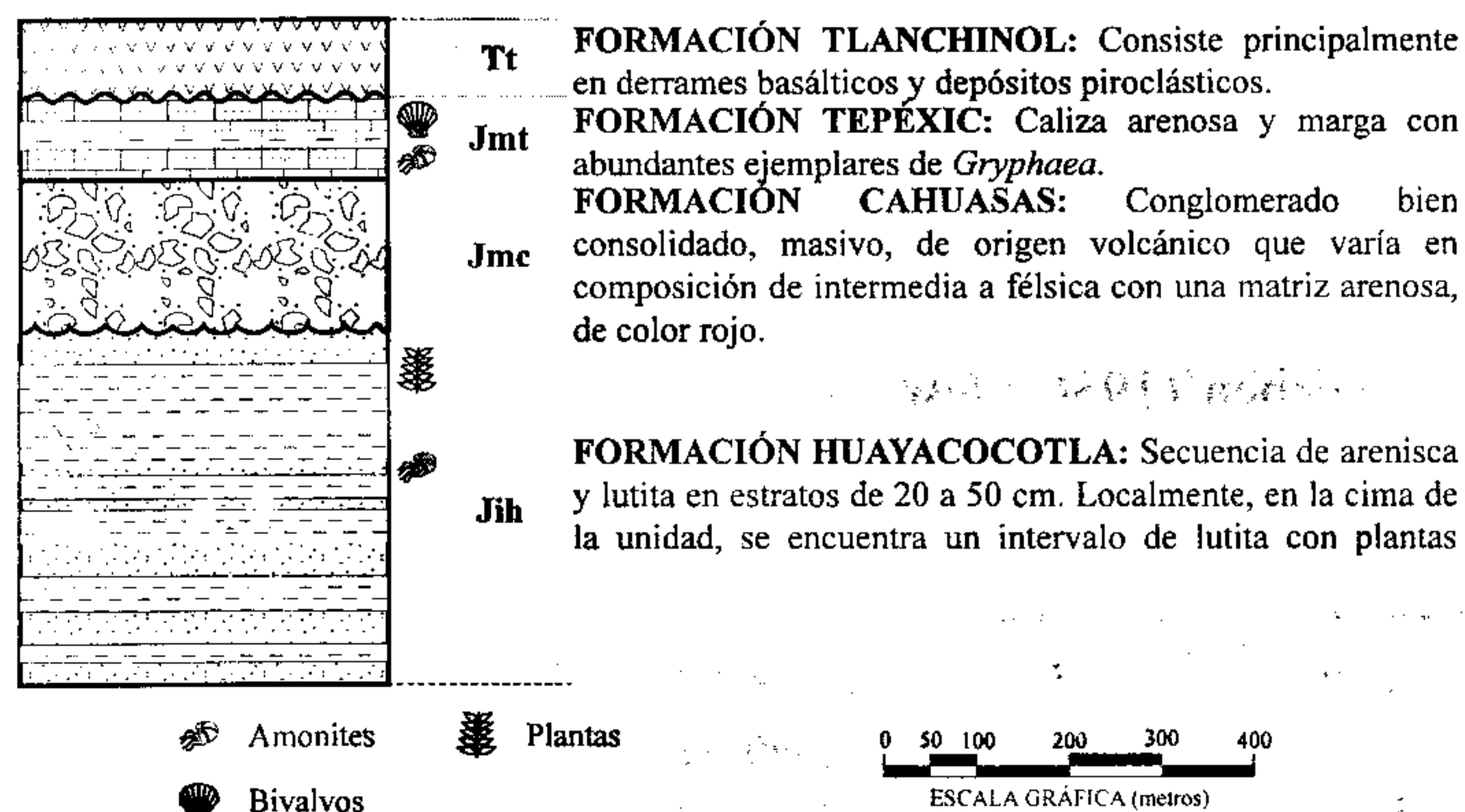


Figura 2. Columna estratigráfica del área Ixtlahuaco-Calnali.

cos aluviales propuestos por Nilsen (1982), se llegó a la conclusión de que las rocas de este intervalo son depósitos de abanicos aluviales que están indicando el inicio del relleno de los *grabens*. Además, presenta algunos intervalos de arenisca roja, que sugieren un ambiente continental. El miembro intermedio tiene fósiles autóctonos, principalmente amonites y bivalvos; esto puede interpretarse como un ambiente marino poco profundo, próximo a la costa. El miembro superior está constituido principalmente por arenisca, lutita y limolita con flora continental, por lo que se sugiere un ambiente fluvial, según los modelos de Cant (1982).

JURÁSICO MEDIO

Formación Cahuwasas (Aaleniano-Batoniano)

La Formación Cahuwasas fue definida por Carrillo-Bravo (1965) como una secuencia de más de 1,000 m de espesor, que consiste en arenisca, conglomerado y limolita de color rojo. La localidad tipo se halla en el valle del río Amajac. En el área de estudio se identificó dos litologías: una constituida por brecha y conglomerado masivo, rojo, y otra caracterizada por limolita y arenisca masiva roja y verde. La Formación Cahuwasas descansa en discordancia angular sobre la Formación Huayacocotla; este contacto se observa en la carretera estatal Ixtlahuaco-Calnali y está cubierta concordantemente por la Formación Tepéxic en la intersección del arroyo Chipoco y el camino a San Simón-Ixcuicuilá. La Formación Cahuwasas carece de fósiles y su edad, comprendida entre el Aaleniano y el Batoniano, se basa en la relación que guarda con las formaciones encajonantes fechadas con amonites.

Ochoa-Camarillo (1996) observó que la Formación Cahuwasas, en el anticlinorio de Huayacocotla, tiene una litología semejante a la de la Formación La Joya, en el anticlinorio de Huizachal-Peregrina; en vista de que estas unidades son equivalentes, tanto estratigráficamente como en su naturaleza litológica, deduce que ambas formaciones tuvieron un ambiente de depósito análogo. En la Formación La Joya, Michalzik (1987) reconoció depósitos de abanicos aluviales; de planicie aluvial continental arriba de la línea de supramarea en condiciones áridas o semiáridas; de planicie aluvial marina, formados abajo del límite de la supramarea y depósitos de inundación fluvial.

Formación Tepéxic (Caloviano)

Erben (1956) describió formalmente esta unidad y la denominó "Calcarenita Tepéxic"; tiene su localidad tipo en el río Necaxa, Estado de Puebla. En la región de Molango, se localiza en las áreas comprendidas entre los poblados de Acayuca-Cuxhuacán, de Acoxcatlán-Tepehuacán y de Acuímantla. Descansa de manera concordante y abrupta sobre la Formación Cahuwasas y, en otras áreas donde no aflora esta unidad, yace en discordancia angular sobre la Formación

Huayacocotla. En la parte superior está cubierta en forma concordante abrupta o transicional por la Formación Santiago, o bien en contacto abrupto o concordante con la Formación Chipoco. La parte inferior no presenta fósiles, pero la parte superior, que está formada por marga y limolita calcárea de color gris oscuro, tiene horizontes con coquinas de *Gryphaea mexicana* Felix, *Ostrea* sp., trigónidos—*Vaugonia literata* (Young y Bird), *V. producta* (Lycett), *V. undulata* (Fromherz), *V. (Hijitrigonia) rupellensis* (d'Orbigny), *V. (Orthotrigonia) duplicata* (Sowerby), *Myophorella brodiei* (Lycett), *M. formosa* (Lycett), *M. hudlestoni* (Lycett) y *M. signata* (Agassiz)—braquiópodos y amonites de la especie *Reineckeia* aff. *R. neogaea* (Figura 3).

La Formación Tepéxic se depositó en un ambiente de plataforma muy somero, cercano a la costa, evidenciado por la presencia de horizontes oncolíticos y estratificación ondulada, así como abundantes ostreidos y trigónidos. La presencia de oolitos indica un medio de sedimentación cercano a la línea de costa, mientras que las ostreaeas y gryphaeas se desarrollaron en sustratos duros, donde viven adheridas, lo que hace suponer la existencia de barras y pequeños islotes, dentro de lagunas someras fangosas donde abundaban las trigonias.

Los sedimentos marinos de la Formación Tepéxic están indicando el inicio de la sedimentación de carbonatos, observándose en el área de estudio un cambio notable en la naturaleza química de los sedimentos del Jurásico Inferior y los del Jurásico Medio. Este cambio señala el hundimiento de la región y el inicio de una transgresión marina, posiblemente relacionada con la apertura del Golfo de México.

JURÁSICO SUPERIOR

Formación Santiago (Caloviano medio-Oxfordiano superior)

Esta unidad fue definida formalmente por Cantú-Chapa (1971); su localidad tipo está ubicada en la carretera federal

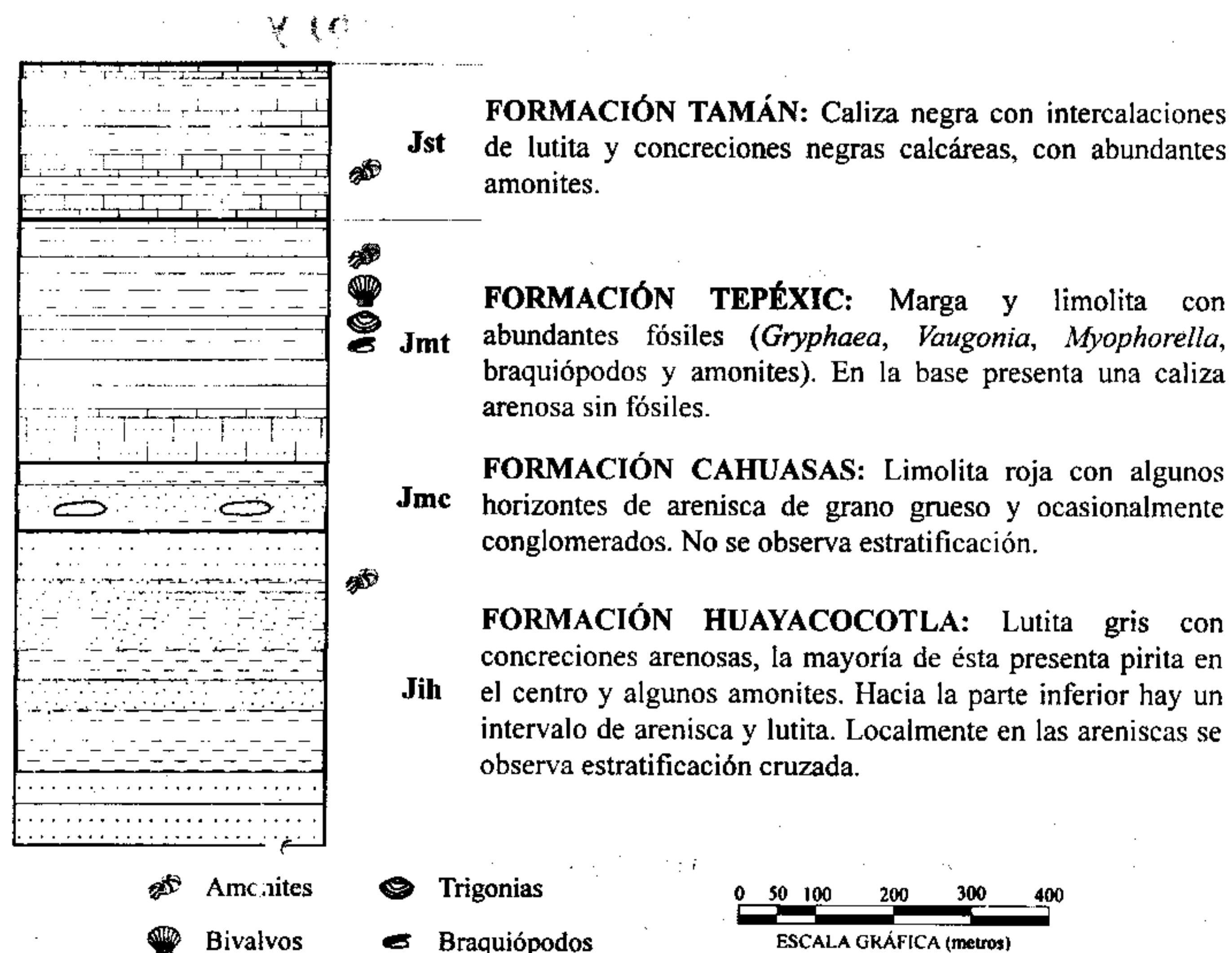


Figura 3. Columna estratigráfica del área Cuxhuacán-Ixcuicuilá.

85, al oriente de Tamán. En el área de Molango, se observó que la unidad está constituida por un paquete de limolita negra calcárea; ocasionalmente hay capas de caliza negra. En la parte superior hay abundantes concreciones negras, calcáreas, donde se hallan amonites del género *Reineckeia*; ocasionalmente hay estratos de caliza arcillosa de color negro. La parte intermedia se caracteriza por la ausencia de fósiles y la inferior por presentar amonites y ostreidos (*Gryphaea*).

La Formación Santiago descansa concordantemente encima de la Formación Tepéxic y en el área de Huiznopala descansa sobre el Gneis Huiznopala. La Formación Chipoco yace sobre la Formación Santiago, en contacto concordante y abrupto. Se puede observar las relaciones estratigráficas de esta formación en los afloramientos artificiales del tajo Tetzintla de la Compañía Minera Autlán, donde se encontró un horizonte con abundantes impresiones de *Reineckeia* que son de edad caloviana (Ochoa-Camarillo, 1996, p. 43). La edad del Caloviano-Oxfordiano tardío que se asigna a la Formación Santiago se basa en los amonites estudiados por Cantú-Chapa (1971). La composición limolítica calcárea de la Formación Santiago y la ausencia de fósiles en la parte media, señala que se depositó en condiciones marinas tranquilas reductoras en facies de cuenca (Pedrazzini y Basáñez-Loyola, 1978).

Formación Chipoco (Kimeridgiano inferior-Titoniano inferior)

La Formación Chipoco fue definida por Hermoso de la Torre y Martínez-Pérez (1972) como una alternancia de caliza (*grainstone*) y lutita calcárea. La localidad tipo se encuentra en el tajo Tetzintla cerca de Chipoco. Ochoa-Camarillo (1996) distingue cuatro unidades litológicas con base en núcleos de sondeo y en una estratigrafía detallada: miembro 1—constituido por caliza manganesífera con intercalaciones de lutita calcárea; miembro 2—caracterizado por arenisca calcárea con intercalaciones de lutita calcárea arenosa; miembro 3—presenta limolita y lutita calcárea con intercalaciones de caliza arcillosa; miembro 4; está constituido por una secuencia de caliza interstratificada en forma rítmica con lutita negra. En la Formación Chipoco, es común hallar concreciones con amonites (*Idoceras* y *Glochiceras*). El contacto inferior es concordante y abrupto con la Formación Santiago, con algunas excepciones: a 200 m de la entrada al Socavón 800, se encuentra en discordancia sobre el Gneis Huiznopala; en la región de Huitepex descansa aparentemente sin discordancia erosional sobre la Formación Tepéxic. El contacto superior es transicional con la Formación Pimienta. La edad del Kimeridgiano temprano-Titoniano temprano que se asigna a la Formación Chipoco se basa en amonites de los géneros *Idoceras* y *Glochiceras* (Cantú-Chapa, 1971).

Aguayo-Camargo (1977) propuso que la Formación Chipoco se depositara en un ambiente sedimentario, marino, somero de plataforma. Por otro lado, Maynard y colaboradores (1990) consideran a esta unidad como un depósito de facies de talud, y Ochoa-Camarillo (1996), basándose en la presencia

súbita de manganeso que se interpreta como un cambio brusco en las características físico-químicas del agua, relacionado con la posible comunicación de la fosa de Huayacocotla y el protogolfo de México, considera que el depósito ocurriera en un ambiente de cuenca.

Formación Pimienta (Titoniano)

Heim (1926) definió la unidad como una serie de caliza de estratificación delgada con capas de pedernal negro. La localidad tipo se encuentra a 1 km al norte del pueblo Pimienta. En el área de estudio, está constituida por estratos de 5 a 30 cm de caliza negra con intercalaciones rítmicas de lutita negra en espesores de 1 a 5 cm; presenta nódulos y lentes de pedernal negro y gris, así como concreciones esféricas. La Formación Pimienta se encuentra concordante y transicionalmente sobre la Formación Chipoco, con excepción del área de Ixtapala, donde descansa directamente sobre el basamento. La presencia de pedernal y los pliegues en chevrón dentro de la Formación Pimienta son los criterios utilizados para distinguir la parte inferior de la Formación Pimienta de la parte superior de la Formación Chipoco, pues esta última unidad no tiene pedernal y generalmente carece de pliegues internos. Encima, en contacto transicional, se halla la Formación Tamaulipas Inferior (Cretácico Inferior). La edad titoniana de la unidad se determinó con base en la presencia de amonites (Cantú-Chapa, 1971). El ambiente de depósito es pelágico (facies de cuenca).

EVENTOS TECTÓNICOS

En el área de estudio se observó tres eventos tectónicos:

1. Una fase de extensión que se inició durante el Jurásico Temprano y terminó a finales del Jurásico Medio. Este evento propició la formación de pilares y fosas tectónicas, que están delimitados por fallas normales de orientación NNW-SSE y N-S. Todas las fallas del Jurásico Inferior observadas están delimitando afloramientos del zócalo cristalino. Durante el Jurásico Medio, continuó la deformación distensiva, que propició en parte la formación de fosas nuevas y pilares tectónicos, evidenciados por la terminación brusca lateral de los lechos rojos de la Formación Cahuasas. Asimismo, sus afloramientos en forma de fajas, indican que se depositaron en un sistema de fosas.
2. Las rocas sedimentarias jurásicas y cretácicas fueron plegadas entre el Cretácico Tardío y el Eoceno tardío (Orogenia Laramídica), formando un complejo de pliegues y cabalgaduras llamado anticlinorio de Huayacocotla, cuya complejidad es causada por la geometría estructural preexistente o inherente del basamento, así como por los sedimentos del Jurásico Inferior y Medio, originados por la tectónica de *horsts* y *grabens* en esta región. El despegue basal de las estructuras laramídicas se encuentra en la Formación Huayacocotla, que descansa sobre el basamento metamórfico precámbrico. Despegues de pliegues y *flats* de cabalgadu-

ras también se hallan en formaciones que yacen encima mecánicamente incompetentes, como en las formaciones Santiago y Pimienta. La deformación dentro del anticlinorio se concentra en el sistema de cabalgaduras Tamazunchale-Naopa-Pochutla, con un acortamiento mínimo de 6 km. Otro fenómeno laramídico es la reactivación de las fallas normales jurásicas como fallas inversas, que delimitan al *horst* jurásico de Huiznopala (alto del basamento) en su lado oriental. Esta inversión está asociada con un acortamiento relativo local máximo. Las evidencias de dicho acortamiento se manifiestan al oriente del alto del basamento de Huiznopala, donde la cobertura sedimentaria está intensamente plegada, siendo la de encima del alto del basamento menos plegada. La mina de manganeso de Molango está ubicada exactamente en la zona de mayor complejidad estructural. Entre las formaciones Santiago y Chipoco se encuentra una brecha tectónica que sugiere un movimiento horizontal de grandes magnitudes de tipo *décollement*, el cual fue originado durante la Orogenia Laramide. La aparición abrupta de manganeso en la base de la Formación Chipoco, la ausencia total del manganeso en la cima de la Formación Santiago y el cambio litológico abrupto entre estas dos formaciones, sugieren un cambio brusco en las condiciones físicoquímicas de la fosa donde se estaba depositando la Formación Santiago, que se piensa se debió a la comunicación entre la fosa de Huayacocotla y el Golfo de México, que también permitió la comunicación entre los océanos Pacífico y Atlántico.

3. El último elemento tectónico es debido a extensión pospliocénica, evidenciada por fallas normales de rumbo NW-SE, que están delimitando al *graben* de Molango. El *graben* presenta una longitud de más de 10 km y un salto de más de 200 m.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al Dr. Abelardo Cantú-Chapa, Jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, y al Dr. Reinhard Schmidt-Effing del Institut für Geologie und Paleontologie, Philipps-Universität, Marburg, Alemania, por la revisión crítica del manuscrito, cuyas observaciones permitieron mejorarlo, y al M. en C. Luis Espinosa-Arrubarrena, quien revisó el resumen en inglés.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Proyecto 0986P-T) y a la Dirección de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) UNAM (Proyecto PAPIIT IN108795IG1) el financiamiento de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo-Camargo, J.E., 1977, Sedimentación y diagénesis de la formación "Chipoco" (Jurásico Superior) en afloramientos, estados de Hidalgo y San Luis Potosí: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 9, núm. 2, p. 11-37.
- Buitrón, B.E.; Patiño-Ruiz, Jaime; y Moreno-Cano, Alejandro, 1987, Crinoides del Paleozoico tardío (Pensilvánico) de Calnali, Hidalgo: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, v. 1, núm. 1, p. 125-136.
- Burckhardt, Carl, 1930, Étude synthétique sur le Mésozoïque mexicaine: Mémoires de la Société Paléontologique Suisse, v. 49-50, 280 p.
- Cant, D.J., 1982, Fluvial facies models and their application, in Scholle, P.A., y Spearing, D.R., eds., Sandstone depositional environments: American Association of Petroleum Geologists Memoir 31, p. 115-137.
- Cantú-Chapa, Abelardo, 1971, La serie Huasteca (Jurásico Medio-Superior) del centro-este de México: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 3, núm. 2, p. 17-40.
- Carrillo-Bravo, José, 1965, Estudio geológico de una parte del anticlinorio de Huayacocotla: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 17, núms. 5-6, p. 73-96.
- Centeno-García, Elena, y Rosales-Lagarde, Laura, 1997, Itinerario de la excursión al anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo, México-tercer día: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 41-43.
- Díaz-Lozano, Enrique, 1916, Descripción de unas plantas liásicas de Huayacocotla, Veracruz. Algunas plantas de la flora liásica de Huauchinango, Puebla: Instituto Geológico de México, Boletín 34, 18 p.
- Erben, H.K., 1956, El Jurásico Medio y el Calloviano de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Congreso Geológico Internacional, 20, México, D.F., Monografía, 140 p.
- Heim, Arnold, 1926, Notes on the Jurassic of Tamazunchale, Sierra Madre Oriental, Mexico: Eclogae Geologicae Helveticae, v. 20, núm. 1, p. 84-87.
- Hermoso de la Torre, Carlos, y Martínez-Pérez, Jesús, 1972, Medición detallada de formaciones del Jurásico Superior en el frente de la Sierra Madre Oriental: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 24, núms. 1-3, p. 45-64.
- Imlay, R.W., 1980, Jurassic paleobiogeography of the conterminous United States in its continental setting: U.S. Geological Survey Professional Paper 1062, 134 p.
- Imlay, R.W.; Cepeda, Edmundo; Álvarez, Manuel, Jr.; y Díaz-González, Teodoro, 1948, Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 32, núm. 9, p. 1750-1761.
- Kuegelgen, Harold von, 1958, Der aufbau der zentralen Sierra Madre Oriental, Mexico: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, v. 110, núm. 1, p. 117-142.
- Martínez-Pérez, Jesús, 1962, Estudio geológico de una porción de la Sierra Madre Oriental al oriente de Zacualtipán, Hidalgo: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional, 47 p. (inédita).
- May, E.D., 1990, Petrography, paleogeography and depositional environment of the Chipoco facies, Tamán Group, Molango mining district, Hidalgo and San Luis Potosí, Mexico: Ohio, University of Cincinnati, tesis de maestría, 70 p. (inédita).
- Maynard, J.B., y Klein, G.D., 1995, Tectonic subsidence analysis in the characterization of sedimentary ore deposits—examples the Witwatersrand (Au), White Pine (Cu), and Molango (Mn): Economic Geology, v. 90, núm. 1, p. 37-50.
- Maynard, J.B.; Okita P.M.; May, E.D., y Martínez-Vera, A., 1990, Palaeogeographic setting of Late Jurassic manganese mineralization in Molango district, Mexico, in Parnell, John; Ye, Lianjun; y Chen, Changming, eds., Sediment hosted mineral deposits—Proceedings of a symposium: International Association of Sedimentologists, Special Publication 11, p. 17-30.
- Michalzik, Dieter, 1987, Sedimentación y sucesión de facies en un margen continental pasivo del Triásico al Cretácico Temprano del noreste de la

- Sierra Madre Oriental de México: Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Actas, núm. 2, p. 27-31.
- Nilsen, T.H., 1982, Alluvial fan deposits, *in* Scholle, P.A., y Spearing, D.R., eds., Sandstone depositional environments: American Association of Petroleum Geologists Memoir 31, p. 49-86.
- Ochoa-Camarillo, H.R., 1996, Geología del anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, tesis de maestría, 91 p. (inédita).
- 1997a, Geología del anticlinorio Huayacocotla en la región de Molango, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 1-17.
- 1997b, Itinerario de la excursión al anticlinorio de Huayacocotla en la región de Molango, Estado de Hidalgo, México—primer día: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 33-35.
- Ochoa-Camarillo, H.R.; Buitrón, B.E.; y Silva-Pineda, Alicia, 1997, Red beds of the Huayacocotla Anticlinorium, State of Hidalgo, east-central Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 29, núm. 2, p. 42 (resumen).
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1997, Itinerary of the fieldtrip to Huayacocotla anticlinorium in the Molango region, State of Hidalgo, Mexico—second day: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 37-39.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando; Lawlor, Paul; Cameron, K.L.; y Ochoa-Camarillo, Héctor, 1997, New studies of the Grenvillean Huiznopala Gneiss, Molango area, State of Hidalgo, Mexico—preliminary results: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 19-25.
- Pedrazzini, Carmen, y Basáñez-Loyola, M.A., 1978, Sedimentación del Jurásico Medio-Superior en el Anticlinorio de Huayacocotla-Cuenca de Chicontepec, estados de Hidalgo y Veracruz, México: Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 10, núm. 3, p. 6-25.
- Rosales-Lagarde, Laura; Centeno-García, Elena; Ochoa-Camarillo, Héctor; y Sour-Tovar, Francisco, 1997, Permian volcanism in eastern Mexico—preliminary report: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Guía de las excursiones geológicas, p. 27-32.
- Rueda-Gaxiola, Jaime; Dueñas, M.A.; Rodríguez, J.L.; Minero, Marisela; y Uribe, Georgina, 1993, Los anticlinorios de Huizachal-Peregrina y de Huayacocotla—dos partes de la fosa de Huayacocotla-El Alamar: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 43, núm. 2, p. 1-29.
- Silva-Pineda, Alicia, 1963, Plantas del Triásico Superior del Estado de Hidalgo: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana 18, 12 p.
- 1987, Algunos elementos paleoflorísticos del Pérmico de la región de Calnali, Estado de Hidalgo: Revista de la Sociedad Mexicana de Paleontología, v. 1, núm. 1, p. 313-327.
- Suter, Max, 1990, Hoja Tamazunchale 14Q-e(5), con Geología de la Hoja Tamazunchale, estados de Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie 1:100,000, núm. 22, 55 p.
- Weber, Reinhard, 1997, Contribution to the knowledge of the continental Leonardian of eastern Mexico: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Convención sobre la evolución geológica de México y sus recursos asociados, 2, Pachuca, Hidalgo, México, Simposia y Coloquio, s/p.