



## Amonoideos y bivalvos del Sinemuriano Superior en un nuevo afloramiento de la Formación Huayacocotla, Hidalgo, México, algunas consideraciones paleoambientales

Diana Arenas Islas<sup>1,\*</sup>, Carlos Esquivel Macías<sup>2</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

\* procnefil@hotmail.com

### Resumen

En la región de Tenango de Doria, al Oriente del Estado de Hidalgo, México afloran rocas pertenecientes a la Formación Huayacocotla, del Jurásico Inferior, (Sinemuriano Superior), del cual se reporta un nuevo afloramiento, cuya fauna fósil consiste en amonoideos y bivalvos. Los especímenes, se identificaron y se sometieron a análisis de morfología funcional, espectro de hábitat, abundancia relativa e índice de diversidad así como estructura de tallas y se analizó la petrología sedimentaria de la columna de 30 m de espesor. Se encontraron veinte especies de moluscos que incluyen *Paltechioceras tardecrescens*, *P. rothpletzi*, *P. burckhardti*, *P. harbledownense*, *Paltechioceras* sp., *Orthechioceras jamesdanae*, *O. incaguasiense*, *O. pauper*, *Plesechioceras cihuacoatle*, *Arnioceras ceratitoides*, aff *Metophioceras* sp., *Neocrassina* sp, *Plagiostoma* sp, *Bositra* sp, ?*Parainoceramus* sp, *Posidonotis semplicata*, especie no identificada de la Subclase Cryptodonta, y tres especies indeterminadas.

La ocurrencia de *Neocrassina* y una de las especies indeterminadas de hábitos infaunales, sugiere fondos blandos. El análisis de morfología funcional aplicado a los amonoideos indica fauna de plataforma nerítica. El análisis de frecuencias de preferencia ambiental respecto a la morfología funcional de los diferentes fósiles sugieren las facies donde se concentraba la fauna, en este caso propia de plataforma nerítica media y proximal.

La composición faunística en el afloramiento está dominada por amonoideos, por lo que la estructura de la asociación se caracterizó con base en su índice de diversidad. Los bioindicadores junto con el índice de hábitat y la estructura de tallas indican también que la mayoría de los fósiles provenían de la plataforma nerítica media.

De la evidencia se infiere que el afloramiento representa una plataforma nerítica distal de baja energía, cíclicamente afectada por flujos eventuales de sedimento provenientes de la plataforma nerítica proximal y media, para terminar depositándose bajo condiciones reductoras apoyadas por *Posidonotis semplicata* que indica condiciones disóxicas reforzado por la existencia de nódulos de pirita en el sitio de fosilización.

Palabras clave: Sinemuriano, Amonites, Bivalvos, Huayacocotla, Paleoambientes.

### Abstract

To the east Hidalgo State, Mexico, the Tenango de Doria County is the main Mountain Valley with outcrops of the Huayacocotla Formation (Upper Sinemurian). A new outcrop with great abundance of ammonoids and bivalves is here reported. Specimens were identified to the generic and specific level, including analysis of their functional morphology, habitat spectra, index of relative abundance and measures, with emphasis on paleoecological inferences. Sedimentary petrology was also described.

Species found in this outcrop include: *Paltechioceras tardecrescens*, *P. rothpletzi*, *P. burckhardti*, *P. harbledownense*, *Paltechioceras*

sp., *Orthechioceras jamesdanae*, *O. incaguasiense*, *O. pauper*, *Plesechioceras cihuacoatlé*, *Arnioceras ceratitoides*, aff *Metophioceras* sp., *Neocrassina* sp., *Plagiostoma* sp., *Bositra* sp., ?*Parainoceramus* sp., *Posodonotis semiplicata*, one species of *Cryptodonta* and 3 species not identified.

*Neocrassina* and an unnamed species represent infaunal elements and suggest existence of soft bottom sea. The environmental preference analysis is based on morpho-functional information from fossil material, and suggests the main facies to correspond to inner and proximal platform. The faunal composition of the outcrop was broadly dominated by ammonoids. This observation is reinforced by diversity index. These proxys and the index habitat with the measured structure are indicative for a median neritic platform too. The fossil assemblages include some characteristics that recall Jurassic communities previously described, however it possibly represent a new type of Jurassic community. *Posodonotis semiplicata* is consistent with low oxygen bottom waters, interpretation reinforced by presence of pyrite nodules. The taphonomic evidence of the outcrop reveals the low energy distal neritic platform, alternated with sedimentary soft flows from proximal neritic and medial platform.

**Keywords:** Sinemurian, ammonites, bivalves, Huayacocotla, paleoenvironment.

## 1. Introducción

Las rocas de la Sierra Madre Oriental (SMO) han sido estudiadas desde 1889 por Félix y Lenk, quienes publicaron en Alemania sus hallazgos paleontológicos en la Formación Huayacocotla y posteriormente por Böse (1894). La definición de la Formación Huayacocotla fue establecida por Imlay *et al.* (1948), diagnosticando su pertenencia al Jurásico Inferior, con base en la fauna de amonites y en la estratigrafía de la región. Así mismo, describió la litología con variantes limo-arenosas. El contenido faunístico fue establecido detalladamente por Erben (1956), quien definió más de 100 taxa para la formación, describiendo grandes espesores de rocas siliciclásticas de aproximadamente de 400 a 500 metros en su localidad tipo. Posteriormente Schmidt-Effing (1980) y Schlatter y Schmidt-Effing (1984) definieron cuatro unidades en la localidad de Tenango de Doria, representadas por cuatro litofacies: Las Juntas, Temazcalapa, Tenango y Despi, estas dos última se reconocen muy claramente en el área de estudio por ser de arenisca fina y también se reconoce Las Juntas, por ser lutitas apizarradas; sin embargo; en la unidad Temazcalapa hay además cualidades turbidíticas evidentes por su alternancia rítmica de areniscas y lutitas, en las que hasta el momento no se han encontrado fósiles. Por su parte Dueñas-García *et al.* (1992) complementa la descripción de la formación en el Estado de Hidalgo, mencionando una secuencia de lutitas negras bandeadas, ligeramente apizarradas y fracturadas ortogonalmente que también contiene areniscas de grano fino en bancos gruesos.

Existen importantes trabajos bioestratigráficos realizados por Blau y Meister (2000), Blau *et al.* (2001, 2003, 2008), Meister *et al.* (2002, 2005), en donde se describen amonites de la región de Tenango de Doria.

Adicionalmente, los trabajos recientes de geoquímica (Flores-Castro *et al.*, 2006; Angeles-Cruz, 2006) permiten sugerir que se pueden unificar por su origen las litologías propuestas por Schmidt-Effing (1981).

Los primeros estudios paleoambientales comienzan con Esquivel-Macias (2003), Esquivel-Macias *et al.* (2005,

2007) y continúan con investigaciones aún en proceso en los afloramientos “El Bopo” INV-040 (Gayosso-Morales, 2007), “Peña Blanca” INV-037 (Granados-León, 2007) y “El Potrero” INV-018 (Hernández-Velázquez, 2007) de la Formación Huayacocotla (Figura 1).

En consecuencia, la presente investigación trata sobre la caracterización paleoambiental de un nuevo afloramiento del Jurásico Inferior (Sinemuriano superior), denominado “La Fiesta” INV-063, numerado con base en la relación de localidades del Museo de Paleontología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, para el área de Tenango de Doria. Dicha caracterización se hace con base en la identificación taxonómica y la morfología funcional de los amonoides y bivalvos encontrados, con los cuales se construyen índices de diversidad y de abundancia, y se conducen análisis de acumulación de frecuencias respecto a la preferencia de ambiente, con base en la morfología funcional de los fósiles. Por lo tanto, se pretende ampliar la caracterización paleoambiental generada hasta el momento para esta paleocuenca, lo que a su vez podría aportar información en dirección a la interpretación de la evolución geológica de la región.

## 2. Área de estudio

### 2.1. Localización del afloramiento

El área de estudio se localiza al oriente del Estado de Hidalgo, en las coordenadas 20° 20'54.3" N; 98° 15'05.9" W, a 3.5 kilómetros de la cabecera municipal de Tenango de Doria Hidalgo (Figura 1), sobre el camino de acceso a la comunidad El Desdavi, el cual es una prolongación de la carretera estatal número 53.

### 2.2. Geología

El Centro-Oriente de México en la región de estudio posee un conjunto de unidades mesozoicas y cenozoicas (Figura 2), que presentan un intervalo que va desde el

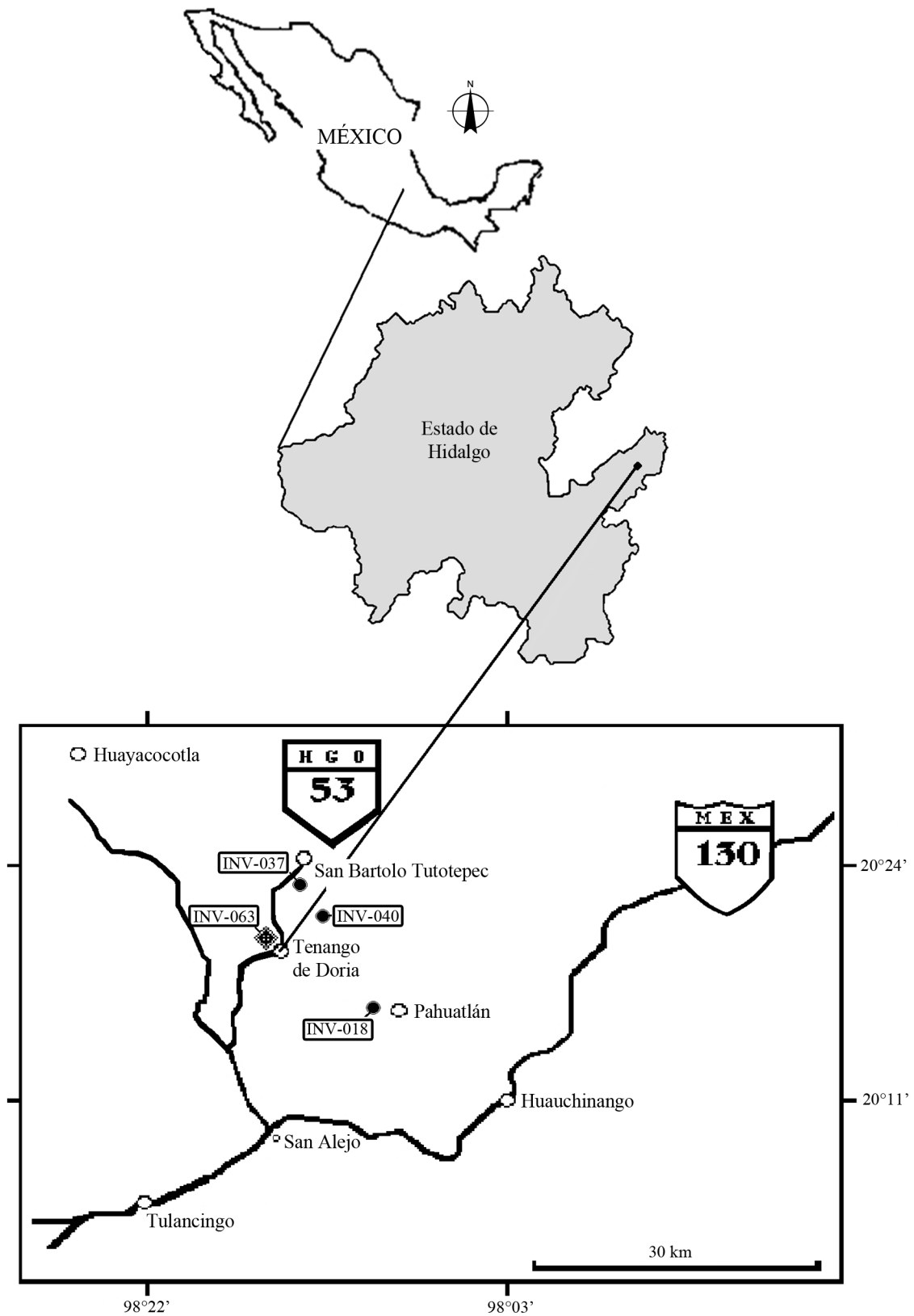


Figura 1. Localización del afloramiento de estudio y otros afloramientos relacionados. INV-063) La Fiesta, INV-018) El Potrero, INV-037) Peña Blanca, INV-040) El Bopo.

Jurásico Inferior al Cenozoico Inferior (Burckhardt, 1930; INEGI 1:250 000, 1983; Flores-Castro, 1993). El afloramiento de estudio se ubica en la base de este intervalo, como perteneciente a la Formación Huayacocotla del Jurásico Inferior (Imlay, 1948). Conforme a la descripción de la localidad tipo (López-Ramos, 1979), la Formación Huayacocotla subyace a la Formación Cahuasas (Jurásico Medio) y sobreyace a la Formación Huizachal (Triásico), aunque en el sitio de estudio esta secuencia mesozoica se encuentra posiblemente cubierta, ya que no ha sido encontrada.

Se considera que el afloramiento es de edad sinemuriana superior, dada la presencia de las siguientes especies índice: *Paltechioceras tardecrescens*, *P. rothpletzi* y *P. harbledownense*, las cuales fueron reportadas en esta región por Erben (1956), quien los asigna por primera vez a esta edad.

El afloramiento presenta 30.2 metros de sección perpendicular al plano de estratificación, que en este caso es horizontal (Figura 3). La sedimentación que originó esta roca produjo una estratificación laminar, es decir, del orden de milímetros, generada por la intercalación regular de areniscas muy finas en una matriz de limolita (Figura 3).

**3. Método**

Se realizaron dos recolectas; la primera permitió una apreciación preliminar del afloramiento, y estableció la importancia del sitio. La segunda recolecta fue representativa

del afloramiento, ya que se hizo una búsqueda homogénea a lo largo de una sección elegida entre otras tres también fosilíferas, ubicando a los fósiles de esta sección entre los 17.3 y 20.3 metros, donde se obtuvo el mejor material.

Cada ejemplar fósil se numeró y se organizó por grupos afines. A continuación se observaron las características diagnósticas, tanto de amonoides y bivalvos para su identificación (sección de la vuelta, apertura de la concha, enrollamiento, estado del vientre, cantidad de costillas por vuelta, forma de las costillas, crecimiento de la vuelta), como ha sido ejemplificado por varios autores (Erben, 1956; Aberhan y Pálfy, 1996; Damborenea y González-León, 1997; Aberhan, 1998; Blau y Meister, 2000; Blau et al., 2001, 2003 y Meister et al., 2002,2005).

Una vez hecha la identificación taxonómica, se procedió a determinar el hábitat por medio de la morfología funcional de los amonoides, basada en trabajos previos (Crick, 1983; Saunders y Shapiro, 1986; Westerman, 1990; Landman et al., 1996).

Posteriormente se aplicó un análisis de acumulación de frecuencias en la preferencia del ambiente respecto a la morfología funcional de los fósiles, contando el número de veces que aparece una morfología (índice de hábitat), con respecto al cinturón de facies estándar, modificado de tal forma que se considera para la plataforma nerítica una zona proximal, una media y una distal (Figura 4), lo que permite hacer una determinación más fina de la proximidad de los organismos con respecto a la línea de costa. De esa manera, con base en la zonación oceanográfica habitual y en la topografía submarina, se dibuja un perfil de cuenca

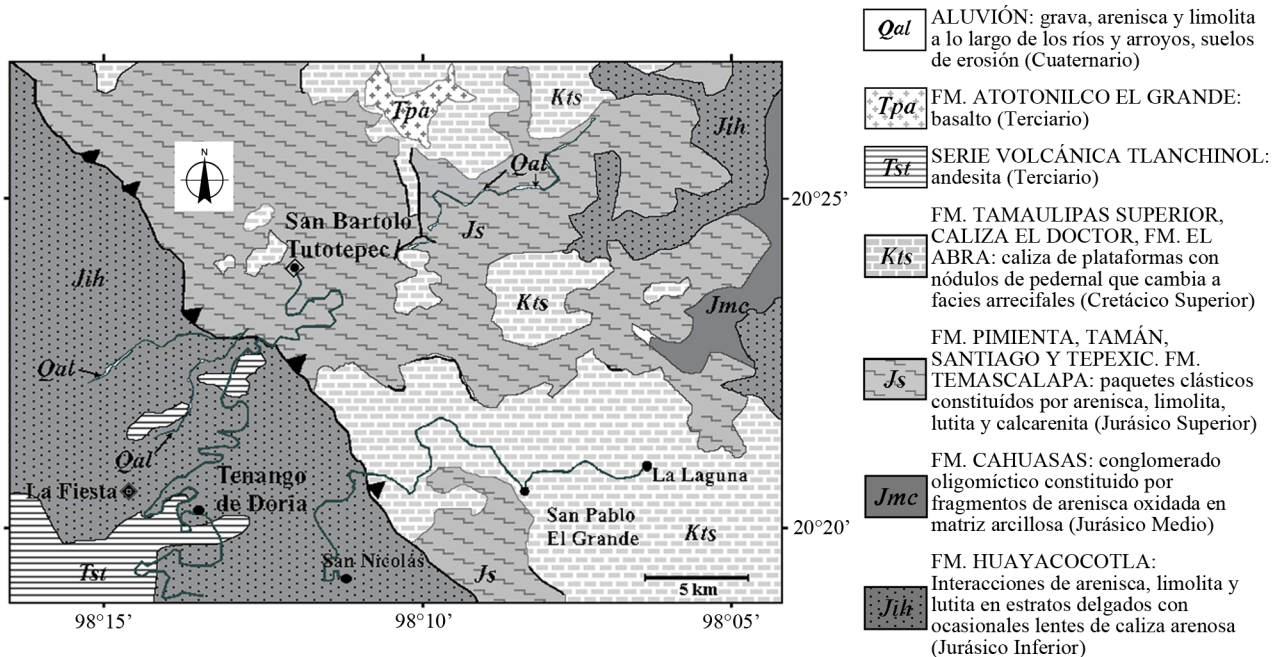


Figura 2. Mapa geológico regional del Área de Estudio. La flecha indica la ubicación del afloramiento. Tomado y modificado de Esquivel-Macias et al., 2005.

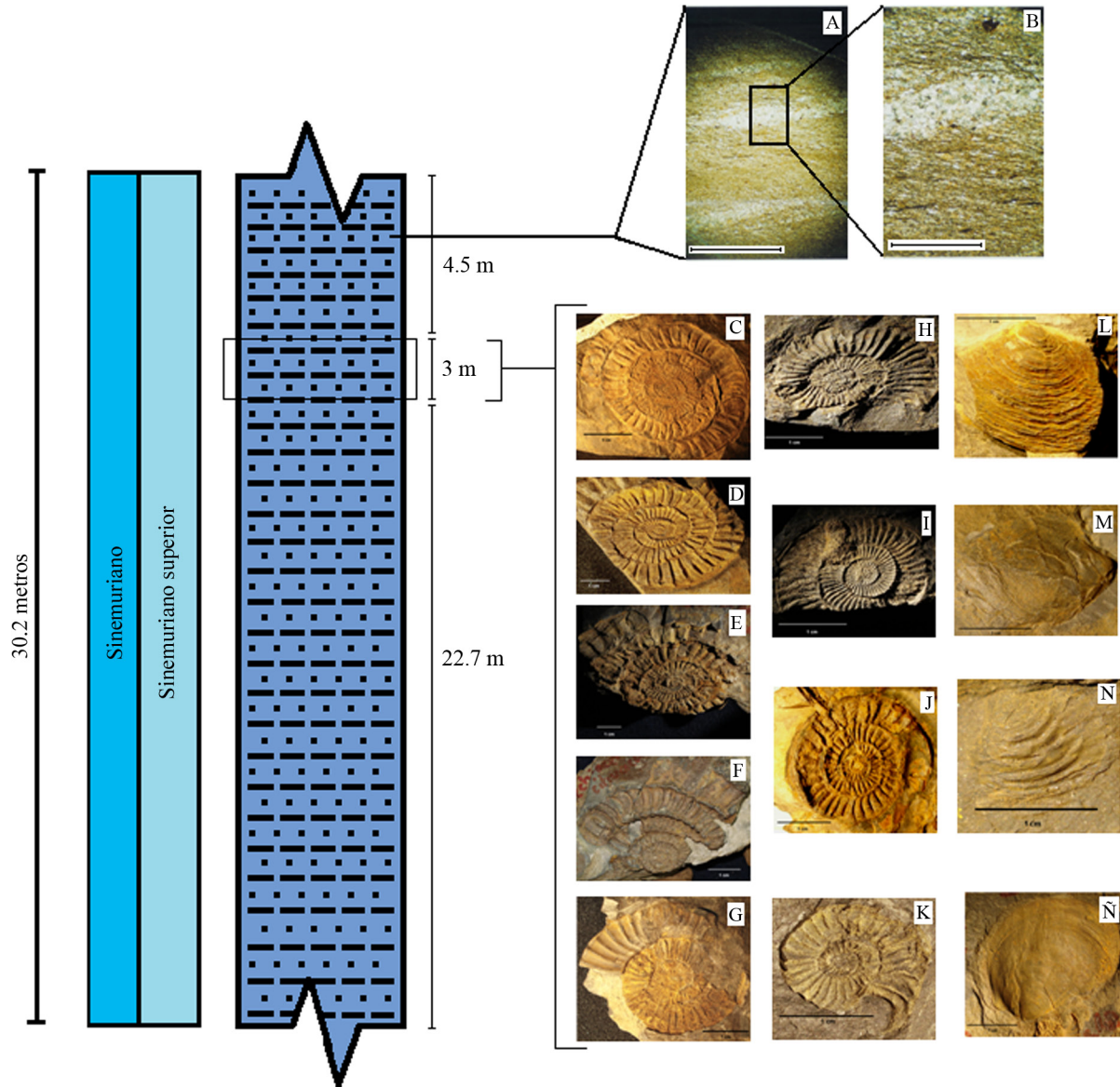


Figura 3. Columna litológica del afloramiento con la ubicación de los fósiles. Adyacentes a la derecha se encuentran las fotografías representativas de láminas delgadas extraídas de la roca y de los fósiles encontrados: A) Microfotografía de la alternancia laminar milimétrica de areniscas y limos (la barra corresponde a 800  $\mu$ ); B) Microfotografía de la alternancia laminar milimétrica de areniscas y limos (la barra corresponde a 400  $\mu$ ); C) *Paltechioceras harbledownense*; D) *Paltechioceras tardecrescens*; E) *Orthechioceras jamesdanae*; F) *Plesechioceras cihuacoatlé*; G) *Orthechioceras pauper*; H) *Paltechioceras rothpletzi*; I) *Paltechioceras* sp.; J) *Orthechioceras incagusiense*; K) aff *Metophioceras* sp.; L) *Neocrassina* sp., M) ?*Parainoceramus* sp.; N) *Bositra* sp., Ñ) *Plagiostoma* sp.

como: plataforma intermareal, plataforma nerítica proximal, plataforma nerítica media, plataforma nerítica distal y pendiente de talud (Figura 4). Cada hábitat obtuvo un valor, que ya tabulado indica el hábitat preferencial de la fauna.

Se estimó también la abundancia relativa, la cual se indicó mediante un histograma para mostrar las frecuencias de individuos por especie y se aplicaron índices de diversidad de Simpson y Shannon-Wiener, los cuales están diseñados para sopesar el número de individuos por especie entre el número de especies, y con ello obtener un

valor de diversidad gamma (Moreno, 2001), que permite establecer un parámetro de la estructura de las comunidades y en este caso de las asociaciones fósiles, dando así una caracterización cuantitativa del afloramiento. Los cálculos se realizaron con el programa Diverbas (Microm, 1984).

Para determinar transporte *postmortem*, para todo fósil o fragmento (bioclasto) se midió el diámetro mayor, los resultados se graficaron por intervalos de talla. Con el mismo objetivo se definen diferentes tipos de asociaciones fosilíferas, lo cual tiene implicaciones tafonómicas directas.



Fueron reconocidas tres tipos de estas asociaciones en función a la distribución de los fósiles en la matriz de la roca (Figura 5), quedando:

A) Fósiles íntegros de tallas grandes, sin contacto con otros.

B) Fósiles reunidos por efecto de corrientes débiles, sin alcanzar a fragmentarse.

C) Fragmentos de fósiles reunidos por efecto de mayor energía.

Se efectuó el análisis petrológico en cada una de las tres asociaciones mediante una lámina delgada.

**4. Resultados**

Se identificaron 161 ejemplares, de los cuales 114 se presentan en asociación 1, cuyo estado de conservación corresponde a moldes autigénicos, ligeramente deformados por la diagénesis; 32 más están en la asociación 2 en el mismo estado de preservación y 15 se hallan en la asociación 3, fragmentados pero con suficientes cualidades diagnósticas. De lo anterior resultaron 21 especies, 11 de amonites y 9 de bivalvos (Tabla 1), por lo tanto, el 87% corresponde a amonoideos y el 13% restante a bivalvos. Ya que en las tres asociaciones la preservación es igual,

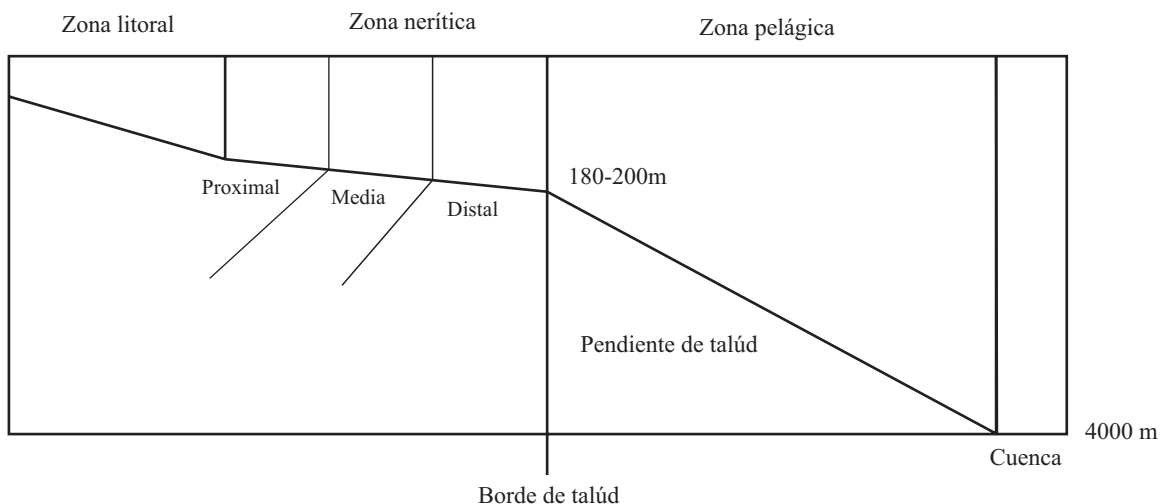


Figura 4. Perfil de cuenca simplificado, donde se muestran las tres divisiones de la plataforma nerítica, que son proximal, media y distal, señalando las profundidades promedio más importantes.

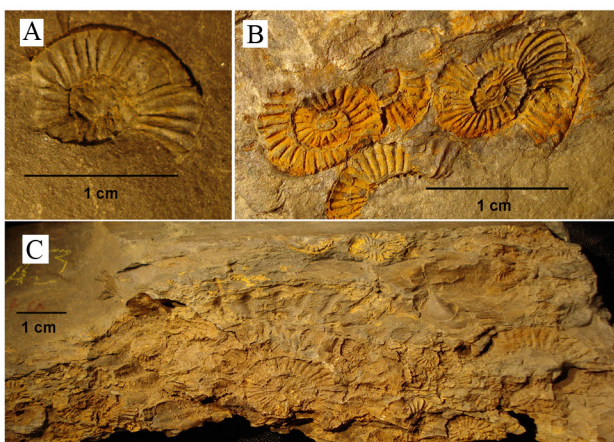


Figura 5. Tipos de asociaciones de bioclastos, definidas de acuerdo al acomodo que presentan en la matriz de la roca. Se les asigna un tipo de asociación de acuerdo a Esquivel-Macias et al. (2005), las cuales son: A) asociación tipo 1: Fósiles relativamente íntegros y aislados de otros fósiles en el contexto de la roca (*Wackstone*); B) asociación tipo 2: Grupo de fósiles juntos entre sí, sin superposición y con relativa integridad (*Packstone*); C) asociación tipo 3: Grupo de fósiles superpuestos entre sí, pocos con alguna integridad, muy numerosos y la mayor parte de ellos fragmentarios (*Grainstone*).

Tabla 1. Listado de especies identificadas relacionada al número de ejemplares encontrados en el afloramiento INV-063.

Especie	Total por especie
<i>Paltechioceras</i> sp.	18
<i>P. tardecrescens</i>	22
<i>P. burckhardti</i>	2
<i>P. harbledowense</i>	27
<i>P. rothpletzi</i>	29
<i>Orthechioceras pauper</i>	6
<i>O. jamesdanae</i>	9
<i>O. incaguasiense</i>	17
<i>Plesechioceras cihuacoatle</i>	1
<i>Arnioceras ceratitoides</i>	4
aff. <i>Metophioceras</i> sp.	5
<i>Neocrassina</i> sp.	1
? <i>Parainoceramus</i> sp.	2
Cryptodonta	1
<i>Posidonotis semiplicata</i>	8
<i>Bositra</i> sp.	2
<i>Plagiostoma</i> sp.	4
Sp. 1	1
Sp. 2	1
Sp. 3	1
<b>Total por zona</b>	<b>161</b>

la diferencia consiste en la estructura de tallas y en menor medida en la relación espacial de la composición faunística, y se pudo observar que en la asociación 1, tanto amonites como bivalvos no están en contacto unos con otros, aunque se pueden encontrar en una misma roca y en el caso de la asociación 2 y 3, tanto amonites como bivalvos se encuentran juntos y en contacto.

El resultado del análisis de morfología funcional aplicado a los amonoideos mediante los tipos de concha de cada grupo identificado es: serpenticono (el más abundante) para *Paltechioceras tardecrescens*, *P. harbledownense*, *P. burckhardtii*, *Plesechioceras cihuacoatle*, *Orthechioceras jamesdanae* y *O. incaguasiense*; planorbicono para *Paltechioceras* sp., *P. rothpletzi*, *Orthechioceras pauper* y aff. *Metophioceras* sp.; y un platicono para *Arnioceras ceratitoides*. Basados en la literatura (Crick, 1983; Saunders y Shapiro, 1986; Westerman, 1990; Landman *et al.*, 1996), estos tipos de concha evidencian hábitos demersales (conchas planorbicono) y planctónicos a la deriva (serpenticono).

Entre las especies de amonites y bivalvos (Figura 6), los amonoides son numéricamente dominantes, específicamente tres especies (*Paltechioceras tardecrescens*, *P. harbledownense* y *Paltechioceras rothpletzi*) representantes de la familia Echioceratidae.

La comunidad representada por los fósiles recolectados del afloramiento INV-063 da como resultado un valor del índice de Simpson ( $\lambda$ ) igual a 0.0886, el cual es alto en comparación con el de los afloramientos “El Potrero” (Hernández-Velázquez, 2007)  $\lambda=0.636$  y “Peña Blanca”, (Granados-León, 2007)  $\lambda=0.516$ , siendo notablemente mayor, y en relación a “El Bopo” (Gayosso-Morales, 2007)  $\lambda=0.869$  resulta ser similar. Esto indica que el afloramiento INV-063 tiene una diversidad mayor, con alta dominancia a favor de la familia Echioceratidae (con valor de dominancia=0.017).

Los valores de acumulación de frecuencias en las facies

se emiten con base en el número de taxones que muestran su preferencia para cada facies, no obstante varios taxones pueden estar presentes en varias facies, lo cual en el presente caso se resuelve cuando en la frecuencia acumulada de las diferentes especies se obtiene una mayoría en una u otra facies (Tabla 2). El caso anterior para la plataforma nerítica proximal se clarifica con base en 12 taxones, luego en la plataforma nerítica media con 12 taxones y en la plataforma nerítica distal nueve taxones, con lo cual la asociación apunta nuevamente hacia un origen de plataforma nerítica proximal y distal, cuya acumulación tafonómica queda en la distal (Figura 7).

El análisis de la distribución de tallas en bioclastos muestra que de un total de 691 bioclastos, hay marcado sesgo hacia tallas pequeñas con el 77% de los ejemplares en tamaño de 1 a 25 mm. (Figura 8).

El estudio de petrología sedimentaria indica que la roca es limolita (50%), arenosa cuarzo (20%), feldespática (15%), en matriz de arcilla (7%), adicionalmente se encuentran concreciones de pirita (Corrales *et al.*, 1977). El color de la superficie intemperizada es naranja grisáceo 10 YR 7/4 (The Rock-Color Chart Committee, 1991). Los granos de arenisca integran acumulaciones lenticulares milimétricas, cuyos granos se aprecian de esféricos a subsféricos en su forma y de redondeados a subredondeados en sus ángulos, exhiben diámetro muy similar y su orientación con respecto al plano de estratificación, dejando ver que están alineados paralelamente en su eje mayor (Figura 9).

## 5. Discusión

La litología que compone a la sección del afloramiento INV-063 es portadora de abundante fauna marina fósil, tanto de amonoideos como de bivalvos, entre los cuales *Paltechioceras tardecrescens*, *P. rothpletzi* y *P. harbledownense* son fósiles índice del Sinemuriano superior

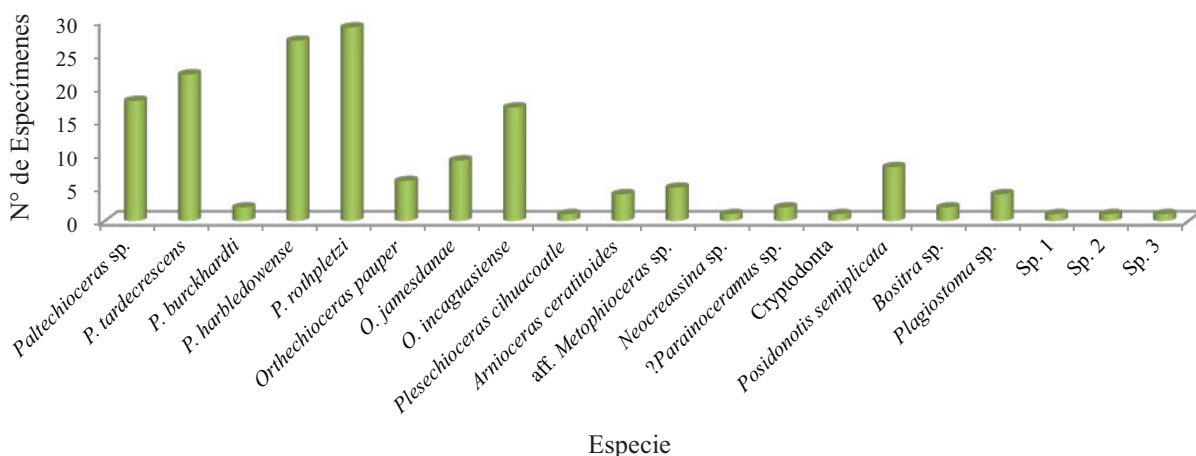


Figura 6. Histograma de abundancia relativa de moluscos donde se aprecia la dominancia de los amonites por encima de los bivalvos.

Tabla 2. Acumulación de frecuencias de las especies con respecto a las facies que representan el hábitat de plataforma nerítica.

Especie	Plataforma				Pendiente		
	Intermareal	Nerítica proximal	Nerítica media	Nerítica distal	Talud proximal	Talud media	Talud distal
<i>Paltechioceras tardecrescens</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>P. harbledowense</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>P. rothpletzi</i>	0	0.5	0.5	0	0	0	0
<i>P. burckhardti</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>Plesechioceras cihuacoatle</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>Orthechioceras pauper</i>	0	0	1	0	0	0	0
<i>O. jamesdanae</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>O. incaguasiense</i>	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
<i>Arnioceras ceratitoides</i>	0	1	0	0	0	0	0
aff. <i>Metophioceras</i> sp.	0	0.5	0.5	0	0	0	0
<i>Neocrassina</i> sp.	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0
? <i>Parainoceramus</i> sp.	0	0.5	0.5	0	0	0	0
<i>Posidonotis simplicata</i>	0	0	0	1	0	0	0
<i>Plagiostoma</i> sp.	0	0.5	0.5	0	0	0	0
Sp. 3	0	0	0	1	0	0	0
<b>Total por zona</b>	<b>0</b>	<b>5.31</b>	<b>5.31</b>	<b>4.31</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

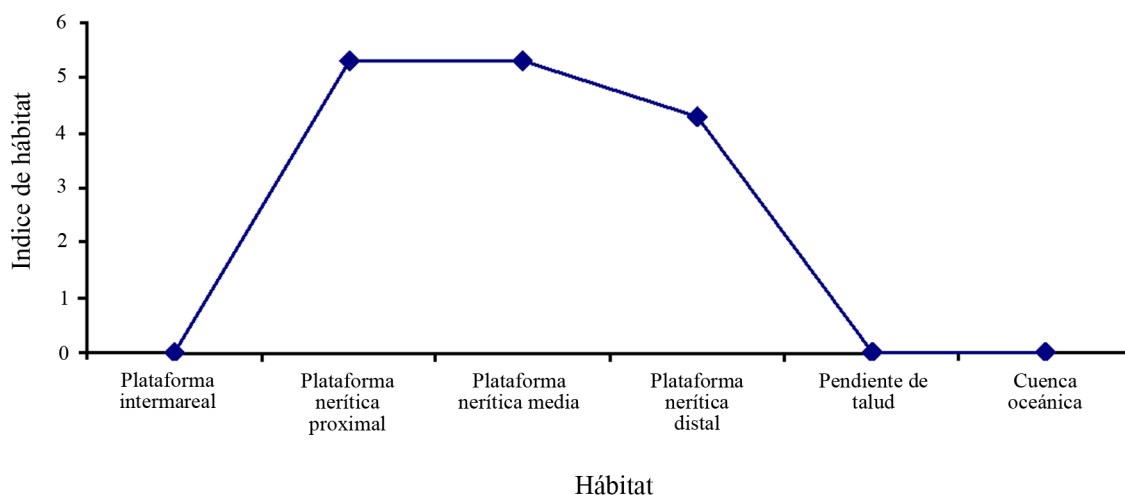


Figura 7. Gráfica de la acumulación de frecuencias donde se observa que el ambiente biótico se concentraba en las facies de plataforma particularmente proximal y media.

(Erben, 1956), y permiten comparaciones objetivas con los demás afloramientos asignados a esta edad.

Con base en los intervalos granulométricos asociados a la escala de Wentworth (1922), obtenidos a partir de la interpretación petrológica, se encuentran diferencias en los intervalos correspondientes (Figura 10), lo que sugiere que esta sección (INV-063) representa un sitio al menos más distante del protolito con respecto a los afloramientos INV-018 (Hernández-Velázquez, 2007), INV-037 (Granados-León, 2007) y INV-040 (Gayosso-Morales, 2007). En dichos afloramientos, ya comparados junto al presente, se reúnen cualidades que respaldan a la Formación Huayacocotla como el desarrollo de un ambiente sedimentario que debió

su existencia a una plataforma nerítica. La plataforma se diferencia en los segmentos proximal, medial y distal con base en argumentos como: la presencia de limolita con sus parámetros texturales, estructura de talla de los bioclastos, la composición de las asociaciones fósiles, la morfología funcional de la fauna y la estructura de la asociación. Adicionalmente, este modelo se sostiene por la comparación con los afloramientos ya mencionados en cuanto a su naturaleza geoquímica investigada en trabajos previos, todo lo cual se discute a continuación.

Para fundamentar el modelo de la plataforma nerítica y su subdivisión, la litología y la petrolología son fundamentales, si bien no determinantes por sí mismas. Sin embargo, como



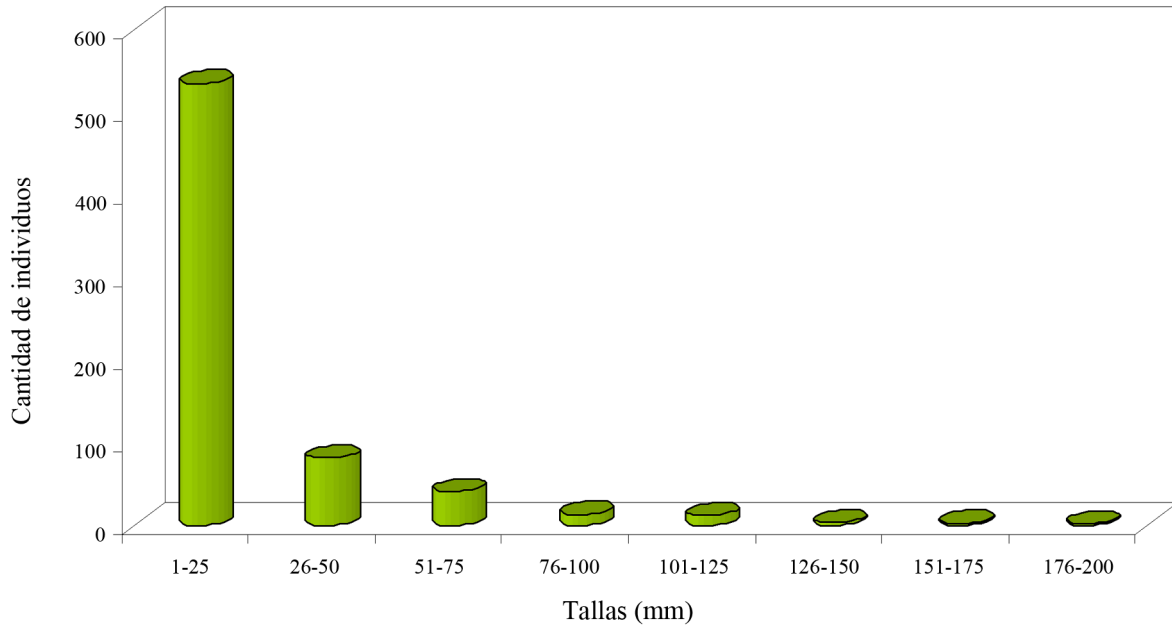


Figura 8. Distribución de frecuencias de las tallas de bioclastos donde se aprecia que el 70% de las tallas se concentran en el intervalo 1-25 mm. La implicación directa de esta estructura de tallas es de un transporte horizontal suficiente para generar una asociación bien seleccionada.

se verá en párrafos subsecuentes, la petrología comparada con otros afloramientos que ya fueron establecidos como plataforma nerítica, es consistente.

La madurez textural de los granos se considera como directamente indicativa de la distancia al protolito y por extensión a la costa durante la depositación (Pettijohn, 1975) ya que en el caso del presente afloramiento, se encuentran arenas que van de finas a muy finas según criterio de Wentworth (1922).

Los granos de la fracción de arenisca se orientan preferencialmente (Figura 9B), lo que implica corrientes de baja energía, consistentes con cierto transporte desde la costa. Adicionalmente, con base en la selección que presentan los granos, se apoya el mismo juicio (Figura 9B y Figura 11) así como basado en la alineación de los bioclastos (Figura 11). Este escenario concuerda con las condiciones ambientales (del sitio de fosilización) de una plataforma nerítica distal, influida marcadamente por las mareas. Consecuentemente, la roca representa el lugar donde los restos orgánicos fueron fosilizados.

En cuanto a las tallas de bioclastos, con excepción de *Posidonotis semiplicata*, el material fósil encontrado se depositó en forma de fragmentos arrastrados por la corriente, las tallas denotan su acumulación (Figura 7), la cual está centrada en el intervalo 1-25 mm (lo que representa el 77% de los bioclastos), implicando movimiento horizontal; sin embargo, en el sitio de depositación, estos fragmentos generaron asociación 3, que contrasta con otras que son producto de condiciones de baja energía, las que quedaron depositadas alternativamente en la secuencia (Figura 5). Las

asociaciones modalidad 1 y 2 (Figura 5A y 5B), implican bajo o nulo régimen de energía (Esquivel-Macías *et al.*, 2005). En el caso de una corriente leve (algunos mts/seg.) se aglutinarían los fragmentos aún completos en una modalidad que aquí se denomina tipo 2 (Esquivel-Macías *et al.*, 2005), cuyas conchas sufren poco desgaste, fenómeno que evidencia procedencia del material desde un área cercana. La asociación tipo 3 (Esquivel-Macías *et al.*, 2005) (Figura 5C), muestra fragmentos de las mismas especies que en las dos asociaciones previas, pero seguramente concentradas por efecto de un arrastre mayor que las dos anteriores, apoyado por que los fragmentos se disponen con sus diámetros mayores paralelos (Figura 5C). Un cambio en tal régimen de energía pudo acumular material desde la zona nerítica proximal.

En cuanto a sus aspectos funcionales, la morfología de las conchas de amonites deja poca duda que el hábitat de los ejemplares de estudio se encontraba en aguas neríticas (Chamberlain, 1976; Saunders y Wehman, 1977; Ward *et al.*, 1980; Landman *et al.*, 1996). En consecuencia, ya que los amonites sufrieron flotación *postmortem* y por lo tanto dispersión tafonómica *postmortem*, cabe esperar su depositación al azar dentro de su ámbito de distribución, por lo que es muy probable que las presentes especies se depositaran en la misma zona nerítica y por ello se les encuentra en los tres tipos de asociaciones.

Los datos obtenidos mediante la acumulación de frecuencias en la preferencia de ambiente, respecto a la morfología funcional de los fósiles (Tabla 2), refuerzan la apreciación de que en el afloramiento están representadas

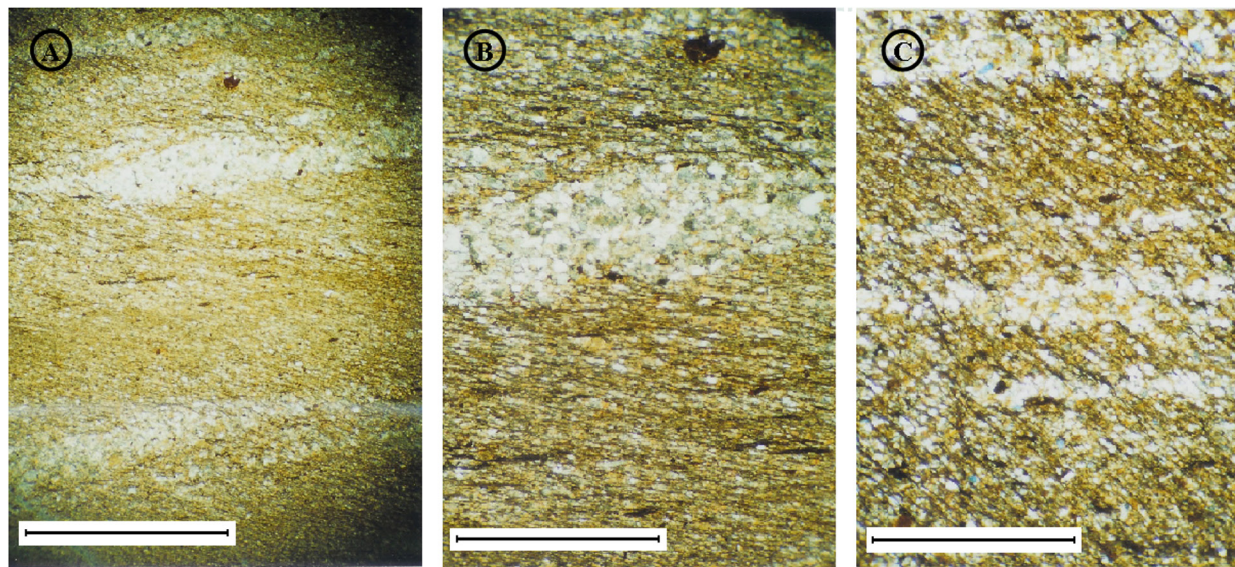


Figura 9. Aspectos de la petrología sedimentaria. A) Intercalación de lentes de arenisca milimétricos en el limo (la barra corresponde a 800  $\mu$ ). B) Se aprecian los granos de arenisca cuarzo feldespáticos que forma el lente (la barra corresponde a 400  $\mu$ ). C) Se observa la angulosidad y redondeo de los granos así como su orientación (la barra corresponde a 400  $\mu$ ).

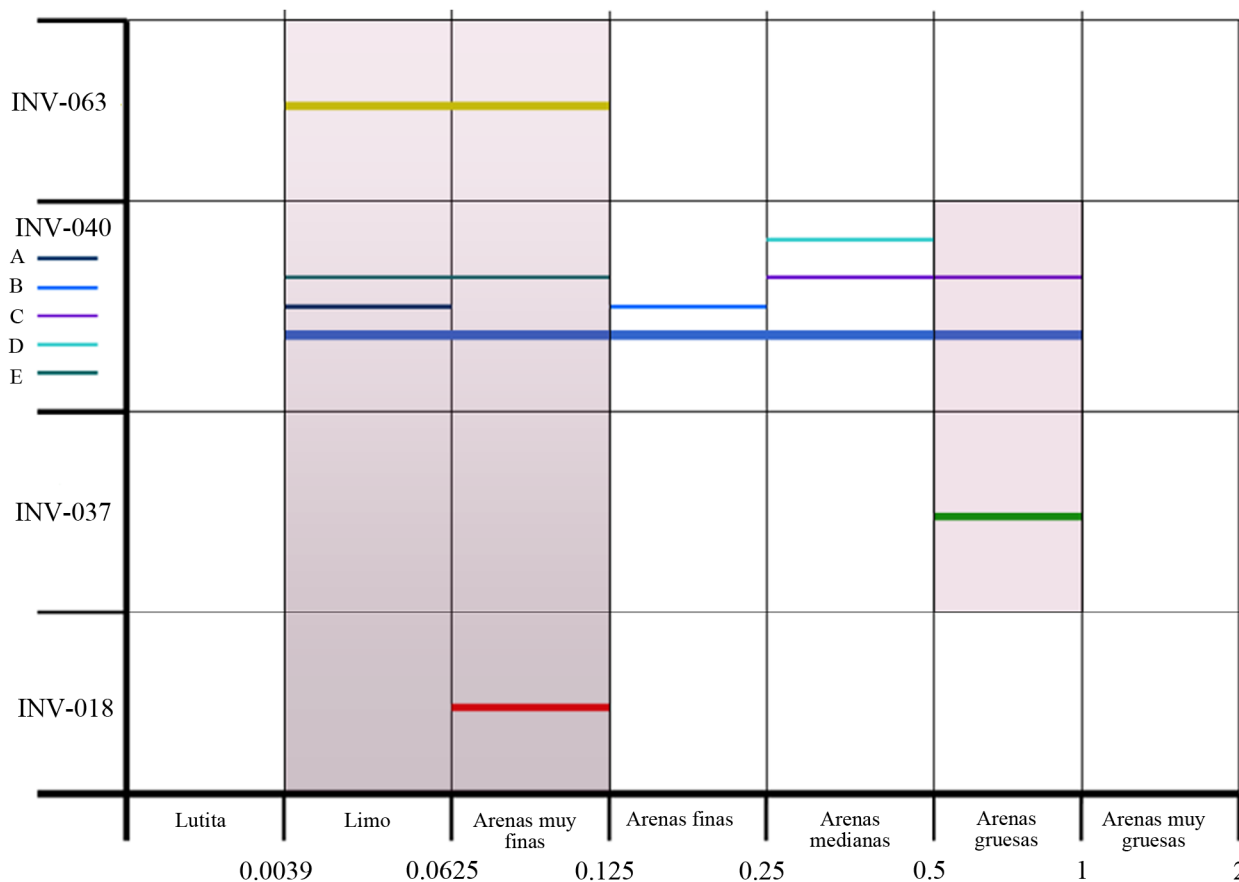


Figura 10. De acuerdo con el gradiente granulométrico que presentan los sedimentos en los distintos tipos de roca encontrada en los afloramientos, se representa su ubicación unos con respecto a otros considerando que las arenas muy gruesas tendrían la mayor cercanía a la costa. El gradiente se establece conforme a la escala de Wentworth. En INV-040 las letras A, B, C, D y E, corresponden a afloramientos del conjunto Bopo.



Figura 11. Se aprecia como la imbricación de los granos corresponde con un sentido preferencial de la corriente (izquierda). A la derecha se aprecia la manera en que quedan alineados por efecto de una corriente débil los bioclastos en este caso de amonites.

las tres facies de plataforma (Figura 7).

La comunidad representada por las asociaciones del afloramiento, presenta un índice de diversidad de Simpson alto (0.886), mayor al de los afloramientos previamente comparados y por tanto un bajo índice de dominancia. Ya se dijo en párrafos previos que esta diversidad refleja la previamente existente en la comunidad original, con ello el presente afloramiento es el mejor ejemplo hasta ahora de lo que debió ser la comunidad bentónica tropical original, en relación a afloramientos previamente discutidos.

Adicionalmente cabe tomar en cuenta que este nuevo afloramiento, excepto por su mayor diversidad, es muy similar a los otros afloramientos INV-018, INV-037, INV-040, los cuales ya fueron estudiados geoquímicamente (Ángeles-Cruz, 2006; Flores-Castro *et al.*, 2006), habiendo generado evidencia homogénea sobre la naturaleza del protolito y las condiciones de sedimentación de una cuenca tectónica intra-arco con una circulación semirestringida. En consecuencia, cabe sugerir que la plataforma nerítica que aquí se documenta se desarrolló dentro de los límites de una cuenca tectónica intra-arco, donde la disoxia del fondo es una cualidad relevante para explicar las condiciones de fosilización. Entre los múltiples factores ambientales, el relativo al oxígeno es relevante. Con base en los trabajos de Ángeles-Cruz (2006) y Flores-Castro *et al.* (2006), podemos postular que había por lo menos dos variantes en esta cuenca: la primera en un escenario de aguas someras bien oxigenadas donde habitaban la mayoría de los organismos bentónicos como los bivalvos y nectónicos como amonoides; y la segunda, en el sitio de depositación, donde las condiciones fueron disóxicas debido a la restricción de circulación mencionada, que acumuló materia

orgánica, lo que indujo que se preservaran las asociaciones representadas en el afloramiento. Un indicativo de que así pudo suceder, presente en la asociación fósil que nos ocupa, es la presencia del bivalvo *Posidonotis semiplicata*, aparentemente viviendo en el sitio de la fosilización, ya que es considerada una especie indicadora de condiciones disóxicas (Aberhan y Pálfy, 1996).

Consistentemente con estos argumentos, a nivel petrológico pueden observarse abundantes restos de material orgánico, que se preservó en el sitio al no poderse oxidar, y que le dan el color oscuro característico a esta roca junto a frecuentes nódulos de pirita y algunos fósiles piritizados. Puesto que este mineral requiere condiciones reductoras para cristalizarse, además de abundante materia orgánica en descomposición (Luther, 1991; Morse y Luther, 1999), representa un apoyo a la interpretación del ambiente sedimentario.

## 6. Conclusiones

Los fósiles del afloramiento INV-063 perteneciente a la Formación Huayacocotla, indican condiciones marinas, específicamente un ambiente de plataforma nerítica con circulación semirestringida, representada en sus tres principales partes, es decir, nerítica proximal, nerítica media y nerítica distal, siendo las rocas del afloramiento indicadoras de esta última. Además, los sedimentos de esta facies nerítica distal presentan rasgos que testifican episodios de cambios cíclicos, tipo marea de corta duración así como condiciones disóxicas.

Las corrientes pudieron llegar a esta parte de la



plataforma nerítica distal con material fosilizable con bajo régimen de energía, lo que se infiere a partir del acomodo de los granos en el sedimento y de las conchas, tanto de amonites como de bivalvos.

Estas corrientes, al acarrear consigo conchas o sus restos rotos hasta el sitio de depositación, originaron los tres tipos de asociación fósil encontrados en el afloramiento, según la distancia recorrida por los clastos.

De la fauna fósil encontrada en el afloramiento, únicamente el bivalvo *Posidonotis semiplicata* podía resistir las condiciones disóxicas. Conforme a los datos aportados por su morfología funcional y el análisis de distribución de frecuencias en la preferencia del ambiente, el resto de la fauna responde mejor a una distribución dada principalmente hacia la plataforma nerítica media y proximal, en zona fótica bien oxigenada, donde habrían vivido.

La estabilidad de las condiciones que presentaba la plataforma nerítica a largo plazo, culminaron con la formación de esta secuencia y brindaron el óptimo ecológico que pudo sustentar una alta diversidad a través del tiempo.

El afloramiento corresponde con la Zona *Raricostatum*, Sinemuriano superior, determinado por haberse encontrado los fósiles índices de la familia Echioceratidae, siendo además la que representa mayor abundancia entre la fauna identificada para el sitio.

## Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes de la Licenciatura en Biología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, José Eduardo Gutiérrez González, Fernando Pérez Cervantes y Arturo Plata Narváez, por su importante apoyo en las dos recolectas de material realizadas para este trabajo. Se agradece a dos revisores anónimos, cuyos valiosos comentarios permitieron dar forma final a este texto

## Referencias

- Aberhan, M., 1998, Early Bivalvia of western Canada. Part I. Subclasses Palaeotaxodonta, Pteromorphia and Isofilibranchia, *Beringeria*, 21, 57-150.
- Aberhan, M., Pálffy, J., 1996, A low oxygen tolerant East Pacific flat clam (*Posidonotis semiplicata*) from the Lower Jurassic of the Canadian Cordillera, *Canada Journal Earth Sciences*, 33, 993-1006.
- Ángeles-Cruz, C., 2006, Geoquímica de las rocas sedimentarias jurásicas en localidades fosilíferas de la Sierra Madre Oriental (Tenango de Doria-San Bartolo Tutotepec, Hidalgo): Implicaciones paleoambientales: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tesis profesional.
- Blau, J., Meister, C., 2000, Upper Sinemurian Ammonite Successions Based on 41 Faunal Horizons: an attempt at worldwide correlation: *Georesarch Forum*, 6.
- Blau, J., Meister, C., Schlatter, R., Schmid-Effing, R., 2001, Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México) Part II: Erbenites n.g., a new Asterozeratinae: *Neus Jahrbuch fur Geologie Palaontologie Monashefte*, 3, 175-183.
- Blau, J., Meister, C., Schlatter, R., Schmid-Effing, R., 2003, Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México) Part III; Echioceratinae: *Revue Palaibiologie Gêneve*, 22(1), 421-437.
- Blau, J., Meister, C., Schmid-Effing, R., Villaseñor A.B., 2008, A new fossiliferous site of Lower Liassic (Upper Sinemurian) marine sediments from the southern Sierra Madre Oriental (Puebla, Mexico) ammonite fauna, biostratigraphy, and description of *Ectocentrites hillebrandti* new species: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25(3), 402-407.
- Böse, E., 1894, Uebes liaseche und mitteljurossische Fleckenmergel in den bayerischen Alpen: *Zeitschrift per Deutschen Geologische Gesellschaft*, 46, 703-768.
- Burckhardt, C., 1930, Etudes syntétiques sur le Mesozoique Mexicain: *Societe Paleontologique Suisse*, 49(50), 1-280.
- Chamberlain, J.A., 1976, Flow patterns and drag coefficients of cephalopod shells: *Palaeontology*, 19, 539-563.
- Corrales-Zarauza, I., Rossell-Sanuy, J., Sánchez de la Torre, L.M., Vera-Torres, J., Villas-Minondo, L., 1977, Estratigrafía, (Rueda): Madrid, España, 717 p.
- Crick, R.E., 1983, The practicality of vertical cephalopod shells as paleobathymetric markers: *Bulletin of the Geological Society of America*, 94, 1109-1116.
- Damborenea E.S., González-León C.M., 1997, Late Jurassic bivalves from Sonora, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14(2), 178-201.
- Dueñas-García, J.C., Frias-González, M.A., Benítez-López, J., Macedo-Palencia R., Rodríguez-Salinas, J.J., 1992, Monografía Geológico Minera del Estado de Hidalgo: México, Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaría de Minas e Industria Básica.
- Erben, H.K., 1956, El Jurásico Inferior de México y sus Amonites, en XX Congreso Geológico Internacional: México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, 393 p.
- Esquivel-Macias, C., 2003, Temapá, Hidalgo: A New Fossiliferous Outcrop from Lower Jurassic with Crinoids and Ammonoids on East Central México, Paleoenvironment Interpretation. 99 th Annual Meeting Cordilleran Section, The Geological Society of America, 35(4), 30 p.
- Esquivel-Macias, C., Flores-Castro, K., León-Olvera, R.G., 2007, Paleambiente y composición de las asociaciones fósiles de moluscos en una localidad del sinemuriano superior de la región de Pahuatlán; Puebla, en: Ríos-Jara, E., Esqueda-González, M.C., Galván-Villa, C.M (eds), *Estudios sobre Malacología y Conquiliología en México: Universidad de Guadalajara-Sociedad Mexicana de Malacología. A.C.*, 222-224.
- Esquivel-Macias, C., León-Olvera, R.G., Flores-Castro, K., 2005, Caracterización de una nueva localidad fosilífera del Jurásico Inferior con crinoides y amonites en el centro oriente de México. (Temapá-Hidalgo): *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 22(1), 97-114.
- Félix, J., Lenk, H., 1889, Beitiage zur Geologie und Palantologie der Republik Mexico: Leipzig, stuttgart, Verlag von Arthur Félix und E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E.Nagele), 3.
- Flores-Castro, K., 1993, Bosquejo estratigráfico de la Porción Oriental del Estado de Chihuahua, México: Universidad Autónoma del Estado de Chihuahua, Facultad de Ingeniería, Tesis profesional, 63 p.
- Flores-Castro, K., Ángeles-Cruz, C.A., Torres-Valencia, J.M., Armstrong-Altrin, J.S., Esquivel-Macias, C., 2006, Pristane/Phytane ratio in Sinemurian siliciclastic Rocks from the Huayacocotla Group; State of Hidalgo, Mexico: *Latin American Association of Organic Geochemistry*, 10.
- Gayosso-Morales, M.A., 2007, Análisis paleoambiental mediante fósiles de invertebrados del Jurásico Inferior (Sinemuriano) en la localidad del Bopo, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área académica de Biología, Tesis de Licenciatura, 123 p.
- Granados-León, A., 2007, Interpretación de paleoambientes marinos del grupo Huayacocotla con base en invertebrados fósiles en la localidad "Peña Blanca", Municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área académica de Biología. Tesis de Licenciatura, 62 p.

- Hernández-Velázquez, E.J., 2007, Interpretación de paleoambientes del Sinemuriano superior (Jurásico Inferior) del Grupo Huayacocotla en la región de Pahuatlán, Puebla: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área académica de Biología. Tesis de Licenciatura, 123 p.
- Imlay, R.W., Cepeda, E., Álvarez, M., Díaz-González, T., 1948, Stratigraphic relations of certain Jurassic formations in eastern Mexico: American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 32(9), 1750-1761.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1983, Carta Geológica Pachuca, F 14-11, escala 1:250 000: México, Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- Landman N. H., Kazushige, T., Davis R.A., 1996, Ammonoid Paleobiology, Plenum Press.
- López-Ramos, E., 1979, Geología de México: México, D.F. 3. 446 pp.
- Luther, G., 1991, Pirite synthesis polysulfide compounds: Geochimica et Cosmochimica Acta, 60, 951-960.
- Meister, C., Blau, J., Schlatter, R., Schmidt-Effing, R., 2002, Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México). Part II: Phylloceratidea, Lytoceratoidea, Schloteimiidae, Arietitinae, Oxynoticeratidae and Eoderoceratidae, Revue Paleobiologie, 21(1), 391-409.
- Meister, C., Blau, J., Domergues, J.L., Schlatter, R., Schmidt-Effing, R., Burk, K., 2005, Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México). Part IV: Biostratigraphy, Palaobiogeography and taxonomic addendum, Revue Paleobiologie, 24(1), 365-384.
- Microm S.A. de C.V., 1984, Diverbas, programa computacional: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, E.C., 2001, Métodos para medir la biodiversidad: M&T-Manuales y Tesis SEA, 1, 84 p.
- Morse, J., y Luther, G., 1999, Chemical influences on trace metalsulfide interactions in anoxic sediments: Geochimica et Cosmochimica Acta, 63, 3373-3378.
- Pettijohn, E.J., 1975, Sedimentary Rocks, Third Edition: Harper & Row, Publishers inc.
- Saunders, W.B., Shapiro, E.A., 1986, Calculation and simulation of ammonoid hydrostatics: Paleobiology, 12, 64-79.
- Saunders, W.B., Wehman, D.A., 1977, Shell strength of Nautilus as a depth limiting factor: Paleobiology, 3, 83-89.
- Schlatter, R., Schmidt-Effing, R., 1984, Biostratigrafía y fauna de ammonites de Jurásico Inferior (Sinemuriano) del área de Tenango de Doria (Estado de Hidalgo, México) en III Congreso Latinoamericano de Paleontología: Oaxtepec México.
- Schmidt-Effing, R., 1980, The Huayacocotla Avlacogen in México (Cogen Jurassic) and the Origin of the Gulf of México, in Pilger Jr., R.H. (ed.) Symposium on the origin of the Gulf of México and the early Opening of the Central North Atlantic, Proceedings: Baton Rouge, USA, Louisiana State University, 79-86.
- The Rock-Color Chart Committee (U. S. Geological Survey, The Geological Society of America, The American Association of Petroleum Geologist, The Society of Economic Geologist, The Association of American State Geologist), 1991, Rock Color Chart with genuine Munsell color chips: Bulder Colorado USA, Octava reimpression.
- Ward, P.D., Greenwald, L., Rougerie, F., 1980, Shell implosion depth for living Nautilus macromphalus and shell strength of extinct cephalopods: Lethaia, 13, 182.
- Wentworth, C.K., 1922, A scale of grade and class terms for clastic sediments: Journal of Geology, 30:377-392.
- Westerman, G.E.G., 1990, New developments in ecology of Jurassic-Cretaceous ammonoids in: Pallini, G., Cecca, F., Cresta, S., Santantonio, M. (eds.), Fossil evolutive, Ambiente, Atti II Convention International Pergola, Tecnostampa, Ostra Vetere, Italy, 459-478.

Manuscrito recibido: Febrero 27, 2009.

Manuscrito corregido recibido: Junio 13, 2009.

Manuscrito aceptado: Junio 18, 2009.