

Aunque Malpica y de la Torre (*op. cit.*) reportaron un conglomerado basal en la Formación Proveedora que posiblemente señale un contacto discordante con la Formación Puerto Blanco que le subyace, en el área de Caborca se observó que el contacto inferior de esta unidad es gradual y, desde luego, concordante. Sobreyaciendo concordantemente a la Formación Proveedora, se encontró caliza arcillosa de la Formación Buelna.

En términos generales, la Formación Proveedora está constituida, principalmente, por arenita de cuarzo intercalada con limolita arenosa, presentando, en ocasiones, metamorfismo ligero y un espesor que varía desde 225 hasta 260 m (Cooper *et al.*, 1954).

Las estructuras sedimentarias, así como su litología y relaciones de facies, señalan que la Formación Proveedora en el área de Caborca es resultado del depósito en un sistema litoral de baja energía, que abarca los medios de inframarea somero e intermareal, y muestra la influencia de la desembocadura de un río por la gran cantidad de terrígenos finos, representando, en general, un período regresivo corto en relación con las formaciones que le subyacen y sobreyacen, respectivamente, y que tienen un origen más bien lagunar con algunas barras submarinas (Rivera-Carranco, 1984, 1988), mientras que la Formación Proveedora muestra características de una zona de intermarea.

Para su estudio, la Formación Proveedora fue dividida en cinco unidades que se enumera a continuación, de la base a la cima (Figura 2).

UNIDAD 1: LIMOLITA (10 m)

El contacto inferior de la Formación Proveedora es de tipo gradual; por ello, se considera como las primeras capas de esta unidad a un paquete de limolita ligeramente arenosa, que descansa directamente sobre una secuencia de caliza moteada muy bioturbada que correspondería a la Formación Puerto Blanco. La limolita es de color rojo con granos finos de cuarzo diseminados.

Las características de esta unidad señalan condiciones de depósito muy tranquilas. El color rojo de la limolita se originó por la presencia de hematita en la roca, indicando un medio altamente oxidante, por lo cual se puede decir que esta unidad se formó en aguas muy tranquilas con gran oxigenación.

UNIDAD 2: ARENISCAS LAMINADAS (4 m)

Esta unidad está constituida por grauvaca lítica, maciza y laminada finamente, con gran cantidad de *Scolithus*. Hacia el norte de los Cerros Proveedora, presenta una bioturbación más intensa con un incremento de huellas fósiles y material calcáreo dolomitizado.

Es posible que las laminaciones de estas capas se hayan originado bajo flujo laminar, el cual se produce por la actividad del oleaje cerca de la línea de costa. Por lo general, la bioturbación puede ser relativamente escasa debido, sobre todo, al intenso retrabajo de las olas, a pesar de que la infauna excavadora sea particularmente prolífica (Clifton, 1976, p. 143), como lo demuestra la presencia de *Scolithus*, además de que Seilacher (1967) ubica a este tipo de icnofósiles en los ambientes más someros, dentro de las facies de arenas litorales. Por otra

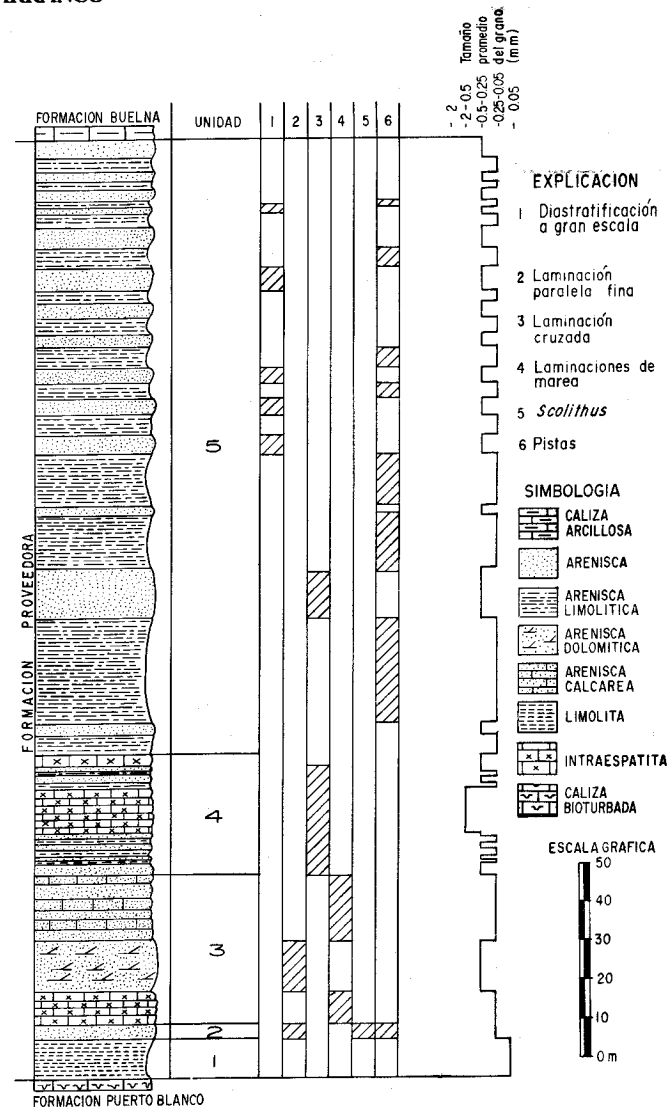


Figura 2.- Columna estratigráfica de la Formación Proveedora de los Cerros Proveedora, mostrando sus características litológicas.

parte, el aumento de bioturbación (Figura 3), así como el incremento de carbonato hacia el norte de los Cerros Proveedora, demuestra la existencia de zonas donde aumentaba la profundidad del depósito y, en consecuencia, se encontraba por debajo del nivel base de las olas, permitiendo el desarrollo de fauna epibentónica. El desarrollo de *Scolithus* se observa, generalmente, en planicies de marea protegidas.

UNIDAD 3: LAMINACIONES DE MAREA (39 m)

Hacia la cima, el conjunto anterior cambia a un grupo de rocas que abarca poco menos de la quinta parte de la formación. La base y la cima de esta unidad están constituidas por estratos que tienen una alternancia rítmica de láminas formadas por arenisca, de fina a media, y por limolita. La parte media presenta una capa de arenisca laminada muy similar a la de la unidad 2, pero sin *Scolithus*.

Las láminas alternantes en los estratos de la base y la cima de la unidad tienen un espesor que varía desde 3 hasta 7 mm (Figura 4). El contacto superior de las lá-

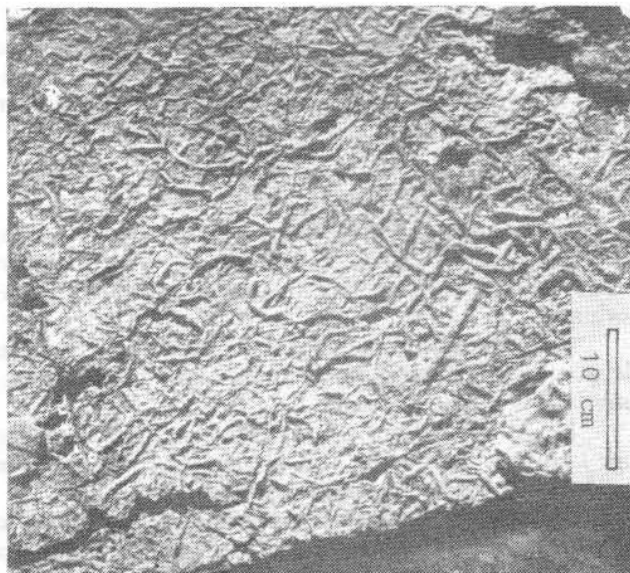


Figura 3.- Caliza con icnofósiles de la unidad 2, Formación Proveedora, Cerros Proveedora, Sonora.

minas de limolita con las de arenisca de fina a media es gradual, ocasionalmente, mientras que el inferior está bien definido (Figura 5). Wunderlich (1970) denomina *tidal bedding* a los depósitos con estas características; en este estudio, se les nombra laminaciones de marea.

En la base de los estratos de esta unidad, las láminas de arenisca están formadas por restos de equinodermos y braquiópodos (bioespatita), mientras que en los de la cima, se presenta arenisca arcósica e intraspatita.

Por otra parte, en los estratos de la base, las láminas de limolita están compuestas por limolita calcárea, que en algunas partes está dolomitizada, en tanto que en los de la cima, están constituidas por limolita arenosa.

Toda la unidad cambia lateralmente y hacia la cima a limolita arenosa de color café oscuro, muy deleznable,

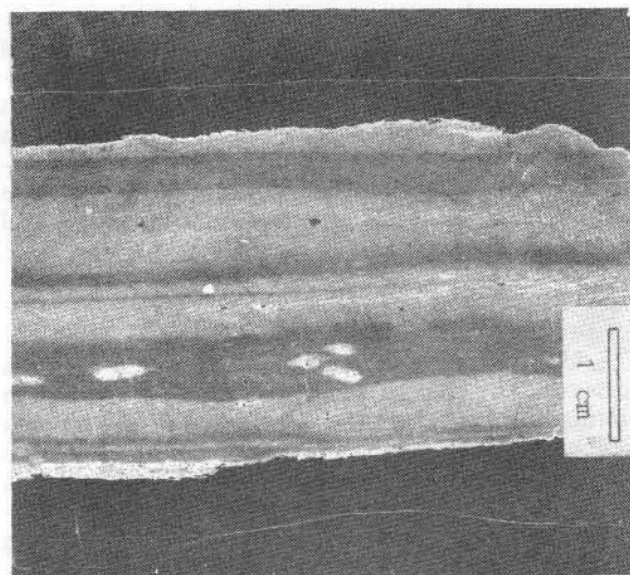


Figura 4.- Aspecto de un estrato con laminaciones de marea, que se encontró dentro de la unidad 3 de la Formación Proveedora, Sonora.

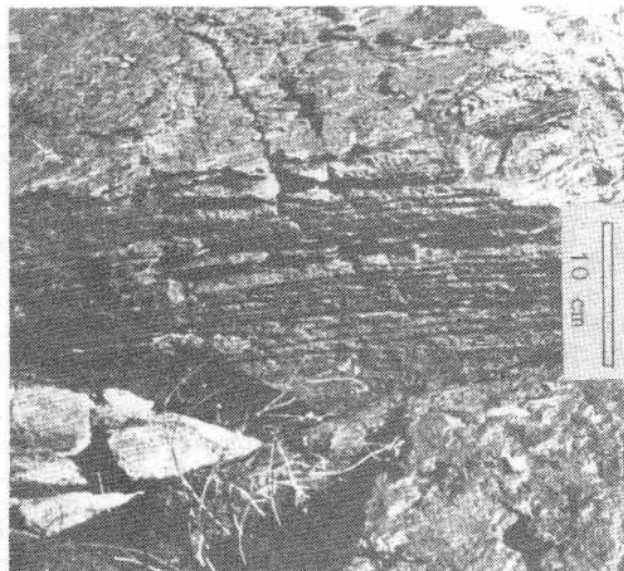


Figura 5.- Fotografía que muestra la gradación de materiales finos a gruesos dentro de las laminaciones de marea; se observa una variabilidad alta en el grosor de las láminas. Unidad 3, Formación Proveedora, Cerros Proveedora, Sonora.

que se intercala con algunos bancos de arenisca limolítica con gran contenido de cuarzo y trazas de feldespatos (wacka arcósica). La existencia de láminas de clastos finos que hacia arriba cambian a gruesos y que forman un conjunto con intercalaciones rítmicas, es característica de un depósito de tipo intermareal y muchos de ellos han sido descritos por diversos autores (Thompson, 1937; Clifton, 1969; Wunderlich, *op. cit.*), quienes dan interpretaciones distintas al fenómeno. Según Clifton (1969), cada lámina representa la selección del material de acuerdo con su peso específico y tamaño, fenómeno que depende directamente del transporte de las olas a lo largo de la costa. Por su parte, Wunderlich (*op. cit.*) interpreta el cambio entre láminas gruesas y finas, que en muchos casos es abrupto, como el resultado de la disminución de la velocidad de la corriente, donde cada lámina representa un cambio de marea. Finalmente, Thompson (*op. cit.*) señala que cada lámina no es representativa de un intervalo de tiempo bien definido.

La arenisca laminada, localizada en la parte media de estos estratos, señala condiciones análogas a las de la unidad 2, con la cual tiene gran similitud. El cambio de esta facies, lateralmente y hacia arriba, a limolita arenosa y arenisca limolítica indica condiciones de depósito donde no existía tracción entre los granos detríticos. Las características anteriores señalan un medio infralitoral (*lower foreshore*), el cual, por definición, se encuentra limitado, hacia la costa, por la línea de saturación de agua y, hacia el mar, por la línea mínima de marea baja. Por tanto, esta zona se encuentra permanentemente saturada de agua y con un material menos seleccionado que en la parte supramareal (Thompson, *op. cit.*, p. 738).

UNIDAD 4: ARENISCA Y CALIZA CON DIASTRATIFICACIÓN (28 m)

Esta unidad se encuentra en la parte media inferior de la formación; consta de arenisca de grano fino en la base (grauvaca lítica), que cambia a una alternancia

de arenisca arcillosa y limolita y, posteriormente, a intraespatita de grano grueso; por último, en la cima de esta unidad, se encuentra una interestratificación de intraespatita de grano medio con arenisca arcillosa. Todo el conjunto está coronado por un estrato de 2 m de caliza recristalizada ligeramente y muy bioturbada (pelmicrita).

La secuencia completa, con excepción de la caliza de la parte superior, se caracteriza por presentar diastratificación en pequeña escala, principalmente del tipo plano, con poco ángulo de inclinación entre las láminas. Los estratos muestran un contacto bien definido entre ellos y su espesor varía entre 5 y 10 cm.

Las características litológicas de esta unidad señalan un ambiente submareal muy somero, donde seguramente los sedimentos del tamaño de la arena fueron transportados por corrientes de tracción, las cuales, algunas veces, no fueron tan intensas para favorecer el aporte de limolitas y areniscas arcillosas; la diastratificación debió formarse por migración de megarrizaduras en media luna, como lo indican Clifton y colaboradores (1971, p. 658). Por último, el estrato de caliza bioturbada posiblemente se formó en condiciones un poco más profundas, favoreciendo el desarrollo de fauna intrabentónica.

UNIDAD 5: ARENITA DE CUARZO Y ARENISCA LIMOLÍTICA INTERESTRATIFICADAS (157 m)

Esta facies abarca la mayor parte de la formación en el área de Caborca y está constituida por una alternancia de bancos de arenisca limolítica con arenita de cuarzo.

La arenisca limolítica corresponde, en su mayor parte, al tipo de la wacka arcósica, con bancos que varían EN espesor desde 5 hasta 8 m, mostrando estratificación delgada, con huellas abundantes y pistas fósiles, así como marcas del flujo. Presenta algunos feldespatos frescos y cantidades grandes de micas.

La arenita de cuarzo se presenta en bancos con espesores que varían desde 3 hasta 8 m, es maciza, predominantemente de grano medio a fino, muy bien clasificada y con granos bien redondeados; en general no presenta estructuras sedimentarias primarias; sin embargo, en algunos estratos es notable la diastratificación a gran escala con laminaciones paralelas tendidas.

La arenisca limolítica indica corrientes con tracción de fondo con gran carga de terrígenos, que probablemente señalen la desembocadura cercana de algún río, posiblemente dentro de un flujo laminar como lo muestran las concentraciones de mica (Clifton, 1976, p. 143). Después de depositados los sedimentos, debieron existir períodos de tranquilidad subacuática, como lo demuestra la presencia de huellas y pistas que sólo pueden existir cuando no hay retrabajo de las olas. Es posible que estos sedimentos representen la transición entre la arena litoral y el lodo de medios más profundos.

Por otra parte, la arenita de cuarzo, al encontrarse bien clasificada, señala un proceso de selección de grano que pudo haber ocurrido por efecto de las corrientes de marea. Esta característica es común en la zona de arena litoral, pudiendo ser depósitos de playa de medios de

intermarea; sin embargo, existen estratos que presentan diastratificación a gran escala con granos bien redondeados sumamente limpios, características que indican episodios con influencia eólica predominante.

CONCLUSIONES

La Formación Proveedora, en el área de Caborca, se originó como consecuencia de un depósito terrígeno en un medio litoral, principalmente de inframarea a intermarea.

a. La unidad 1 señala un medio carente de tracción de fondo en aguas tranquilas, que posiblemente corresponda a un medio profundo.

b. Las unidades 2 y 3 muestran medios afectados por la marea y el oleaje con corrientes de tracción de fondo, que señalan un medio intermareal.

c. La unidad 4 representa medios con acumulación mecánica, que se debieron originar como rizaduras a mediana escala, formando bancos submarinos muy someros.

d. La unidad 5 indica una variación cíclica en el nivel del mar, caracterizada por la alternancia de dos ambientes. La arenisca limolítica señala medios con corrientes de flujo laminar, posiblemente afectados por algún medio fluvial. La arenita de cuarzo es un depósito de intermarea con alguna influencia eólica.

ORIGEN DEL MATERIAL

Los granos detríticos que componen la Formación Proveedora están constituidos, en su mayor parte, por cuarzo. De ellos, más de la mitad presenta extinción ondulante, estando los demás límpidos y sin efectos de esfuerzo. En la arenita de cuarzo no es difícil encontrar algunos feldespatos (plagioclasa, ortoclasa y microclina), mientras que en la arenisca limolítica, son notables las grandes concentraciones de biotita. Además, existen algunos niveles con clastos calcáreos abundantes y, en ocasiones, se observa granos aislados de felsita.

Por lo anterior, se concluye que la mayoría de los minerales que constituye la Formación Proveedora debió provenir de terrenos metamórficos o de rocas ígneas plutónicas félsicas y, en cantidad menor, de sedimentos calcáreos del Precámbrico. Es probable que estos terrenos formaran parte del macizo constituido por el antiguo continente de América septentrional, localizado hacia el nororiente de Caborca.

DISCUSIÓN

Una de las características más significativas de la Formación Proveedora, en el área de Caborca, es la gran cantidad de paquetes de arenisca limolítica y limolita arenosa que sobrepasa, en volumen, a la de arenita de cuarzo y que se encuentra localizada a lo largo de toda la columna. Esto puede indicar que esta área fue afectada por la desembocadura de algún río, como sucede en las series Downtown y el Grupo Upper Red (Allen y Tarlo, 1962); además, es posible inferir, por las características litológicas de la formación, que se trataba de una costa protegida.

Del mismo modo, en la Formación Proveedora no fue posible encontrar estratificación bimodal (*herringbone*), que es propia de ambientes de intermarea, posiblemente porque el mecanismo que produce la laminación de marea (Clifton, 1969), tan común en algunas capas, impide la formación de rizaduras y cualquier otra manifestación en los depósitos de este tipo.

Por otro lado, Stewart y colaboradores (1984) hicieron una serie de mediciones de paleocorrientes y mostraron que no hay una dirección dominante en toda la región de Caborca dentro de la Formación El Arpa, las Cuarcitas Pitiquito y Tecolote y las Formaciones Puerto Blanco, Proveedora y Buelna. Sin embargo, sí existe localmente una dirección de paleocorrientes dominante que sugiere corrientes originadas por la turbulencia y el flujo de mareas.

Por último, es importante mencionar que la Cuarcita Zabriskie, localizada al oriente de California y poniente de Nevada, tiene gran parecido litológico con la Formación Proveedora con la que se correlaciona (Stewart, 1982, p. 175, 177; Stewart *et al.*, 1984, p. 28), además de que su origen (Barnes y Klein, 1975) es igual al de la Formación Proveedora.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su más sincero agradecimiento a los doctores Jaime Barceló-Duarte y Víctor Manuel Malpica-Cruz por la revisión crítica del manuscrito original, y a la Dra. Blanca Estela Buitrón por sus valiosas sugerencias. Del mismo modo, externo mi gratitud a todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. R. L., y Tarlo, L. B., 1962, The Downtonian and Dittonian facies of the Welsch borderland: *Geol. Magazine*, v. 100, p. 129-155.
- Anderson, T. H., Eells, J. H., y Silver, L. T., 1978, Rocas precámbricas y paleozoicas de la región de Caborca, Sonora, México: *in* Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G. A., eds., Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora, Libreto-Guía. Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, p. 5-34.
- Barnes, J. J., y Klein, G. V., 1975, Tidal deposits in the Zabriskie Quartzite (Cambrian), eastern California and western Nevada: *in* Ginsburg, R. N., ed., Tidal deposits. Nueva York, Springer-Verlag, p. 163-169.
- Cevallos-Ferriz, Sergio, Salcido-Reyna, Alfonso, y Pelayo-Ledezma, Andrés, 1981 (1983), Una nueva sección del Precámbrico de Sonora; los estromatolitos y su importancia en estos estudios: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 5, p. 1-16.
- Clifton, H. E., 1969, Beach lamination - nature and origin: *Marine Geology*, v. 7, p. 553-559.
- 1976, Wave-formed structures - a conceptual model: *in* Davis, R. A., y Ethington, R. L., eds., Beach and nearshore sedimentation: *Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, Spec. Publ.* 24, p. 126-148.
- Clifton, H. E., Hunter, R. E., y Phillips, R. L., 1971, Depositional structures and processes in the non-barred high energy nearshore: *Jour. Sed. Petrology*, v. 41, p. 651-670.
- Cooper, G. A., y Arellano, A. R. V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 30, p. 606-619.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulich, V. J., Stoyanow, Alexander, y Lochman-Balk, Christina, 1954, Geología y paleontología de la región de Caborca, norponiente de Sonora; pte. 2, Paleontología y Estratigrafía del Cámbrico de Caborca: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol.* 58, pte. 1, 219 p.
- Lochman-Balk, Christina, 1956, The Cambrian of the Rocky Mountains and southwest deserts of the United States and adjoining Sonora province, Mexico: *in* Rogers, John, ed., El Sistema Cámbrico, su paleogeografía y el problema de su base; pte. 2, Australia, América. México, D. F., Cong. Geol. Internat., 20, p. 529-661.
- Malpica-Cruz, Rodolfo, y Torre-López, Guillermo de la, 1979, Integración estratigráfica del Paleozoico de México; pte. 1, Cámbrico-Ordovícico: *Inst. Mex. Petróleo, Proyecto C-1079*, 148 p. (inédito).
- McMenamin, M. A. S., Awramik, S. M., y Stewart, J. H., 1983, The Precambrian-Cambrian transition problem in western North America; pte 2, Early Cambrian skeletonized fauna and associated fossils from Sonora, Mexico: *Geology*, v. 11, p. 227-230.
- Rivera-Carranco, Enrique, 1984, Los ambientes de depósito de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora: México, D. F., Soc. Geol. Mexicana, Convención Nacional, 7, Programa y Resúmenes, p. 36-37 (resumen).
- 1988, Determinaciones paleoambientales de las formaciones cámbricas del área de Caborca, Sonora: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 7, p. 22-27.
- Seilacher, Adolf, 1967, Bathymetry of trace fossils: *Marine Geology*, v. 5, p. 413-428.
- Stewart, J. H., 1982, Regional relations of Proterozoic Z and Lower Cambrian rocks in the western United States and northern Mexico: *in* Cooper, J. O., Troxel, B. W., y Wright, L. A., eds., *Geology of selected areas in the San Bernardino Mountains, western Mojave Desert, and south Great Basin, California*. Anaheim, California, Geol. Soc. America, An. Meeting, Guidebook, p. 171-186.
- Stewart, J. H., McMenamin, M. A. y Morales-Ramírez, J. M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico; physical, stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies and regional relations: *U. S. Geological Survey, Prof. Paper* 1309, 36 p.
- Thompson, W. O., 1937, Original structures of beaches, bars and dunes: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 48, p. 723-752.
- Wunderlich, Friedrich, 1970, Genesis and environment of the "Nellenköpfschichten" (lower Emsian; Rheinian Devon) at locus typicus in comparison with modern coastal environments of the German Bay: *Jour. Sed. Petrology*, v. 40, p. 102-130.

Manuscrito presentado: 29 de octubre de 1984.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 29 de agosto de 1985.

Manuscrito aceptado: 30 de marzo de 1986.