# PALEOAMBIENTE DE UN AFLORAMIENTO DEL SINEMURIANO SUPERIOR EN LA FORMACIÓN HUAYACOCOTLA CON BASE EN ATRIBUTOS TAFONÓMICOS

Carlos Esquivel-Macías<sup>1</sup>, Kinardo Flores-Castro<sup>2</sup>, Victor Bravo-Cuevas<sup>1</sup> y Rita Gabriela León-Olvera<sup>3</sup>

#### Resumen

Hasta el momento la Formación Huayacocotla carece de estudios paleoambientales. El presente estudio se realiza para el Sinemuriano con base en una asociación de amonites, bivalvos y equinodermos en un afloramiento de la localidad de Pahuatlán, Puebla. Los amonites al provenir de la columna de agua y los bivalvos y equinodermos al ser de hábitos bentónicos con diferentes grados de transporte definen dos tafofacies. La primera con restos de amonites completos y aislados, y con bivalvos frecuentemente articulados, similares a los de la descripción original de la localidad tipo de la Formación Huayacocotla. Dicho arreglo sedimentario subyace y superyace transicionalmente a una segunda tafofacies.

La segunda tafofacies tiene tres variantes laterales, incluyendo desde numerosos bivalvos de talla uniforme y orientación preferencial flanqueando a una mezcla de amonites y bivalvos completos no articulados pero acumulados y fragmentos de orden milimétrico no reconocibles taxonómicamente, funcionando parcialmente como matriz de las conchas completas acumuladas.

La morfología funcional del material fósil es consistente con la plataforma nerítica proximal (*Gervillella sp., P. rothpletzi*) y medial (*Gleviceras chofatti Paltechioceras harbledownense, P. rothpletzi, Weyla sp.*) así como otros del borde de plataforma nerítica (*Phylloceras sp.*).

Por otra parte el análisis de nueve atributos tafonómicos (Preservación, Perforación, Incrustación, Desarticulación, Deformación, Orientación, Posición, Fragmentación, Tamaño de los restos) evidencía redeposición postmortem de algunos amonoites, bivalvos y crinoides y el arrastre moderado in vivo de bivalvos. La tendencia de los datos tafonómicos representada mediante tafogramas concuerda con un ambiente de alta tasa de sedimentación y flujo lateral de bajo volumen. Tal evidencia junto a la petrología sedimentaria sugiere que dicha tafofacies fue originada por un temporal, tal vez una creciente fluvial, mientras la presencia menor de filocerátidos sugiere la cercanía de una cuenca abierta. La indicación sobre el aporte de agua continental a una plataforma nerítica se refuerza con la presencia de restos vegetales y compuestos de plantas superiores como; pristano/fitano y alcanos (n-27), recientemente reportados sobre la Formación Huayacocotla en estudios simultáneos al presente.

Palabras clave: Liásico, Sinemuriano, Huayacocotla, Amonites, Bivalvos, Equinodermos, Paleoambiente.

# Abstract

The paleoenvironmental studies of the Huayacocotla Formation of Sinemurian age (early Jurassic) are scarce, thus it is presented a paleoenvironmental interpretaction based on a invetebrate fossil assemblage recovered from strata belonging to that body rock, that outcrop in the state of Puebla, central Mexico. The invertebrate record is represented by ammonoids that are inhabitants of the water-column, as well as by benthic bivalves and benthic equinoderms of silt-sandy sediments. In the present report are defined two different taphofacies. The taphofacies 1 is characterized by complete but isolated ammonoids and articulated bivalves; this fossil arrangement is comparable to that observed in the type locality of the Huayacocotla Formation. The taphofacies 2 shows three lateral variants, including bivalves of similar size that are preferentially oriented;

1. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, C.P. 42184 México. Email: esquivel@uaeh.edu.mx

2. Centro de Investigaciones en Materiales y Ciencias de la Tierra. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, C.P. 42184 México. Email: floresk@uaeh.reduaeh.mx

3. Bosque de los Robles 218, Bosques del Peñar, Pachuca, Hidalgo, México, C.P. 42001 México. Email: galeon10@hotmail.com a mixture of disarticulated ammonoids and bivalves that are complete; and unidentifiable bioclasts of milimetric size. The functional morphology of the fossil material are indicative of proximal neritic platform (*Gervillella sp., Paltechioceras rothpletzi*), medial neritic platform (*Gleviceras chofatti, P. harbledownense, P. rothpletzi, Weyla sp.*), and distal neritic platform (*Phylloceras sp.*).

On the other hand, the analysis of nine taphonomic variables (preservation, perforation, incrustation,

disarticulation, deformation, orientation, position, fragmentation, and size of the bioclasts) schematized in ternary taphograms, suggests postmortem redeposition of some ammonoids, bivalves and crinoids; and moderate dragging of the bivalves. The taphonomic data are consistent with an environment characterized by a high sedimentation ratio and lateral flux of low volumen; this contention with the sedimentary petrology suggest that, in particular, the Taphofacies 2 probably resulted by a fluvial crecient, whereas the presence of phyloceratids suggests proximity to the open sea. The influx of near-shore water to the neritic platform is corroborated by the presence of plant remains and its chemical compounds, including pristane, phytane, and alkanes (n-27); these elements were reported in previous geochemical studies performed simultaneously in the study area.

# Key Words: Liassic, Sinemurian, Huayacocotla, Ammonites, Bivalves, Echinoderms, Paleoenvironment

#### Introducción

La Formación Huayacocotla, en el centro-oriente de México, descrita por Imlay et al. (1948) fue estudiada paleontológicamente por Erben, (1956b) y litoestratigráficamente por Schmidt-Effing (1980) y Schlatter y Schmidt-Effing (1984) (Figura 1). Dada su afinidad y semejanza con la fauna sinemuriana europea la formación Huayacocotla también ha sido estudiada bioestratigráficamente por Meister et al. (2002) y Blau et al. (2001, 2003, 2009). Aunque en la región Pahuatlán / Tenango (Figura 1) en los límites de los estados de Puebla e Hidalgo se localizan afloramientos fosilíferos del Sinemuriano que además han sido estudiados paleoambientalmente por Esquivel-Macías et al. (2005) y Arenas-Islas et al. (2009). También se tienen estudios previos sobre la Formación Huayacocotla que se hicieron en el valle adyacente de Tenango de Doria, Estado de Hidalgo, estableciendo correlación con el Liásico Europeo, entre ellos el de Blau et al. (2001) quien además discute también el aspecto de la conexión marina entre "Proto-Atlántico" y Pacífico durante el Liásico, discusión que también basan en bivalvos Aberhan y Muster (1997), Damborenea y Manceñido (1979; 1988), Damborenea González-León (1997), Damborenea (2000; 2002). V

Al respecto Arkell (1956) consideró el alto nivel de endemismo de esta unidad sinemuriana mexicana para afirmar que el Sinemuriano europeo se encontraba muy cerca, mientras que la relación entre cuerpos rocosos jurásicos del Sinemuriano es también clara al revisar la paleogeografía de Westermann (2004).

En consecuencia con las investigaciones previas aún se requiere abordar los estudios paleoambientales del Sinemuriano mexicano, ello conducirá a suplementar los conocimientos sobre el origen paleocuenca. Además ello redundará en el mejor entendimiento del extremo occidental del Reino Tetisiano (sensu Westerman, 2000a; 2000b) durante el Jurásico Inferior, que corresponde a México.

El interés para abordar este afloramiento de manera paleoambiental surge al apreciar el particular arreglo tafonómico de sus restos (sensu Speyer y Brett, 1986; Óloriz *et al.*, 2006) el cual no está descrito aún para la formación Huayacocotla, lo que equivale a decir que representa una variante del paleoambiente sedimentario de la paleocuenca. Dicha observación se sustenta en particular en las capas fosilífera de la tafofacies 1 (Figura 2) la cual recuerda la unidad "d" con conchas de Burkhardt (1930) estudiada por Erben (1956b) que consta de areniscas de grano fino a medio, de color gris-café a verdosas, pero sin



Figura 1. Mapa de la región, donde está señalada la localidad de estudio, los principales rasgos geológicos y las vías de acceso



Figura 2. Columna geológica del afloramiento Chipotla.

la estratificación que describen los últimos autores, aunque coincide con la presencia de los moldes externos de los fósiles. Así mismo Erben (1956b) describe dicha facies como limolita gris-café que podría corresponder con la capa uno y tres del presente estudio (Figura 2). Sin embargo al comparar, varían la densidad de fósiles y la abundancia de bivalvos, particularmente de la capa seis con respecto a las capas supra e infrayacentes (Figura 2), lo que evidencia distintos arreglos tafonómicos (Figura 3) y composición faunística diferente a la de Erben (1956b), además de la presencia de restos vegetales y palinomorfos (figura 4).

Por lo tanto el objetivo del presente es aportar información del paleoambiente con base en una asociación multiespecífica de amonites y bivalvos en un afloramiento de la Formación Huayacocotla. Ello permitirá sugerir algunas cualidades del ambiente sedimentario con base en los atributos tafonómicos de los moluscos, apoyado en la morfología funcional de los taxa representados y en la petrología sedimentaria.

## **El Afloramiento**

La litoestratigrafía del paquete clástico estudiado es comparable a la pizarra Potrero (Böse, 1898), equivalente a la unidad "d"con conchas de Burkhrdat (1930), que fue adoptada por Erben (1956b) en la sección tipo de la



Figura 3. Aspecto de algunas de los atributos tafonómicos cuando se observan sobre los restos fósiles.



Figura 4. Restos vegetales de origen continental visualizados en láminas delgadas de la secuencia.

Formación Huayacocotla descrita previamente por Imlay *et al.* (1948) y cuya denominación previa era Pizarra Potrero (Böse, 1898), como parte de los sedimentos sinemurianos del anticlinorio de Huayacocotla; La unidad fue levantada posteriormente por el plegamiento laramídico terciario y expuesto por la subsiguiente distensión cortical y erosión (López-Ramos, 1979; Dueñas-García *et al.*, 1992). El espesor completo de la formación en la localidad tipo se desconoce, pero alcanza al menos 400m. en la localidad estudiada; de manera análoga, aunque se sabe que la formación sobreyace en la localidad tipo a la Formación Huizachal del Triásico (Mendoza-Rosales *et al.*, 1992); la cual está representada por conglomerado polimíctico en el fondo de los arroyos, en la localidad de estudio ello no se observó.

La edad del afloramiento, es según la bioestratigrafía de Blau y Meister (2000) quienes contrastan el Sinemuriano Superior de Norteamérica contra el de Europa y permiten señalar la Zona *raricostatum* con la que se determina al afloramiento.

El sitio se encuentra en los N 20° 16' 21.6" y W 98° 09' 23.6" (Figura 1), consiste en una secuencia de areniscas

y limolitas representados en la Figura 2. La petrología se describe como parte de los resultados junto a la definición de las tafofacies para apoyar la interpretación paleoambiental.

#### **Procedimientos**

El estudio del afloramiento se inició describiendo la litología, color y petrología sedimentaria, esta última por medio de 9 láminas delgadas de 30 micras de grosor en un microscópio petrográfico, donde se revisan las cualidades texturales según los principios petrológicos de Pettijohn (1975) y el protocolo de Tucker (2003), así como la composición mineralógica del sedimento (MacKenzie, 1994), leyendo la sección delgada en forma habitual.

Los amonites (Figura 5) se identificaron con base en la consulta de los trabajos de Erben (1956b), Meister *et al.* (2002) Blau *et al.* (2003) mientras Damborenea (1987), Damborenea y González-León (1997), Aberhan (1994; 1998) y Cox *et al.* (1969), se emplearon para designar el taxón de los bivalvos mejor preservados. Algunos ejemplares, aunque no identificadas a nivel genérico a causa de encontrarse sólo como molde interno, por su



**Figura 5.** Fósiles: 1 *Gleviceras cf. chofatt*i, barra 9.8mm; 2 suturas de *Phylloceras* sp. Barra 10mm; 3 *Paltechioceras harbledowense*, barra 10mm; 4 P. *rothpletzi*, barra 10mm; 5 *Posidontis cf. semiplicata*, barra 10mm; 6 *Weyla*; alata?, barra 3.3mm; 7 ;*Nuculana*, barra 6.3mm; 8 Espina de Erizo; 9 *Neocrassina* sp., barra 4.8mm; 10 *Protocardia* sp., barra 5.79mm; 11 *Gervillela* barra 5mm; 12 *Brachyura* ?; barra 10mm.

forma general sin duda representan algunos taxones distintos. Esto último permite considerarlos para expresar el índice de diversidad del afloramiento, el cual es un buen medio para establecer su firma particular ya que representa la estructura de la asociación faunística (*sensu* fossil assemblage) del mismo, no así para analizar la morfología funcional ni, por lo tanto el ambiente sedimentario, lo cual sólo se infiere sobre taxones plenamente reconocidos.

## Caracterización paleoambiental

En la caracterización del ambiente se utilizaron: los índices de diversidad, la morfología funcional, el índice de fragmentación, así como los atributos tafonómicos y sus respectivos tafogramas.

El índice de diversidad de Simpson (*sensu* Begon *et al.*, 1989) es la medida básica para caracterizar una asociación de elementos taxonómicos, que toma en cuenta los patrones de abundancia, tanto como la riqueza de especies; adquiere particular valor cuando se comparan diferentes asociaciones o bien afloramientos, para establecer patrones de diversidad, en este caso los diferentes afloramientos de la Formación Huayacocotla. Se calcula como en la ecuación 1:

Ecuación 1 
$$D = 1/s$$
 S  $P^2$ 

i = 1

Donde s es el número total de taxones presentes,  $P^2i$  es el número total de individuos de cada especie dentro de la muestra y **S** es la suma de los últimos; todo dividiendo a 1 como valor que indica la máxima diversidad. Asociado a este parámetro suele calcularse la dominancia o su valor inverso, la equitabilidad (E), donde se evalúa la proporción del máximo valor posible de D, que se asume como si hubiese el mismo número de individuos de todos los taxones involucrados o Dmax = S. Así que resulta la Ecuación 2:

i = 1

Ecuación 2 
$$E = D / Dmax = 1S P^2 i / S$$

Paleontología Mexicana 62



**Figura 6.** Los tafogramas condensan la información tafonómica en función de las tendencias de las muestras, en este caso las tafofacies postuladas en el texto. Los triángulos 1 y 2 muestran respectivamente para Amonites y Bivalvos como se segregan las tafofacies en función del desgaste de los restos en cada una de las variables (números dentro de las figuras geométricas). En los cuatro triángulos menores se muestran respectivamente la tendencias de Tf1, Tf 2a, Tf 2b y Tf 2c, combinando Amonites y Bivalvos (Letras A y B dentro de las figúras geométricas). En conjunto los tafogramas demuestran las tendencias del desgaste en los diferentes arreglos sedimentarios y con ello respaldan la existencia de las tafofacies.

Por lo que la máxima diversidad es proporcional a la máxima equitabilidad [o bien, expresado de forma inversa (1/X) a la dominancia cero]. Este procedimiento se ejecutó mediante la utilización del programa informático Diver-Bas.

Como uno de los métodos de interpretación paleoambiental se usa la morfología funcional y hábitos de los amonites interpretados según Westermann (1996), en función de los tipos de concha, que están asociados a ambientes particulares. Así los oxiconos representan hábitos nectónicos de posibles depredadores activos como *Gleviceras cf. chofatti*; los esferoconos (leiostraca) están asociados a ambientes de plataforma distal, borde de talud y de cuenca oceánica con hábitos planctónicos de migración vertical circadiana, y son posibles consumidores de zooplancton como *Phylloceras*; los serpenticonosplaticonos como sp., se asignan a un intervalo ambiental, que va desde planctónicos sobre plataforma nerítica en zona fótica hasta demersales, con lo que suelen considerarse como herbívoros-filtradores (Tabla 1).

Así mismo se toma en cuenta el hábito, ambiente y estrategia alimentaria inferida para los bivalvos (Tabla 1), para apoyar las interpretaciones del paleoambiente.

Para desarrollar la tafonomía se codifican los datos sobre los atributos tafonómicos (Tabla 2): 1) Preservación (Disolución), 2) Perforación, 3) Incrustación (epibiontes), 4) Desarticulación, 5) Deformación, 6) Posición, 7) Orientación, 8) Fragmentación y 9) Tamaño de los fragmentos. Siete de los atributos (1-5 y 8-9) se codifican y expresan mediante un diagrama ternario (Figura 6), el cual es una herramienta gráfica y analítica que tradicionalmente se ha usado para clasificar rocas sedimentarias; sin embargo es a partir de Kowalewski, *et al.* (1995) que se modifica como base para confeccionar un tafograma ternario que permite considerar cualidades tafonómicas.

La codificación de las variables se obtiene por un criterio comparativo de acuerdo el grado de alteración representado por cualquiera de los atributos citados en un cuadro con tres opciones -buena, regular y mala-, entonces la muestra entera de fósiles, para cada uno de los atributos definidos se caracteriza por la presencia de conchas con daño tafonómico en cada una de las tres categorías y posteriormente se esquematiza como un punto en un diagrama ternario, lo que permite la comparación de varias muestras con respecto al carácter tafonómico escogido o incluso respecto a un conjunto de ellos (Figura 6). Aunque relacionado con la diagénesis temprana (Müller, 1979; Brett y Baird, 1986) se mide también ternariamente en tres estadios la disolución o preservación de las conchas (Figura 6) ya que influye en la interpretación del ambiente.

Por otra parte se registran con criterio binario los atributos de Posición (variable 7) con las opciones

**Tabla 1:** Taxa y número de ejemplares por estrato. Se evidencia la diversidad mayor del estrato 6. Los números de cuatro dígitos entre paréntesis son los respectivos números de catálogo.

Símbolos de ambiente: Transicional (T), Epicontinentales ( E ), Nerítico proximal (NP), Nerítico medio (NM), Nerítico distal (ND), Borde de plataforma (BP), Talud (TD), Pie de talud (PT), Cuenca proximal (CP), Cuenca abierta (CA), Fondos disóxicos (FD). Evitando especies comunes se tiene un total de 22 especies para el afloramiento.

Símbolos de hábito: Bentónico (Ben), Nectónico (Nec), Demersal (Dem), Planctónico (Planc), Neustónico (Neus), Infaunal de sedimentos móviles (Ism), Epifaunal de reclinada en arena suave (Eas), Libre nadadora (Lnad), Reclinada en sedimentos arenosos (Rar), Colonial (Col), Solitaria (Sol), Epibisada en fondos firmes (Eff), Infaunal no bisada (Nbis), Infaunal somera (Infs), Infaunal bisada (Inb), Epibentónico (Epi)

Símbolos de Alimentación: Herbívoro (Herb), Filtradora de plancton (Fil-Pla), Filtrador de fitoplancton (Fil-Fit), Depredador de ictioplancton (Dep-Ict), Micrófago de biofilm (Mic-Bio), Suspensívoro (Sus-vor), Detritívoro (Det-vor), Depredador de bivalvos (Dep-biv).

Tafofacies 2a/Capa 6	Cantidad	Ambiente	Hábito	Alimentación	Fotografía	Edad
Paleonucula	20	E, NP,NM,ND	Nbis	Sus-vor	S / F	Triásico-Jurásico
Gervillella sp.	5	NP	Eff	Sus-vor?	Fig. 4, Foto 10	Triásico-Cretácico
<i>Gleviceras</i> sp. Oxicono	2	NM, ND	Nec	Fil-Pla	Fig. 4, Foto 1	Sinemuriano Zona raricostatum Subzona aplanatum; Horizonte tardecrecens/ oosteri
Paltechioceras rothpletzi Serpenticono	1	NP	Nec/Planc	Fil-Fit	Fig. 4, Foto 4	Sinemuriano Zona Raricotatum Sub Zona Raricostatum Horizonte Liciense/ rothpletzi
Neocrassina	11	E, NP,NM,ND	Nbis	Sus-vor	Fig. 4, Foto 8	Jurásico inferior-Cretácico superior
Bivalvo no id. A (2265)	1	Е	Ben, Epi?	ر؟	<b>S</b> / F	
Brachyura	1	E, NP	Epi	Dep-Biv	Fig. 4, Foto 11	Jurasico infactualidad
Protocardia (2267)	2	E, CP	B, Infs	Sus-vor	Fig. 4, Foto 9	Triásico superior- Cretácico Superior
Madera?	1	T, NP	Continental	N/A	<b>S</b> / F	
Pachymia (aff)	6	T, E	Ben	ί?	S / F	Triásico medio- Cretácico superior
Weyla	3	E, NP,NM	Lnad,Rar	Sus-vor	Fig. 4, Foto 6	Triásico superior- Jurásico medio
<i>Phylloceras</i> Esferocono	3	ND,BP,TD	Nec, Dem	Dep-Ict	Fig. 4, Foto 2	Sinemuriano-Valanginiano
Bivalvo no id. B (2277)	1	Е	Ben, Epi?	ζ?	S / F	
Gervillela (aff)	1	NP	Eff	Sus-vor?	S / F	Triásico-Cretácico
Bivalvo no id. C (2274)	2	Е	Ben, Epi?	ζ?	S / F	
Amonite no id. D (2275)	1	E?	Dem?	i?	S / F	
Bivalvos no id. (2276)	3	Е	Ben, Epi?	ر؟	S / F	
Gasterópodo no id. (2277)	1	Е	Ben, Epi	Det-Vor? Mic- Bio?	S / F	
Paltechioceras harbledownense Platycono	1	E, NP,NM	Nec	Fil-Fit? Dep-Ict?	Fig. 4, Foto 3	Sinemuriano Zonas oxinotum y raricostatum
Nuculana	1	E,NP,	Ism	Mic-Bio	Fig. 4 Foto 7	Triásico-Reciente
Posidontis	1	FD	Eas	Sus-vor	Fig. 4, Foto 5	Jurásico

Capas 5 y 7	Cantidad	Ambiente	Hábito	Alimentación	Fotografía	Edad
P. rothpletzi (2279)	12	NP	Nec/Planc	Fil-Fit	Fig. 4, Foto 4	Sinemuriano Zona <i>Raricostatum</i> Sub Zona <i>Raricostatum</i> Horizonte <i>liciense/</i> <i>rothpletzi</i>
Neocrassina (2280)	40	E, NP,NM,ND	Nbis	Sus-vor	Fig. 4, Foto 8	Jurásico inferior-Cretácico superior
Bivalvos no id. E (2281)	3	Е	Ben, Epi?	2?	S / F	
Gasterópodo no id. (2282)	2	Е	Ben, Epi	Det-Vor? Mic- Bio?	S / F	
Protocardia (2284)	1	E, CP	B, Infs	Sus-vor	Fig. 4, Foto 9	Triásico superior- Cretácico Superior
Capa 3	Cantidad	Ambiente	Hábito	Alimentación	Fotografía	Edad
Espina erizo (2283)	1	NP,NM,MD	Ben	Herb	S / F	
P.harbledownense (2283)	2	E, NP,NM	Nec	Fil-Fit? Dep-Ict?	Fig. 4, Foto 3	Sinemuri ano Zonas oxinotum y raricostatum

Tabla 1. Continuación.

concordante con respecto al plano de estratificación o no, y el atributo Orientación (variable 6) que se registra con las opciones preferencial o no con respecto a cualquier tendencia direccional de los clastos. Estos se discuten a partir de la tabla correspondiente sin necesidad de graficarse (Tabla 2).

Los nueve atributos se eligieron a partir de Brett and Baird (1986), Dominici (2004), Parsons-Hubbard (2005), Óloriz, *et al* (2006) en tanto que son observables en los presentes fósiles.

Además la Fragmentación ya medida como la variable 8 codificada ternariamente, como ya se explicó, también se expresa independientemente en forma de índice de fragmentación (Fi) (Tabla 3) (Óloriz *et al.*, 2006) para evidenciar mejor sus consecuencias sobre la determinación del paleoambiente en torno al transporte horizontal de los restos (sensu Spreyer y Brett, 1986). Esta se expresa como:

#### Fi = [(n HFD x 100) + (n MFD x 50) + (n LFD x 1)] / N

Donde: Fi representa el índice de fragmentación que resulta de sumar el número de ejemplares de la muestra (n) en los casos HFD (se respetan las iniciales procedentes del trabajo original en inglés, "High Fragmentation Degree") que indica restos poco representativo del tamaño y forma original de los restos, MFD (Mid Fragmentation Degree) que afecta apreciablemente la forma y el tamaño de los fósiles y LFD (Low Fragmentation Degree) apreciable porque no se observa daño significativo a la forma y tamaño de los restos; multiplicados por los respectivos factores 100, 50 y 1 que indican el grado de integridad por el que se multiplica el número de restos, expresan el grado de daño cuantitativo que coincide en el tafograma correspondiente de la Figura 6. Los resultados de la multiplicación de los tres niveles de daño se dividen entre N (número de muestras) (Tabla 3).

Tabla 3. Índices de fragmentación.

Fi	Tf 1	Tf 2	Tf 2b	Tf 2c
Valores del índice	1	3.85	1	100

## Tafogramas

En la Tabla 4 se observa el registro de los estados de carácter de los atributos tafonómicos que son graficados en los tafogramas, donde se ilustran mediante la simbología correspondiente a cada tafofacies las variables por su nivel de daño (Figura 6).

En los triángulos menores de la misma figura se separan para cada tafofacies sólo las variables representativas (acumuladas), es decir no se ilustran todas las variables sino sólo se resaltan aquellas zonas del triángulo que registran variables para cada una de las tafofacies, haciendo énfasis con ello en la "firma" tafonómica de cada una. En dichos triángulos se señala con un símbolo marcado por "B" (para bivalvos) cuales son los diferentes respecto de "A" (para amonites), para dejar clara cual es la parte de la firma tafonómica debida a amonites y cual a bivalvos, así como cuales son sus semejanzas al respecto. **Tabla 2.** Lista de atributos tafonómicos considerados en la primera columna, así como los parámetros de medición de los mismos en las columnas 2, 3, y 4, luego constan en la columna 5 el criterio con el que se establecen. Se representa en la columna 6 las referencias pertinentes a dicha aplicación. En la columna 7 se anotan las principales cualidades del ambiente de sedimentación que representen y en la columna 8 las referencias del caso.

VARIABLE	0	-	7	CRITERIO	AUTOR	AMBIENTE INFERIDO	AUTOR
MODO DE Preservación (1)	Nula disolución	Disolución parcial	Disolución total	Presencia de Carbonatos de la concha, perdidos durante la diagénesis temprana	Simpson, 1963	Disolución de carbonato por pH bajo, presión alta por sedimentación intensa calor en sepultamiento rápido	Müller, 1979
MODO Preservación (2)	Conservación de la cavidad por medio del molde interno	Colapso de Cavidad virtual	No aplica	Dado el colapso potencial de las cavidades que no se rellenan	Simpson, 1963	Poca permenencia sobre el sedimento en caso de cavidades colapsadas	Este trabajo
PERFORACIÓN	Nula: Sin rastros de perforación	Poca: < 10% de la superficie con daño	Alta: > 10% de superficie perforada	Orificios practicados por organismos perforadores	Dominicci, 2004	Conchas sobreyacientes muertas en fondo areno limoso somero bien oxigenado, poco tiempo	Kidwell, 1986
EPIBIONTES	Nula, sin rastros de perforación	Poca, < 10% de la superficie con daño	Alta: > 10% de superficie con daño	Tubos calcáreos sobre las conchas de bivalvos ancladas.	El-Hedeny, 2007	Ambientes de baja energía, sugiere considerable exposición sobre el sedimento	El-Hedeny 2007
DESARTICULADO	Valvas unidas por la charnela	Valvas juntas: Sin unión por la charnela	Valva aislada	Fractura de charnela con separación de las valvas.	Brett y Baird, 1986	Corrientes u oleaje. En bajo grado hay poco transporte lateral y bajo volumen, son restos sueltos	Brett y Baird,1986
DEFORMACIÓN	Nulo daño: Sin deformación	Poco daño: < 50% de la superficie deformada	Alto daño: > 50% de la superficie deformada	Modificación estructural parcial de la concha por la colisión con otras.	Este trabajo	Flujo lateral, presión por alta tasa de sedimentación. esfuerzo tectónico en diagénesis (Müller, 1979)	Este trabajo
NÓISOIdMI	Nulo daño: Conchas estructuralmente completas	Colapsada: Fragmentación sin dispersión	No aplica	Respuesta de amonite a presión hidrostática, resulta en colapso	Fernández-López y Meléndez 1994	Nulo daño representan ambientes someros, alto daño ambiente profundo	Fernández- López y Meléndez 1994
ORIENTACIÓN	Ejes longitudinales sin orientación preferencial	Ejes longitudinales aproximadamente paralelos	No aplica	Alineación de las conchas por efectos de la hidrodinámica	Brett y Baird, 1986; Müller, 1979	Ejes mayores alineados implica corrientes	Speyer Y Brett, 1986
POSICIÓN	Superficie mayor del bioclasto paralela respecto al sustrato	Superficie mayor del bioclasto diagonal o perpendicular respecto al sustrato	No aplica	Eje longitudinal mayor paralelo o no con respecto al sustrato	Dodd y Stanton, 1990	Equivalente al "biogenic beding" , depende del grado de bioturbación y/o retrabajo	Dood y Stanton, 1990
FRAGMENTACIÓN	Sin rastros de fragmentación	menos 10% de la superficie fragmentada	> 10% de superficie fragmentada	Fragmentos de concha disgregados	Brett y Baird, 1986	Agitación persistente, acumulación de retrabajados, desintegración	Speyer y Brett, 1986
TAMAÑO DE FRAGMENTOS	0-6 mm	6-25 mm	26-80 mm	Segregación de los fragmentos en función de la distancia lateral recorrida	Olóriz et al. 2008; Dodd y Stanton, 1990; Tucker, 2003	Selección de tallas según distancia de transporte	Brett y Baird, 1986

**Tabla 3.** Atributos tafonómicos para amonites. Primera columna: 1.- Modo de preservación, 2.- Perforación, 3.- Epibiontes, 4.-Desarticulación, 5.- Deformación, 6.- Orientación, 7.- Posición, 8.- Fragmentación, 9.- Tallas de bioclastos, ver la explicación de sus criterios en Tabla 4. Segunda columna contiene la asociación tafonómica (Muestra) 2a, 2b, 2c, 1. Tercera Columna opción ternaria cero o ausencia de daño. Cuarta columna posición ternaria 1 o daño intermedio. Quinta columna opción ternaria 2 o daño avanzado (en caso de opciones Binarias 0 y 1 significa atributo presente o ausente y habrá un correspondiente N/A significando no aplica, en la quinta columna). En la sexta columna habrá comentarios sobre la conveniencia de tomar el dato o fusionarlo con otro. También se utiliza N/A para significar que ese atributo no es observable en esa categoría o que no se diferencia la categoría 2b de la 2c.

VAR	STR	0	1	2	Т	COMENTARIOS
	22	0	0	180		
	2d	0%	0%	100%	180	
1 Preservación	26.26	0	0	130	-	fo combinen 3h v 3c
	20-20	0%	0%	100%	130	Se combinan 20 y 20
		0	0	73		
	1	0%	0%	100%	73	
		157	10	13	100	
	2 a	87%	5.5%	7.2%	180	
	al	106	18	8	122	
2	20	80.3%	13.6%	6.06%	132	
Perforación	20				-	N/A
		70	2	1		
	1	05%	2 70/	1 30/	73	
		180	2.7/0	1.3%		
	2 a	100%	0%	0%	180	
		180	0	0		
3	2b	100%	0%	0%	180	
Epibiontes	2.	10070	0 /0	0 /0		N1/A
-piotones	20					IN/A
	1	29	3	41	73	
		39.7%	4.1%	56.2%	-	
	2 a	29.4%	11%	69.4%	180	
		29	0	103	100	
4	26	21.9%	0%	78.03%	132	
Desarticulación	20				-	N/A
		20	3	/1		
	1	39.7%	4.1%	56.2%	73	
	2.2	170	7	3	190	
	2 d	94%	3.8%	1.6%	100	
	2h	132	0	0	132	
5		100%	0%	0%	132	
Deformacion	2c				-	N/A
		73	0	0		
	1	100%	0%	0%	73	
	_	8	168	Binario		
	2 a	5%	95%		176	A/ B
6 Orientación	21	0	100	Binario		
	20	0%	100%			
	20					NI/A
	20					19/7
	1				-	No se tomó en el campo
		156	3.1	Binario		
	2 a	82%	17.8%		190	A/B
	21-	18	114	Binario		
7	20	13.6%	86.3%		132	
Posición	20	100	0	Binario		A/R
		100%	0%		100	
	1	72	5	Binario		A/ B
	1	L		1		

# **Resultados y Discusión**

#### Litofacies y Tafofacies

Litofacies 1. De acuerdo con la columna (Figura 2), el primer nivel del afloramiento, mide 6.7m de arenisca que se encuentra en el intervalo de composición que va de cuarzo-arenisca a subfeldsarenisca arkosalítica muy fina, no fosilífera, color gris pardusco (5YR 3/1), cuyos clastos son desde esféricos hasta subesféricos (0.3 a 0.9) y desde angulosos hasta subangulosos (0.1 a 0.7), sin alineación preferencial; la matriz es arcillosa, ocupando menos del 5% del sedimento. Presenta 60-70% de cuarzo y 15-20% de plagioclasa con macla polisintética; dicha composición implica protolitos intrusivos, además de que rocas de este tipo, aún sin fechar, se han visto en la base de la formación durante el curso de este trabajo; se presentan 2% de cuerpos opacos, posiblemente de pirita, producto de la condiciones disóxicas durante la diagénesis temprana. El feldespato está poco alterado y existe clorita en forma de filosilicatos que podría ser posdiagenética.

El tercer nivel de 9.8m responde a la misma descripción de arenisca limosa/ subfeldsarenita arkosalítica, mismo color, esfericidad, redondeo, sin orientación preferente, proporción de minerales cuyo cuarzo tiene extinción ondulante. Se consideran la misma litofacies.

Litofacies 2. Tanto el segundo nivel de 10.3 m de espesor, como el cuarto con 15.6m (Figura 2), son una brecha oligomíctica, por lo que lito y tafofacialmente son semejantes entre si. Ambas contienen amonites y bivalvos muy similares al nivel 3, lo que da pie a considerar que este material derivó del perteneciente a la litofacies 1.

Litofacies 3. Petrológicamente la capa de 4m (Figura 2) que incluye a los niveles 5, 6 y 7 son de arenisca limosa muy fina, cuya esfericidad varía de 0.1 a 0.9 y su redondeo lo hace en la misma proporción (0.1 a 0.9) desde anguloso a redondeado, pero con ligera tendencia de los granos a alinearse; de color gris olivo (5 y 1/2) los tres tienen la misma litología, incluyen fragmentos vegetales y palinomorfos (Figura 4); hay 15-20% de arena de la cual hasta 50-60% es arenisca de cuarzo con 2% de cuerpos opacos amorfos; se presentan plagioclasas con macla en rejilla. En la concavidad de algunos bivalvos hay limo con menor proporción de arena. Existen cloritas en filosilicatos alteradas a partir de plagioclasas que en capas previas, haciendo pensar en la procedencia ígnea intermedia.

Tafonómicamente estos niveles incluyen respectivamente las asociaciones fósiles que son objeto de esta investigación, de tal modo que por las cualidades tafonómicas este segmento de la secuencia se puede dividir en: antes del evento sedimentario estudiado (4m), durante él (30cm) y después del mismo evento que las produjo (2m), sin ser verdaderos estratos; sino que se definen por un cambio de tafofacies 1 a tafofacies 2, esta última con sus variantes (2a, 2b y 2c), y restablecimiento de la Tf 1.

# **Tafofacies**

Se define la tafofacies 1 (Tf 1) con fósiles de amonites grandes, concordantes con el plano de estratificación y con bivalvos aislados en posición muy próxima a la de vida o poco arrastre, sin fragmentación ni contacto entre conchas aún articuladas, lo que completa un arreglo sedimentario consistente con el modelo de fosilización Tipo I, ya sugerido por Johnson (1960) y también consistente con la asociación Tipo 1, ya descrita independientemente por Esquivel-Macías *et al.* (2005) para el afloramiento Temapá de la Formación Huayacocotla y en Arenas *et al.* (2009), (Figura 5) también figura 5 del presente con la base de la litología de litofacies 1.

Se define la tafofacies 2 (Tf 2) como la más fosilífera de la secuencia (figura 2) y por su particular arreglo tafonómico con predominancia de Phylloceras, Gleviceras, P. rothpletzi y P. harbledownense y bivalvos en la litofacies 3, pero apreciable como una acumulación multiespecífica con proporción moderada de restos articulados, algunos pocos rotos y en varios estadios de desgaste, aunque la mayoría de los elementos reconocibles están desplazados de su posición original de vida (Figura 4). La última descripción es comparable con la de Johnson (1960) quien denomina a este tipo de arreglos fosilíferos como "modelo II", que asimismo es consistente con la descripción de asociaciones semejantes en los afloramientos "Temapá" (Esquivel-Macías et al., 2005) y "Fiesta" (Arenas-Islas et al., 2009) de la formación Huayacocotla donde se les denomina como tipo 2, siendo la gran diferencia de estas, respecto de la presente asociación, la mayor riqueza específica y la diversidad, inusuales para esta formación. Además de la petrología ya descrita, tiene láminas de arenisca y limolita alternadas formando estructuras sedimentarias ondulantes que sugieren una corriente; la matriz arcillosa domina sobre los granos de arena. La séptima capa, de 2m, vuelve a la composición y contenido fósil de la quinta, lo que es indicativo de un restablecimiento de las condiciones sedimentarias.

Así las tafofacies 2 está comprendida entre dos capas de la denominada Tf 1 y se describe más detalladamente con tres fases diferentes, de acuerdo a las condiciones de desgaste y acomodo de los bioclastos en 2a, 2b y 2c.

*Tf* 2a representa un conjunto mulitespecífico de conchas completas, que rodaron moderadamente y pertenecen a varias facies más costeras, en varios estadíos de desgaste (Figura 3).

*Tf* 2b muestra un conjunto de bivalvos desarticulados en su mayoría, fuera de su sitio de vida, con tallas muy uniformes, subyaciendo y sobreyaciendo transicionalmente a la Tf 2a). (Figura 3).

*Tf* 2c tiene restos de orden milimétrico, no reconocibles taxonómicamente, formando una matriz de arenisca bioclástica muy gruesa que se acumula estrechamente cerca y en medio de 2a y 2b. Tf 2c es semejante al arreglo fósil denominado Modelo III por Johnson (1960) y a la asociación 3 descrita en Esquivel-Macías *et al.* (2005), porque en ella no hay taxa reconocibles, dada la alta fragmentación, a diferencia de la III y la 3 mencionadas arriba. Por ello se le considera una variante de la Tf 2 al ocurrir en estrecha relación con las variantes 2a y 2b. (Figura 3).

## Material fósil

Se expone en la tabla 1, donde se observan los números de catálogo de los ejemplares. Complementariamente se observa el número de ejemplares identificados taxonómicamente y además consta la cantidad de bioclastos analizados tafonómicamente para cada atributo que evidencia una representatividad adecuada.

## Morfología funcional

Se utiliza la abundancia de filtradores (Figuras 3 y 5. Tabla 1) en el afloramiento como indicativo de la abundante materia orgánica suspendida que se obtuvo en trabajos paralelos a este en de la Formación Huayacocotla (Flores-Castro *et al.*, 2006; Ángeles-Cruz *et al.*, 2007), ya que, a juzgar por el tipo y estructura (morfología funcional) de las bivalvos, la cual es semejantes con los actuales, sugiere semejanza con un mar somero tropical actual, con aportes fluviales cercanos. El misma apoyo paleoambiental se obtiene al considerar a los amonites presentes de los tipos: serpenticono/ platicono (*Paltechioceras* spp), y oxicono (*Phylloceras* y *Gleviceras*) pues existen determinaciones ya publicadas consistentes con la presencia de sitios neríticoproximales, nerítico-mediales y de borde de plataforma nerítica respectivamente (Westermann 1996) (Tabla 1).

Interpretación de los atributos tafonómicos mediante tafogramas.

## **Bivalvos**

En la figura 6 para Bivalvos el atributo 1 (Preservación) muestra que los restos están completamente diluidos para las dos tafofacies, sugiriendo rápido enterramiento en sedimentos de pH bajo por la gran cantidad de materia orgánica y consecuente presencia de H2S, ello además es consistente con la existencia de presión generada por la alta tasa de acumulación de sedimentos que se infiere por medio de la sedimentología para estas secuencias de la Formación Huayacocotla (Esquivel-Macías *et al*, 2005; Arenas-Islas *et al.*, 2009).

El atributo 2 (Perforación) en las mismas tafofacies evidencia bajo daño a la concha por perforación, implicando poco tiempo de permanencia de los restos sobre el sustrato, también es consistente con alta tasa de sedimentación mencionada.

El atributo 3 (Epibiontes tubícolas), de manera semejante a la anterior tiene bajo nivel de afectación a la concha, entendido como incrustación de serpúlidos tubícolas, lo que apoya poco tiempo de exposición de las conchas sobre el sustrato, además muchos de los bivalvos son infaunales, lo que hizo que resultaran perforados de esta manera rara vez, sin embargo tal vez los mayores ejemplares de la tafofacies 1 (Tf 1) habrían tardado más en sepultarse que en la variante b de la tafofacies 2.

En el atributo 4 (Desarticulación) el efecto sobre las conchas tiende a ser extremo; ya sea grande o bien nulo, según la tafofacies considerada, ya sea la Tf 1, o las variantes a o b de la Tf 2; estas dos últimas variantes son producto de un flujo que desarticuló mayoritariamente los restos después de muertos. En cambio en la Tf 1 suele haber aún bivalvos articulados por que no hubo movimiento lateral de sedimento, por lo tanto excepto para la variante c de la Tf 2 este atributo apoya también el flujo lateral moderado.

El atributo 5 (Deformación) caracteriza por baja o nula deformación a las dos tafofacies, incluidas las tres variantes a, b, c de la segunda, indicando, a pesar de la acumulación de restos, que sufrieron flujo lateral de bajo volúmen, poco dañino a la integridad de las conchas que es evidente, al quedar compactadas. La Tf 1 no exhibe deformación y la Tf 2a sí la tiene; sin embargo esta permanece con bajo nivel.

El atributo 6 (Orientación), tiene el 95% de los fragmentos de la Tf 2 orientados preferencialmente en una dirección lateral (Tabla 4) lo que implica que el flujo que produjo la Tf 2 (a, b, y c) tenía esa dirección.

El atributo 7 (Posición en el sustrato) indica también tendencia a la horizontalidad implicando poco desorden en los restos, excepto en la variante Tf 2c, que se presenta como matriz con fragmentación y posición caótica, sugiriendo que se formó en la zona de oleaje y desde ahí se transportó, quedando integrada en este paquete sedimentario por movimiento lateral desde su sitio de origen.

El atributo 8 (Fragmentación) muestra bajo nivel de daño en las Tf 1 y 2 (a, b), mientras Tf 2c de la última es

totalmente fragmentaria, al extremo de dejar irreconocibles los taxones, repitiéndose la interpretación de movimiento lateral desde zona de oleaje hasta zona de deposición.

El atributo 9 (Talla) muestra selección moderada para Tf 1 y Tf 2a por ser de baja energía; en cambio en la variante b de Tf 2 están totalmente desarticulados, aunque con valvas completas de tamaño uniforme; sin embargo las tallas más seleccionadas son nuevamente los fragmentos de Tf 2c seguidos por los de Tf 2b.

## Amonites

En el tafograma correspondiente el atributo 1 indica, como en el caso de los restos de bivalvos, que los amonites se fosilizaron y diluyeron en las mismas condiciones por lo que se interpreta que lo hicieron simultáneamente en el mismo sedimento en condiciones a alta presión por la rápida tasa de acumulación de sedimentos, aunado a condiciones de pH ácido y bajo O2.

El atributo 2 (perforación) simultáneamente con la variable 3 (epibiontes) también implican bajo daño y poco tiempo de permanencia de las conchas sobre el sustrato, como en bivalvos.

El atributo 4 (desarticulación), es muy distintiva ya que los ápticos se ausentan, implicando algún nivel de aloctonia o al menos parautoctonia (sensu Martin, 1999), ya que el hábito de vida interpretado (Tabla 1) coincide con las condiciones de esta plataforma.

El atributo 5 (deformación) sólo se observa en la Tf 2 (variante a). Asimismo esta tafofacies es la única donde se observa el atributo 6 (orientación), lo que es consistente con la presión lateral moderada, generada por el flujo sobre los fragmentos, mientras que en la Tf 2 (variante c) sólo hay fragmentos tan pequeños que no se conoce si incluye amonites.

En el atributo 7 la posición de los amonites concuerda con el plano de estratificación, evidenciando de nuevo el flujo lateral no caótico, de bajo volumen, mientras que el atributo 8 implica fragmentación casi nula en las Tafofacies 1 y 2 (a y b), dándole su firma característica a la variante c de la Tf 2.

En cuanto a las selección de tallas (atributo 9), los amonites varían considerablemente; en la Tf 1 la selección es muy poca o nula, en la variante a de Tf 2 también es poca o nula mientras en las variantes b y c es alta y muy alta respectivamente, por lo que se apoya que la Tf 1 el movimiento del sedimento es escaso o nulo, con flujo moderado para la variante a de la Tf 2 y muy grande para las otras variantes de 2. Con el manejo gráfico previamente descrito para los atributos se recogen los efectos descritos para restos de bivalvos y amonites por lo que se hace evidente que tafonómicamente son semejantes todos los restos y, que la diferencia mayor entre amonites y bivalvos consiste en que estos últimos tienen una ligera diferencia en la Tf 1 con respecto a la variable 9 (Tallas) donde la estructura de tallas evidencía muy poca selección es decir nulo transporte (Figura 7). Otra diferencia es que en la variante b de la Tf 2 para el mismo atributo se evidencian diferencias, también debidas a la alta selección de tallas provocadas por el flujo portador de bivalvos de talla pequeña.

Queda evidente que la Tf 2 en su variante c difiere por contener restos provenientes desde mayor distancia que la variante b y que es una fase de sedimentación del evento sedimentario Tf 2 el cual involucra material más cercano a la costa, por ello esta tendencia respecto de la línea de playa es mayor para la variante c de la Tf 2 que en todas las otras. También se puede proponer que la variante a de Tf 2 involucra material de todo el recorrido de los sedimentos sobre la plataforma sin importar su autoctonia, pero sin retrabajo en el nivel submareal, con lo que los amonites son al menos parautoctonos (sensu Martin, 1999). En el caso de que fuesen completamente alóctonos, tendrían que haber llegado desde un ambiente similar al de esta plataforma, dada su morfología funcional. De cualquier modo el grado de conservación de la concha implica cercanía, aunado a la abundancia de las mismas, a pesar de la ausencia total de ápticos, lo que determina flotación postmortem.

El índice de fragmentación (Fi)

Aplicado en el sentido de Óloriz et al (2008) reúne los datos de bivalvos y amonites para evidenciar el nivel de daño en los fragmentos por el proceso bioestratinómico (Tabla 4). Resalta que la tafofacies 2a tiene un índice con valor de 3.85, mientras que en la Tf 1, infra y suprayacente el valor del índice es 1. Estos valores indican bajo daño respecto a la fragmentación e implican poco movimiento horizontal y por oleaje. Por el contrario la fracción c de la Tf 2, cuyo valor es 100 implica destrucción completa de los esqueletos, es decir su proveniencia desde facies con oleaje en zona submareal, que dado su selección genera esta fracción c. Debe quedar claro que los índices de fragmentación de las diferentes fracciones evidencian niveles de energía y arrastre, que por sí solas podrían corresponder a tafofacies separadas; sin embargo la presencia concreta de esos índices en una capa más o menos mezclada que se presenta aquí (Tf 2), se interpreta como evidencia de la manera en que fueron "acumuladas" en el transcurso del transporte de los diferentes segmentos de talla de bioclastos, hasta quedar depositados juntos bajo un régimen de energía particular, así debe quedar claro

cada índice de fragmentación no representa una tafofacies independiente.

## Riqueza e Índices de Diversidad

Los bivalvos, por ser generalmente sésiles, tienen elevada probabilidad de preservación in situ, lo que subyace en la estructura de la comunidad que originó sus depósitos; es decir que reflejan la riqueza y diversidad de los afloramientos mejor que otros grupos y por ello conviene sumarlos a los índices de diversidad, aún cuando algunos taxones no son determinables con toda la presición deseable; sin embargo, si ocurre que son diferenciables a primera vista como entidades distintas cumplen el único requisito para aplicar un índice de diversidad. Por ello los índices que generan son indicadores contrastables contra los afloramientos estudiados en otros trabajos (Esquivel-Macías et al., 2005; Arenas-Islas et al., 2009), por lo que aportan sobre la variación ambiental-biótica de la paleocuenca; por ejemplo; la presencia de Posidontis del afloramiento Temapá (Esquivel-Macías et al., 2005), de hábitos epifaunales en sitios disóxicos contrasta con Backevellia y Gervillaria también epifaunales de ambientes oxigenados (Tabla 1). Lo anterior sumado a la riqueza de amonites, los cuales son más indicativos de las cualidades de la columna de agua que de aquellas del fondo, ayuda a complementar la interpretación paleoambiental.

Con dichas consideraciones, la muestra de la capa tres (Figura 2) que tiene riqueza 2, un valor de abundancia de 3, con valores de diversidad 0.66 y dominancia 0.11 (Tabla 5) caracteriza cuantitativamente a la Tf 1.

Por su parte la muestra de la capa seis (Figura 2) con riqueza de 20 especies y abundancia de 67 ejemplares, tiene índice de diversidad de Simpson de 0.87 con alta dominancia de 0.95, dada la abundancia relativa de *Neocrassina*. Esta misma muestra, considerando sólo 11 taxones identificados con certidumbre, tendría abundancia de 28, índice de diversidad 0.90 con dominancia de 3.75. Lo que apoya la caracterización de la tafofacies 2 como independiente.

La muestra de las capas cinco y siete (Figura 2) indica riqueza de 5, abundancia 58, con índice de diversidad 0.48 y dominancia 0.40 (Tabla 5), ambos valores menores que en la capa 6. Aquí se considera, de nuevo, parte de la tafofacies 1, por la combinación de los atributos tafonómicos y petrológicos.

El cálculo de índice de Diversidad (Tabla 5) caracteriza al afloramiento y a sus tafofacies con enfoque biótico-

Tabla 5. Índices de diversidad.

Diversidad	Tf 1	Tf 2	Tf 2b	Tf 2c
Valores del índice	0.66	0.87	N/A	N/A



**Figura 7.** Modelo del proceso de sedimentación intensa y regresión, típico de plataformas siliciclásticas, modificado de Batist y Jacobs (1996). Se considera semejante al Sinemuriano de la Formación Huayacocotla, de acuerdo con las conclusiones obtenidas en el presente trabajo.

cuantitativo; es fiable porque las asociaciones de conchas usualmente representan fielmente la composición de la comunidades original, para lo cual Meldahl (2000) cita experimentos, donde son raras las especies que pertenecen a otra comunidad y una vez sedimentadas las conchas nunca viajan grandes distancias. Con base en ello se estima que este afloramiento no exhibe acumulación de tiempo, como sugiere Johnson (1960) que ocurre frecuentemente en el modelo II, con el que se compara en principio la Tf 2.

#### Significado de la diversidad del afloramiento

Como se ha evidenciado ya, este afloramiento es producto de la agregación de restos, por ello la riqueza es alta, (Tabla 1) pero la dominancia, al estar bastante repartida entre varias especies implica, que la diversidad acumulada del afloramiento de 0.518 y en particular la de la capa seis con 0.870 sea relativamente alta, respecto a otros afloramientos de la misma formación; por ejemplo 0.248 para el Potrero, 0.164 para el Bopo, 0.144 para la Fiesta y 0.205 para la Peña Banca, lo que evidencia que el ambiente sedimentario está particularmente enriquecido por la acumulación de restos de un segmento de la plataforma.

Para poner en el contexto de la riqueza de las comunidades vivas estos valores de diversidad, resulta útil compararla respecto al ejemplo de una comunidad actual de plataforma nerítica de California, citada por (Dodd y Stanton, 1990). Ello permite comparar el hecho de que las comunidades bentónicas consisten en 3/4 partes de biota de cuerpo blando, lo que deja una cuarta parte con probabilidad de fosilización de concha dura. Si se considera que en este ejemplo hay unas 1000 especies, quedan unas 250 fosilizables, lo que se traduce en una proporción probablemente semejante para la riqueza original de la paleocuenca Huayacocotla. Por lo tanto, bajo el principio de uniformismo, los 25 taxa representan alrededor de 1/10 de los 250 potencialmente fosilizables, dato que da una idea del sesgo tafonómico que debió sufrir la asociación fósil de estudio. En breve, tener representada la décima parte de la fauna potencialmente fosilizable es considerable, cuando en otros afloramientos cercanos se llega a valores menores, entre 6 y 10, por lo tanto con 25 especies se trata de un afloramiento más diverso que otros de la Formación Huayacocotla por ejemplo, en el cercano afloramiento Temapá (Esquivel-Macías et al., 2005) se hallan 10 especies; en el afloramiento Peña Blanca 6; en El Potrero 7 y en El Bopo 8 (Arenas-Islas et al., 2009).

## Abundancia relativa

La particular estructura faunística de la asociación indica parcialmente el fondo de la plataforma nerítica y parcialmente ambiente transicional, junto con elementos nectónicos de aguas neríticas.

La riqueza de los amonites (Tabla 1), revela requerimientos y procedencias ambientales diversas, ello sugiere que la capa respectiva exhibe una acumulación tafonómica, es decir que la capa seis se enriqueció por aportes más someros, como *Gleviceras*, *P. harbledownense*, *P. rothpletzi, Weyla* sp., *Nuculana* sp., *Protocardia* sp., *Neocrassina* sp., *Gervillela* sp. y *Brachyura*, (Tabla 1) más los gasterópodos indeterminados y traqueófitas, que sugieren un evento sedimentario que los reunió en un sitio distinto al de vida. Aún aquí la mitad de la riqueza específica se debe a taxones representados por ejemplares muy deteriorados, y por ello de afinidad incierta.

Las capas cinco y siete (4 y 2m, Figura 2) contienen a *P. rothpletzi* y a *Neocrassina* sp, (Tabla 1) enteros lo cual da poca evidencia de arrastre. Tales asociaciones están sobre la plataforma somera con restos completos que tienen menor riqueza y diversidad porque representan con más fidelidad los contenidos de una facies de plataforma abierta sin sumar la diversidad de otras más costeras por

arrastre; sin embargo, ya se estableció que 25 especies es un valor alto, debido a la acumulación tafonómica.

#### Ambiente sedimentario

Por medio del índice de fragmentación se apoya arrastre y selección moderados para los fragmentos, lo que indica procedencia nerítica proximal junto a bioclastos de nerítica media y distal, pero no es producto de un flujo de turbidez, pues las areniscas no muestran evidencia de los ciclos de Bouma correspondientes (Tabla 4).

Por otra parte, ya que los niveles de daño tafonómico tienden a ser bajos (Figura 6), se postula el origen de la tafofacies 2 a partir de flujo inusual, tal vez la creciente de un río cercano o algo parecido al desbordamiento de una albufera, de acuerdo con el modelo de evolución regresiva de plataformas siliciclásticas de Batist y Jacobs (1996) (Figura 7).

Además se sabe que el bajo nivel de daño tafonómico, como el visto en la Figura 6, es inversamente proporcional a la alta tasa de sedimentación (Dominici, 2004) y como esta sólo es posible por el aporte continental, debe coincidir con elevada presencia de materia orgánica también de procedencia continental, lo cual ya se reportó para estas rocas por Flores-Castro *et al.* (2008).

Relacionado con dicha materia orgánica está la alta tasa de disolución de carbonatos que muestran los fósiles, ya que lo más probable es que la disolución ocurrió por disminución del pH relacionado a la materia orgánica en descomposición. Así la disolución ya es una variable diagenética temprana que tiene que ver nuevamente, con la alta tasa de enterramiento y materia orgánica presente.

Una vez reconocido que la profundidad es moderada, dada la presencia de los taxones de macroinvertebrados de aguas neríticas, se demuestra porque coincide con aportes continentales por la presencia de alcanos lineales del rango n-15 al n-17 analizados para estos mismos sedimentos (Ángeles-Cruz et al. 2007; Flores-Castro et al., 2008), dichos compuestos se asocian con algas de ambiente marino marginal (Gelpi et al., 1970; Tissot y Welte, 1984), donde también se encuentra asociado el alcano n-27 (Flores-Castro et al., 2008) que se atribuye a plantas continentales según Tissot y Welte (1984), lo que aunado a los restos de vegetales encontrados en este trabajo (Figura 4) apoyan la facies nerítica con argumentos sedimentológicos y tafonómicos. Así, es seguro que la disolución no ocurrió por el efecto de profundidad de compensación (sensu Müller, 1979).

Como indicativo adicional del ambiente sedimentario, se sabe que la disolución de carbonato de calcio en agua marina inicia rápidamente antes del enterramiento (Müller, 1979; Holder, 1979), por lo que la sedimentación también tuvo que ser rápida para permitir esta abundancia de fósiles descarbonatados. Así el tipo de fosilización autigénico está determinado por la rápida disolución y enterramiento de las conchas, sin tiempo para una disolución selectiva (Lowenstam, 1963).

Se considera que la presencia de laminación fina en la capa cinco (4m, Figura 2) y en la siete (2m, Figura 2), son producto de influencia cíclica/mareal sobre la plataforma, lo que sugiere poca bioturbación y concuerda también con las condiciones disóxicas interpretadas por medios geoquímicos en Flores-Castro *et al.* (2008), para esta misma formación y secuencia.

## Conclusiones

Ya que las tafofacies se definen como arreglos de roca sedimentaria caracterizados por combinaciones particulares de cualidades preservacionales del contenido fósil (Martin,1999) y, dado que el índice de fragmentación, los atributos tafonómicos, los índices de diversidad, la morfología funcional y la petrología de la asociación fósil, coinciden en los diferentes aspectos del ambiente biótico/ sedimentario que representa, se documenta por lo tanto la existencia de dos tafofacies en este afloramiento de la formación Huayacocotla, de las cuales una se subdivide en tres variantes menores del régimen de energía (2a, 2b y 2c).

Llama la atención del afloramiento Chipotla, que el incremento de riqueza y por tanto de los valores de ID (Tabla 5) se deben mucho a bivalvos (Tabla 1), pues la riqueza de amonites es semejante a la de los otros afloramientos ya citados, por lo que se indica la existencia de un ambiente de plataforma nerítica con considerable aporte de nutrimentos para el ambiente biótico original, cuyos elementos taxonómicos resultan desplazados hacia un sitio de deposición más distal, generando las modalidades de la tafofacies 2. En los lapsos donde no ocurrió esta acumulación prevaleció la sedimentación bajo el régimen de la tafofacies 1, tanto arriba como abajo de la tafofacies 2.

Por otra parte Martin (1999) menciona tres opciones para la decisión de la condición autoctonía/aloctonía (auto, alo y parautoctonía), a partir de lo cual hay base para argumentar la condición de parautoctonía para los amonites, con base en los datos tafonómicos obtenidos y la condición de las conchas de amonites, que podrían atribuirse a llegada por efecto de corrientes a lo largo de la plataforma somera desde un sitio más profundo hasta el sitio de fosilización, ya que no hay ápticos. Así, al parecer la muerte probablemente ocurrió en el ámbito de borde de plataforma o bien cuenca proximal, dado que hay vestigios de amonites de cuenca como *Phylloceras*. Según la clasificación de ambientes sedimentarios de Johnson (1960) se documentan en el afloramiento las modalidades de asociación fósil I y II, demostrando el gradiente ambiental que existió y resultó acumulado por el flujo que genera las tafofacies interpretadas; pero el modelo III de este mismo autor no encuentra equivalente, dado el superior nivel de destrucción de los bioclastos que se intercalan en la tafofacies 2, especialmente la variación 2c.

Al respecto de la riqueza de 25 especies mayor que en los otros afloramientos de la Formación es relevante, aunque Erben (1956b) reporta ahí más de 100 taxa; pero no los halla juntos, por lo tanto el presente es el primer reporte sobre la Formación Huayacocotla, después de Esquivel-Macías *et al.* (2005) y Arenas-Islas *et al.* (2009) que señala, con base en la abundancia relativa, la composición específica y la diversidad de los afloramientos como indicadores de las condiciones de depósito y de la estructura y composición de las asociaciones. También es el primero en reportar un estrato de esta formación con esta riqueza específica.

La preservación tafonómica de nivel bioestratinómico de los fósiles entre las distintas asociaciones refleja la diferente actividad del proceso tafonómico, no así en la variable diagenética temprana denominada disolución, que indica uniformidad y simultaneidad en las condiciones geoquímicas que determinan este modo de preservación es decir que la alta tasa de disolución de carbonatos observada en los fósiles se relaciona con la disminución del pH producida por materia orgánica en descomposición (Hölder, 1979).

Como indicativo del ambiente la disolución de carbonatos de calcio en la fosilización autigénica a profundidad moderada, requiere rápida sedimentación, sin tiempo para una disolución selectiva (Lowenstam, 1963). La profundidad se juzga, dados los invertebrados neríticos y la presencia de alcanos del rango n-15 al n-17 asociados con algas costeras, y el alcano n-27 de plantas continentales, que indican la zona nerítica (Flores-Castro, 2008).

Según Landman *et al.* (1996) las cuencas epicontinentales hipóxicas del Jurásico, muy estudiadas con base en geoquímica y fósiles, se han agrupado en categorías por su nivel de oxigenación; así las cuencas disaeróbicas con 0.3 a 1 ml. de O2 / litro, producen sedimentos oscuros, laminados a causa de la poca bioturbación, pueden contener fósiles piritizados (Huerta y Morse,1992) y son moderadamente ricos en materia orgánica. Algunas de estas condiciones recuerdan el depósito de la capa seis, por lo que el ambiente de depósito final podría ser ligeramente disóxico (Calvert y Pedersen; 1993).

Con base en las investigaciones geoquímicas citadas sobre la Formación Huayacocotla se apoya que los amonites neríticos (*Paltechioceras* sp.) y bivalvos de plataforma somera, como *Weyla* sp. y *Protocardia* sp., habitaron aguas bien oxigenadas, depositados finalmente en un ambiente disóxico con pH bajo (tafofacies 2) que los disolvió rápidamente después de un transporte moderado y un enterramiento rápido. Hasta ahora, tales argumentos paleoambientales apuntan a una unidad sedimentaria somera, con circulación parcial de fondo semirestringida y aguas superficiales normalmente oxigenadas.

#### Agradecimientos

Por el financiamiento al programa de mejoramiento del profesorado (PROMEP) otorgado a través de la gestión en la UAEH. Agradecemos al Centro de Investigaciones Biológicas de la UAEH el vehículo de campo. Al Dr. Mártin Aberhan por su opinión en la determinación de algunos de los bivalvos y a las opiniones en el trabajo de campo del Dr. Reinhardt Schmidt-Effing. A los Doctores. Madhavaraju Jayagopal y Armstrong Altrim por el apoyo en la determinación petrológica. Al Dr. Buran por sus constructivas sugerencias y valiosos comentarios desde la Universidad de Pretoria. Al P. de B. Eduardo Gutiérrez González por la elaboración de los dibujos de la Figura 3. A los jóvenes Pedro y Santiago por contribuir con los más importante de toda investigación.

#### **Referencias bibliográficas**

- Aberhan, M., 1994, Early Jurassic Bivalvia of Northern Chile Part I. Subclass Paleotaxodonta, Pteriomorphia and Isofilibranchia. Beringeria: Würzburger Geowisenshaftiche Mitteilungen heft, 13, 108 pag., 28 pls.
- Aberhan, M., Muster, H., 1997. Paleobiology of Early Jurassic Bakevellid Bivalves from Western Canada: Paleontology, (40) Part 3: p. 799-815.
- Aberhan, M., 1998, Early Jurassic Bivalvia of western Canada. Part I. Subclasses Paleotaxodonta, Teriomorphia, and Isofilibranchia: Beringeria, 21, p. 57-150, text-figs., 1 table, 19 pls.; Wurzburg.
- Ángeles-Cruz, C., Flores-Castro, K., Esquivel-Macías, C., Armstrong-Altrin, J.S., Torres-Valencia, J.M., 2007, Presencia de Carotenoides aromáticos en rocas silicilcasticas de la Formación Huayacocotla (Jurasico Inferior), estados de Hidalgo y Puebla (México): Implicaciones paleoambientales utilizando biomarcadores, en Armstrong-Altrin, J.S., Flores-Castro, K., Cruz-Ortiz, N.L. (Eds). 2007. XVII Congreso Nacional de Geoquímica, 1-6 Oct. ACTAS INAGEQ, Volumen 13. No. 1: pag. 164. ISBN: 970-769-116-6.
- Arenas-Islas, D., Esquivel-Macías C., Flores-Castro, K., 2009, Amonites y bivalvos del Sinemuriano Superior en un nuevo afloramiento de la Formación Huayacocotla, Hidalgo, México, algunas consideraciones paleoambientales: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 61 (2): p. 185-197.

- Arkell, W.F., Furnish, W.M., Bernhard, K., Miller, A.K., Moore, R.C., Schindewolf, O.H., Sylvester-Bradley, P.C., Wrigth, C.W., 1956, Cephalopoda Ammonoidea, in Moore, R.C., (Ed.), 1956, Treatise on invertebrate paleontology Part L, Mollusca 4, Geological Society of America and University of Kansas Press: 490.
- Batists, M., Jacobs, P.,1996, Geology of Siliciclastic Shelf Seas: Geological Society Special Publication No. 117, Published by the Geological Society, 345 p.
- Begon M.J., Harper, L., Townsend, C.R., 1989, Ecology, Individuals, Populations and Comunities: N.Y., Wiley and Sons, 876 p.
- Blau, J., Meister, C., 2000, Upper Sinemurian Ammonite Successions Based on 41 Faunal Horizons: an Attempt at Worldwide Correlation. Geo-Research Forum: Transtech Publications, Switzerland, 6, p. 3-12.
- Blau, J., Meister, C., Schmidt-Effing R., Schlatter, R., 2001, Ammonites from the Lower Jurassic (Upper Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, Mexico), Part I, Erbenites n. gen., a new Asteroceratinae: Neu Jarbuch Geologishe Paläontol Mh, 3, p. 175-183.
- Blau, J., Meister, C., Schlatter, P., Schmidt-Effing, R., 2003, Ammonites from the lower Jurassic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental), México Part III; Echioceratidae: Revue Paleobiologie Geneve, 22(1), p. 421-437.
- Blau, J., Meister, C., Schmidt-Effing, R., Villaseñor, A., 2008, A new fossiliferous site of Lower Liassic (upper Sinemurian) marine sediments from the southern sierra madreoriental (Puebla, México): Ammonite fauna biogeography and description of Ectocentrites hillebrandti new species: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 25, núm. 3: 402-407.
- Böse, E., 1898, Ueber Lias in México: Deutsch. Geol. Ges., Zeitscher., 50, p. 168-175.
- Brett, C.E., Baird, G.C., 1986, Comparatrive Taphonomy: A Key to Paleoenvironmental Interpretation Based on Fossil Preservation: PALAIOS 1: p. 207-227.
- Burckhardt, C., 1930, Etudes synthétiques sur le Mesozoique mexicain: Schweiz. Palaont. Abh, 49-50, p. 1-280.
- Calvert, S., Pedersen, T., 1993, Geochemistry of recent oxic and anoxic marine sediments: Implications for the geological record: Marine Geology, 113, p. 67-68.
- Cox, L.R., Newell, N.D., Boyd, D.W., Branson, C.C., Casey, R., Chavan, A., Coogan, A.H., Desachaux, C., Flemming, C.A., Haas, F., Hertlein, L.G., Kauffman, E.G., Keen, A.M., La Rocque, A.L., Mc Alester, A.L., Moore, R.C., Nutall, C.P., Perkins, B.F., Puri, H.S., Smith, L.A., Soot-Ryen, T., Stenzel, H.B., Trueman, E.R., Turner, R., Weir, J., 1969, Part N Volumen 1, Mollusca Bivalvia: 371, en Moore R.C. y C Teichert (Eds), Treatise on Invertebrate Paleontology: The Geological Society of America and the University of Kansas.

- Damborenea, S.E., Manceñido, M.O., 1979, On the paleogeographical distribution of the Pectinid Genus Weyla (Bivalvia, Lower Jurassic): Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 27, p. 85-102.
- Damborenea, S.E., 1987, Early Jurassic Bivalvia of Argentina. Part 2; Superfamilia Pteriacea, Buchiacea and part of Pectinacea: Paleontographica (A) 199: p. 113-216, 31 figs., 2 tabs, 14 pls. Stuttgart.
- Damborenea, S.E., Manceñido, M. O., 1988, Weyla: Semblanza de un Bivalvo Jurásico Andino: Memorias in extenso del V Congreso Geológico Chileno, Santiago, 8-12 Agosto de 1988 Tomo II: p. 16-25.
- Damborenea, S.E., González-León, C. M., 1997, Late Triassic and Early Jurassic Bivalves From Sonora, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 14, núm. 2, p. 178-201.
- Damborenea, S.E., 2000, Hispanic Corridor: Its Evolution and the Biogeography of Bivalve Molluscs: Geo Research Forum, 6, p. 369-380.
- Damborenea, S.E., 2002, Jurassic evolution of Southern Hemisphere marine paleobiogeographic units based on benthonic bivalves: Geobios (2002) Mémorie spécial, 24, p. 51-71.
- Dominici, S., 2004, Quantitative Taphonomy in Sandstones from an ancient fan delta system (Lower Pleistocen, Western Emilia, Italy. PALAIOS. Vol. 19. (3), p. 193-205.
- Dodd, J. R., Stanton Jr., R. J., 1990, Paleoecology Concepts and Applications: John Wiley and Sons, New York, 502 p.
- Dueñas-García, J.C., Frís-Gonzalez, M.A., Benitez-López, J., Macedo-Palencia, R., Rodriguez-Salinas, J.J. (Compiladores), 1992, Monografía Geologica-Minera del Estado de Hidalgo, Consejo de Recursos Minerales, Publicación M-3e, Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Subsecretaria de Minas e Industria Básica, p. 26-28.
- El-Hedeny, M.M., 2007, Encrustation and Bioerosion on the Middle Miocene Bivalve Shells and Echinoids Skeletons: Paleoenvironmental implications, Revue de Pelobiologie, 26 (2), p. 381-389.
- Erben, H. K., 1956b, El Jurásico Inferior de México y sus Amonitas, en XX Congreso Geológico Internacional: México, Instituto de Geología, UNAM, 393, 41 Láminas, 5 mapas.
- Esquivel-Macías, 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, vol. 22, núm. 1, p. 97-114.
- 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.

- Flores-Castro, K, Ángeles-Cruz, C.A., Hernández-Hernández, A., Gibson, R., RamÍrez-Cardona, M., Armstrong-Altrin, J.S., Esquivel-Macías, C., 2008, Condiciones de hipersalinidad, Anoxia y Naturaleza del Protolito en Rocas Jurásicas de la Región de Molango, Hidalgo (México): Interpretación con Biomarcadores: Latin American Asociation of Organic GeoChemistry.
- Gelpi, V., Schneider, H., Mann, J. Oró, J., 1970, Hidrocarbons of Geochemical Significance in Microscopic Algae: Phytochemistry, V. 9, p. 603-612.
- Hölder, H. 1979. Jurassic. in Berggren, W.A., Boucot, A,J., Glaessner, M.F., Hölder, H., House, M.R., Jaanusson, V., Kauffman, E.G., Kummel, B., Müller, A.H., Norris, A.W., Palmer, A.R., Papp, A., Ross, C.A., Ross, J.R.P., Van Cuvering, J.A., 1979, Treatise on Invertebrate Paleontology, Part A, Introduction, Fossilization (Taphonomy) Biopgeography and Biostratigraphy. The Geological Society of America: 402.
- Huerta-Díaz, M.A., Morse, J.W., 1992, Pyritización of trace metals in anoxic marine sediments: Geochim. Cosmochim, Acta, 56, p. 2681-2702.
- 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), p. 1750-1761.
- Kowalewsky, M., Flessa, K.W., Hallman, D.P., 1995. Ternary Taphograms: Triangular Diagrams Applied to Taphonomic Analysis. PALAIOS 10: p. 478-483.
- López-Ramos, E., 1979, Geología de México, Tomo II, 2<sup>a</sup> edición, p. 291-342.
- Lowenstam, H. A., 1963, Biologic Problems relatings to the composition and Diagenesis of Sediments: in The earth sciences, problems and progress in current research, Donelly, T.W. (ed.), Rice University Semmicenten. Publications, Chicago University Press (Chicago), p. 137-195..
- MacKenzie, W.S., Adams, A.E., 1994, A Colour Atlas of Rocks and Minerals in Thin Section. Manson Publishing, Seventh Imppression: 192.
- Martin, R.E. 1999. Taphonomy: A process approach. Cambridge University Press., Cambridge Paleobiology Series 4. N.Y.: 509.
- Meister, C., Blau, J., Schlatter, R., Scmidt-Effing, E., 2002, Ammonite from the Lower Jurasic (Sinemurian) of Tenango de Doria (Sierra Madre Oriental, México). Part II: Phylloceratoidea, Lytoceratoidea, Schloteimiidae, Arietitinae, Oxinoticeratidae, and Eoderoceratidae: Revue Paleobiologie, Genéve, 21(1), 391-409.
- Meldahl, K.H., 2000, Shells, Taphonomy, en Briggs, D.E.G., Crowther, P.R. (Eds.), 2000, Paleobiology II, Blackwell Publishing, 262-264.

91

- Mendoza-Rosales, C., Arellano-Gil, J., Silva-Romo, G., 1992, Nuevas localidades del contacto transicional de las formaciones Huizachal y Huayacocotla, en Convención Geológica Nacional 11: Veracruz, Ver., México, Sociedad Geológica Mexicana, 121.
- Müller, A.H. 1979. Fossilitazion (Taphonomy), in Berggren, W.A., Boucot, A.J., Glaessner, M.F., Hölder, H., House, M.R., Jaanusson, V., Kauffman, E.G., Kummel, B., Müller, A.H., Norris, A.W., Palmer, A.R., Papp, A., Ross, C.A., Ross, J.R.P., Van Cuvering, J.A., 1979, Treatise on Invertebrate Paleontology, Part A, Introduction, Fossilization (Taphonomy) Biogeography and Biostratigraphy. The Geological Society of America: 60-61.
- Olóriz, F., Reolid, M., Rodriguez-Tovar, F.J., 2006, Taphonomy of fósil macro-invertebrate assemblages as a tool for ecostratigraphic interpretation in Upper Jurassic shelf deposits (Prebetic Zone, Southern Spain). Geobios 41, p. 31-42.
- Parsons-Hubbard, K., 2005, Molluscan Taphofacies in Recent Carbonate Reef-Lagoon System and their Application to Sub-Fossil Simples from Ref-Cores. PALAIOS 20(2), p. 175-191
- Pettijohn, E. J., 1975, Sedimentary Rocks. Harper and Row International Edition, Third Edition, New York: 628.
- Schlatter, R., Schmidt-Effing, R., 1984, Bioestratigrafía y fauna de amonites del Jurásico Inferior (Sinemuriano) del área de Tenango de Doria (Estado de Hidalgo, México), en 3er. Congreso Latinoamericano Paleontología: Oaxtepec, Mor., México, Instituto de Geología, UNAM, Memorias, p. 154-156.

- Schmidt-Effing, R., 1980, The Huayacocotla Aulacogen in Mexico (Lower Jurassic) and the origin of the Gulf of México, In: The Origin of the Gulf of Mexico and the early opening of the central North Atlantic, Proceedings of a Symposium: Baton Rouge, L.A., USA, Pilger, R.H., Jr. (ed.), p. 79-86.
- Speyer, S.E., Brett, C.E., 1986, Trilobite Taphonomy and Middle Devonian Taphofacies. PALAIOS 1: 312-327.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984, Petroleum Formation and Ocurrence. Springer Verlag, New York.
- Tucker, M.E., 2003, Sedimentary Petrology. Third edition. Blackwel Publishing, USA: 262.
- Westermann G.E.G., 1996, Ammonoids Life and Habitat. in Landman, N.H., Tanabe, K., Davis, R.A. (Eds.), 1996, Ammonoid Paleobiology, Plenum Press, New York, 857 p.
- Westermann, G.E.G., 2000a, Biochore classification and nomenclature in paleobiogeography: an attempt at order. PALAEO. 158, p. 1-13.
- Westermann, G.E.G., 2000b, Marine faunal realms of the Mesozoic: Review and revision under the new guidelines for biogeographic classification and nomenclature. PALAEO 163, p. 49-68.
- Westermann, G.E.G., 2004, The Jurassic of the Circum-Pacific. World and Regional Geology 3, Cambridge University Press, p. 100-101.