

ESTRATIGRAFÍA DEL PLEISTOCENO SUPERIOR-Holoceno EN EL ÁREA DE LA LAGUNA COSTERA DE BALANDRA, ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR

Sergio Pedrín-Avilés¹
Gustavo Padilla-Arredondo¹
Ernesto Díaz-Rivera¹
Les Sirkin² y
Robert Stuckenrath³

RESUMEN

En el piso de la laguna costera de Balandra y en los afloramientos de rocas marinas de los alrededores de la misma, se hizo el estudio de las unidades estratigráficas sedimentarias. Éstas poseen el registro más amplio que se conoce de la parte superior del Cuaternario, incluyendo el Pleistoceno tardío, en los alrededores del litoral de la bahía de La Paz.

La unidad pleistocénica más antigua está representada por una terraza marina ubicada entre los tres y cuatro metros de altura respecto al nivel medio del mar, de la cual se ha determinado una edad de $288,000 \pm 50,000$ años A. P., a partir de una muestra de coral fechada por el método de la serie del uranio. Se cree que la edad de esta unidad sea incorrecta, pues la elevación de su cima es menor que la de otras terrazas de la región de edad similar.

Las unidades holocénicas están confinadas a depósitos principalmente lagunares representados por una unidad de fragmentos de coral, dos estratos de turba de manglar y dos estratos limoarcillosos. Estas unidades fueron producto de las diferencias entre las tasas de depósito y el ascenso relativo del nivel del mar en la época del Holoceno.

El depósito de turba del área lagunar, colocado a -2.25 m de profundidad, tiene una antigüedad de $4,120 \pm 100$ años A. P., lo cual sugiere un episodio regresivo causado por la estabilización del nivel del mar.

Adicionalmente, se recolectó una fauna de moluscos en los diferentes afloramientos que rodean el área lagunar.

Palabras clave: estratigrafía, Cuaternario, fechas por ^{14}C y serie del uranio, laguna costera de Balandra, Baja California Sur, México.

ABSTRACT

A study was carried out on the sedimentary stratigraphic units in the Balandra coastal lagoon floor and in the outcrops of its surroundings, which possess the widest registered record known for the late Quaternary of the La Paz bay, including the late Pleistocene.

The oldest Pleistocene unit is represented by a marine terrace located three or four meters above mean sea level, from which a sample of coral was dated using the uranium-series method at $288,000 \pm 50,000$ years B. P. The age of this unit is considered to be incorrect because the elevation of its top is lesser than other terraces of the region of similar age.

The Holocene units are confined principally to lagunar deposits represented by a coral debris unit, two peat mangrove strata and two silt-clay strata. These units resulted from the differences between the rates of deposition and the relative rise of the sea level during the Holocene epoch.

The peat deposit of the lagoon that is placed at the depth of -2.25 m has an age of $4,120 \pm 100$ years B. P., which suggests a regressive episode due to sea level stabilization.

In addition, a mollusk fauna was collected around the Balandra lagoon area.

Key words: stratigraphy, Quaternary, ^{14}C and U-series ages, Balandra coastal lagoon, Baja California Sur, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La laguna costera de Balandra es una cuenca lagunar que se localiza en los $24^{\circ}19'15''$ N y $110^{\circ}18'45''$ W. Ella posee uno de los manglares más grandes en las cercanías de la ciudad de La Paz, con una superficie total de aproximadamente $525,000$ m² de

los cuales $300,000$ m² corresponden al área lagunar y los restantes $225,000$ m² a vegetación de manglar compuesta por *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y otras halófitas menores tales como *Salicornia* sp. La laguna se encuentra comunicada con la bahía de La Paz hacia el oeste a través de una boca de 140 m de anchura, aproximadamente (Figura 1).

Se estima que durante el Pleistoceno estuvieron presentes varios períodos glaciares caracterizados por grandes acumulaciones de hielo en los polos, que hacían descender el nivel del mar en las costas no afectadas por estos glaciares, seguidos por períodos interglaciares o de deshielo, en los que aumentaba el nivel del mar en las mismas zonas litorales (Figura 2).

¹Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A. C., División de Biología Marina, Apartado Postal 128, 23000 La Paz, B. C. S.

²Department of Earth Sciences, Adelphi University, Garden City, New York 11530, E. U. A.

³Radiation Biology Laboratory, Smithsonian Institution, Rockville, Maryland 20852, E. U. A.

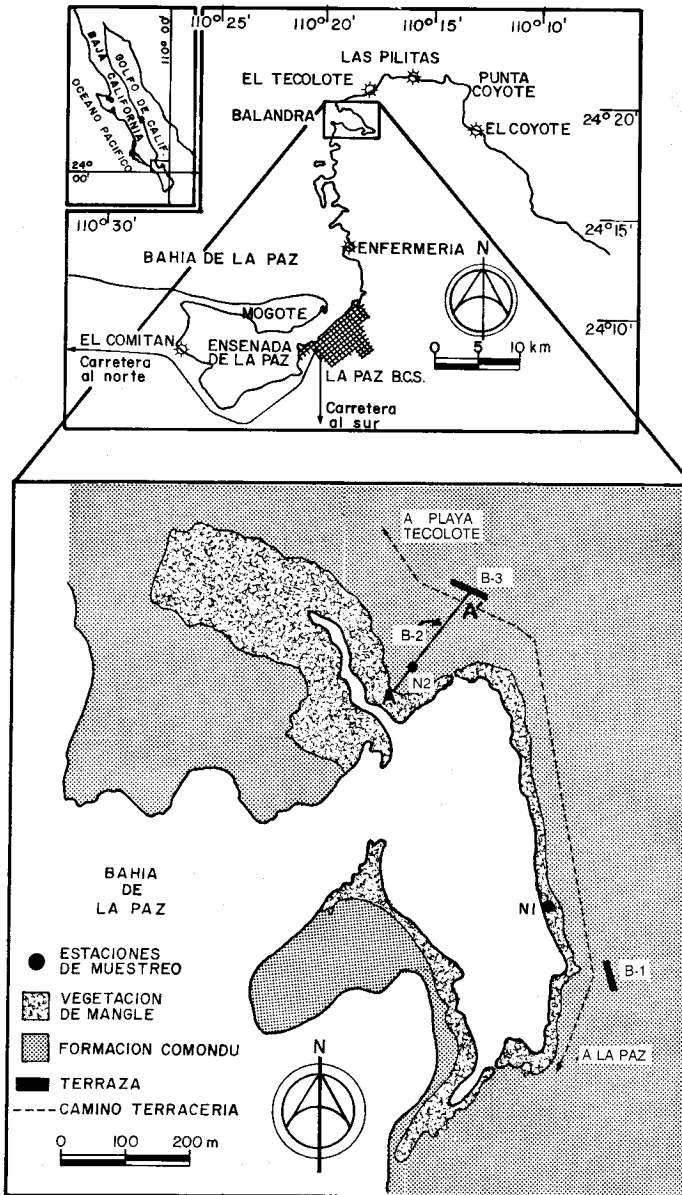


Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio.

Las fluctuaciones del nivel marino durante el Cuaternario han sido responsables de la formación de rasgos costeros particulares, tales como terrazas de abrasión, depósitos de playa elevados, cavidades de erosión por oleaje (Sirkin *et al.*, 1984) y formación de barreras arenosas, entre otros. Lankford (1977) mencionó tres eventos que tienen particular relación con las lagunas costeras modernas:

El primero fue la estabilización de la línea de costa durante la etapa interglacial Sangamon, hace aproximadamente 120,000 años A. P. (antes del presente), entre los 5 y los 8 m sobre el nivel presente del mar. Este evento tuvo lugar durante el Pleistoceno tardío y la estabilización produjo promontorios de depósitos sedimentarios de tipo delta-laguna-playa. Los remanentes de estos sistemas están ubicados en las planicies costeras modernas de México y comúnmente están asociados con las lagunas costeras del presente. Las evidencias reconocibles de un nivel relativamente alto del mar están expuestas en el área de La Paz, en los niveles de erosión que presentan oquedades en los cerros adyacentes hasta alturas de 13 m. s. n. m. (Sirkin *et al.*, 1984). En depósitos cuaternarios de Sonora, Malpica-Cruz y colaboradores

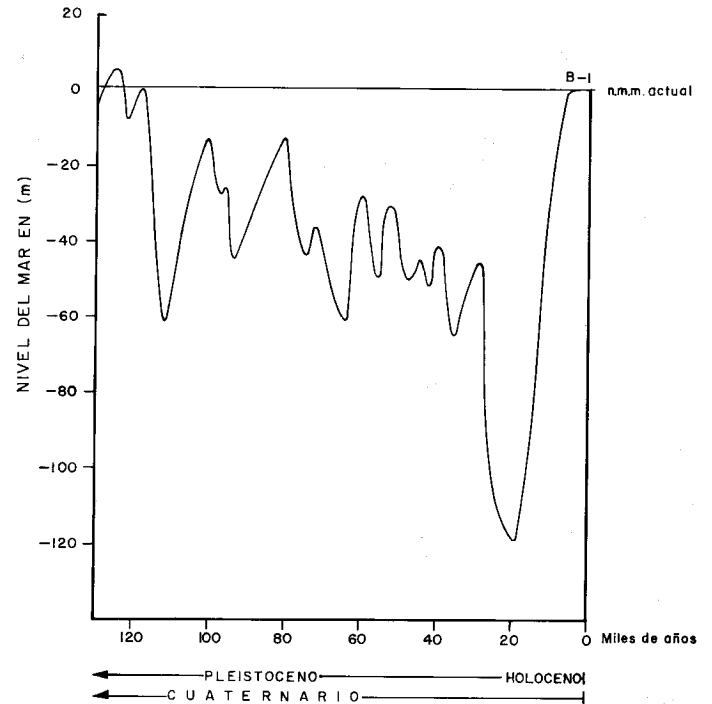


Figura 2.- Gráfica que muestra los cambios recientes del nivel del mar, modificada de Shackleton (1973) y Chappell y Shackleton (1986).

(1978) encontraron que, en general, los depósitos de esa etapa interglacial están cubiertos por aluvión y/o dunas.

El segundo evento importante está asociado con el máximo de la etapa de glaciación Wisconsin, cuando el nivel del mar descendió aproximadamente 130 m bajo el nivel actual en los 18,000 años A. P. (Figura 2). La plataforma continental actual fue entonces expuesta a procesos de denudación meteórica terrestre; valles y cañones fueron labrados; la sedimentación fluvial se desarrolló en meandros y deltas; además, se produjo zonas de suelo, promontorios topográficos y otros accidentes.

El tercer evento está referido a la estabilización de la línea de costa cuando el nivel marino redujo considerablemente su velocidad de ascenso hace aproximadamente 5,000 años A. P. Durante este lapso se originó sedimentación progradante y formación de barreras arenosas (Curry *et al.*, 1969).

El estudio de la parte superior del Cuaternario en el litoral de la bahía de La Paz ha sido un tema poco abordado, por lo cual el objeto del presente estudio es el de contribuir al conocimiento de la historia geológica del lugar durante este período, con base en la descripción de sedimentos lagunares así como de los afloramientos marinos que rodean la laguna.

ESTUDIOS PREVIOS

Entre los primeros estudios en los que se tiene información respecto a la parte superior del Cuaternario en las cercanías de La Paz, está el realizado por Angermann (1904), el cual menciona playas elevadas, colocadas a 600 m sobre el nivel del mar, caracterizadas por arenisca con restos de molusco. Este dato fue cuestionado por Ortlieb (1987), quien supone que sean sitios antiguos de ocupación humana. En estudios recientes del área, Ortlieb (*op. cit.*) y Sirkin y colaboradores (1984, 1990) mencionaron terrazas del Cuaternario que no superan los 50 m para esta región; sin embargo, los autores coinciden en el hecho de que la península se ha levantado tectónicamente. Squires (1959) des-

cribió terrazas marinas en las cercanías de la laguna de Balandra para complementar su estudio sobre la distribución de coral cuaternario en Baja California.

En artículos posteriores, Ortlieb (1978, 1980) comparó la elevación de las terrazas de Sonora y Baja California Sur, concluyendo que las del último estado están en una posición relativamente más alta, lo cual sugiere un levantamiento diferencial entre ambas costas, del orden de 20 a 30 mm por cada 1,000 años.

Díaz-Rivera (1980) llevó a cabo un estudio de la sedimentología superficial en la laguna de Balandra, en el cual determinó que los sedimentos son básicamente del grupo de los limos y las arenas.

Sirkin y colaboradores (1984, 1990), en los estudios realizados en las costas de Baja California Sur, concluyeron que la península está en un proceso de emersión actualmente, lo que coincide con algunas hipótesis anteriores.

Padilla y colaboradores (1985) describieron secuencias estratigráficas en la laguna costera de Enfermería, que fueron depositadas durante la transgresión holocénica, e interpretaron la historia geológica con base en siete unidades que están muy bien representadas.

Pedrín y colaboradores (1987), en su estudio sobre los inventarios de fauna de moluscos en afloramientos litorales de la bahía de La Paz, encontraron en el área de Balandra la mayor diversidad de conchas de moluscos respecto a los otros afloramientos, al sur de la misma bahía.

MÉTODO DE ESTUDIO

En este estudio fueron recolectados 12 núcleos sedimentarios, los cuales presentan características litológicas muy similares; sin embargo, para la interpretación estratigráfica del lugar, se seleccionó sólo un núcleo representativo (N₁; Figura 1) y un pozo (N₂). Se realizó un levantamiento topográfico de nivelación sobre la sección A-A' (Figura 1) para determinar las cotas de las unidades estratigráficas y se hizo su representación gráfica. Los testigos fueron extraídos por medio de un nucleador para lodos Kahlsico.

Existe fricción entre el sedimento capturado y las paredes internas del nucleador, por lo cual se produce compactación en el material sedimentario de manera que la penetración no es igual a la captura, así que se hizo la corrección por compactación en el sedimento, repartiendo el volumen libre producido de la compactación, en proporción al espesor relativo de los estratos compactados.

La ecuación ideada para la determinación del espesor real de un estrato particular, considerando el efecto de la compactación, es la siguiente:

$$E_r = \frac{(C_1)(E_f)}{C} + E_f$$

Donde E_r es el espesor real del estrato, C_1 la compactación (intervalo vacío); E_f el espesor falso del estrato (espesor del estrato medido en el núcleo compactado) y C el espesor capturado.

Se practicó el análisis textural del sedimento a los núcleos capturados en el área lagunar, utilizando la serie de tamices a intervalos de 1Φ para el cálculo porcentual de la fracción gruesa, mientras que para la fracción fina (<1/16 mm), fueron empleadas probetas de un litro, agua oxigenada y oxalato de sodio siguiendo la técnica descrita por Royse (1970).

En la parte nororiental del área, en los depósitos considerados pleistocénicos, se levantó una sección estratigráfica A-A' para conocer su posición real de altura respecto al nivel medio del mar. A lo largo de la misma, fueron recolectados e identificados moluscos tanto recientes como fósiles, en tres afloramientos

de terrazas, usando para la identificación las guías malacológicas de Keen y Coan (1974) y de Brusca (1980).

Se obtuvo una fecha por ¹⁴C en una muestra de coral colocada a -2.25 m en el núcleo 1 (Figura 3) (Sirkin *et al.*, 1984). Esta muestra proporcionó una edad de 4,120±100 años A. P.

En los afloramientos marinos que rodean la laguna, señalados como B-1 y B-3 (Figuras 1 y 4), fueron obtenidas dos fechas por el método de la serie del uranio; éstas corresponden a 3,000±1,000 y 288,000±50,000 años A. P., respectivamente, las cuales fueron realizadas por el Dr. Barney J. Szabo (Sirkin *et al.*, 1990), del U. S. Geological Survey en Denver, Colorado.

MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se ubica dentro de la provincia fisiográfica de las Sierras de Baja California (López-Ramos, 1985), cuyas rocas varían en edad desde el Cretácico hasta el Holoceno.

La región de La Paz es una estructura de *graben*, que constituye una franja angosta orientada aproximadamente en dirección norte-sur, limitada al norponiente por los gruesos paquetes de rocas volcánicas de la Formación Comondú, del Mioceno medio, y al sudeste por las rocas cristalinas de la sierra de La Victoria, del Cretácico Superior. El límite entre esta sierra y el valle de La Paz constituye un alineamiento estructural prominente denominado "falla de La Paz" (Normark y Curray, 1968), que representa una frontera fisiográfica y geológica. Aranda-Gómez y Pérez-Venzor (1988) dividieron la península de La Paz en cuatro zonas con base en rasgos fisiográficos caracterizados detalladamente. El área de estudio analizada en este artículo corresponde a la subzona "Ia" de los citados autores, la cual está caracterizada por una topografía abrupta producida por la actividad volcánica del Terciario medio y que posteriormente fue modificada por procesos exógenos de erosión fluvial y marina. En esta zona, predominan brechas volcánicas monolíticas, sin clasificación y con estratificación burda. Las inclinaciones de las capas alcanzan ángulos superiores a los 45° (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, *op. cit.*).

La Formación Comondú está restringida, según Hausback (1984), para el material derivado del arco miocénico de composición silícica intermedia, incluyendo las rocas volcánicas y volcánicas que forman el cuerpo de la sierra de La Giganta y excluye al Mioceno tardío y a las capas jóvenes de derrames de basalto relacionados con la extensión postarco.

RESULTADOS

En este estudio se menciona, a modo de comparación, parte de los resultados estratigráficos obtenidos en la laguna costera de Enfermería por tener ésta una gran similitud con la de Balandra.

En los alrededores del área de Balandra fueron reconocidas unidades estratigráficas tanto del Pleistoceno como del Holoceno. Los depósitos considerados pleistocénicos están ubicados en la parte nororiental de la laguna costera de Balandra y están representados por una terraza marina denominada Balandra 3 (B-3; Figura 1), la cual tiene aproximadamente 4 m de altura respecto al nivel medio del mar (Figura 4) y un espesor total promedio de 1.1 m. Este depósito es el que tiene mayor abundancia de conchas de molusco en el área (Tablas 1 y 2). Respecto a este depósito, Sirkin y colaboradores (1990) obtuvieron una edad —por el método de la serie del uranio— de 288,000±50,000 años A. P., efectuada en un coral aragonítico.

Otro rasgo sobresaliente de probable edad pleistocénica es un cuerpo arrecifal coralino, ubicado aproximadamente a 4 m. b.

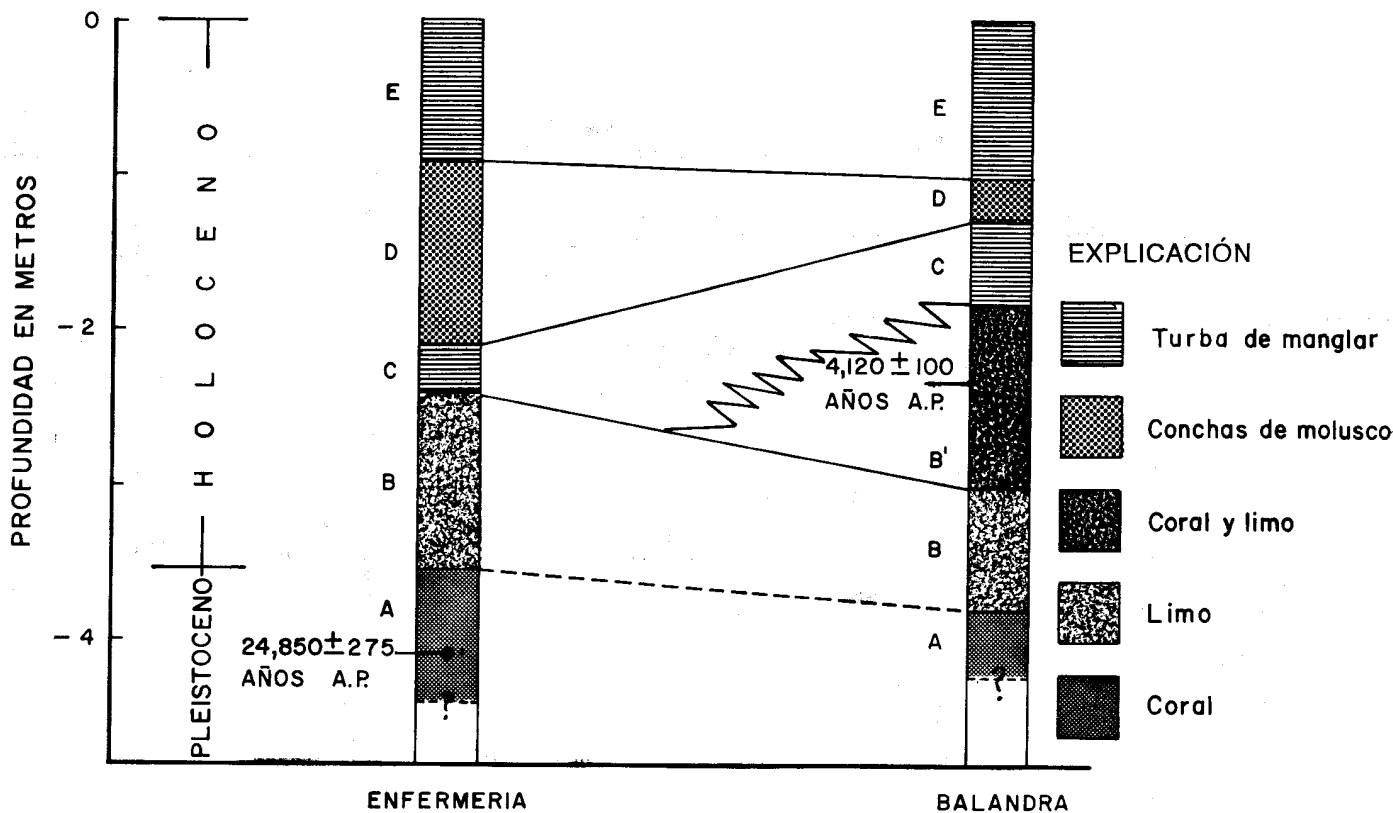


Figura 3.- Correlación estratigráfica entre los sedimentos no consolidados de las lagunas costeras de Enfermería y de Balandra.

n. m. m. (Figura 3). Éste tiene correlación estratigráfica con el que se encuentra en la laguna de Enfermería, del cual se obtuvo una edad —por el método del ^{14}C — de $24,850 \pm 275$ años A. P., por Mebus A. Geyh, del Instituto de Geología y Paleontología de la Universidad de Hannover, Alemania Federal.

En la sección transversal A-A' (Figura 4), aparecen las características del depósito Balandra 3 (B-3). En la parte central de la sección, se tiene un suelo de aluvión joven con restos de molusco abundantes, al cual se denominó como Balandra 2 (B-2), probablemente derivado de la unidad B-3. La última unidad de esta misma sección corresponde a un estrato de facies arrecifal,

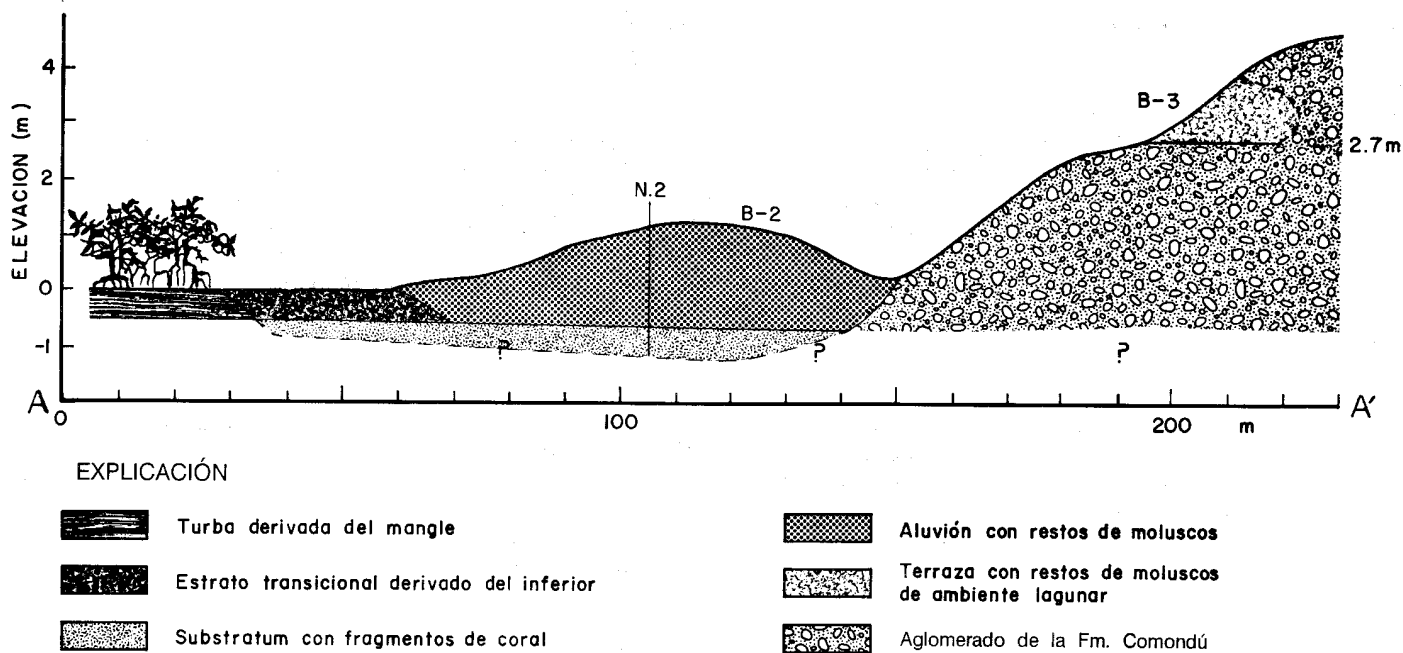


Figura 4.- Sección transversal A-A' del área de la laguna costera de Balandra, en la que están localizados los depósitos de la parte nororiental.

Tabla 1.- Especies de moluscos marinos bivalvos, recolectados en afloramientos marinos de la laguna costera de Balandra, Baja California Sur.

Nombre de la clase Bivalvia	B-1	B-2	B-3
<i>Anadara multicostrata</i> (Sowerby, 1833)		X	X
<i>Anadara</i> sp.	X		X
<i>Arca pacifica</i> (Sowerby, 1833)		X	X
<i>Argopecten circularis</i> (Sowerby, 1835)			X
<i>Barbatia</i> sp.		X	
<i>Cardita affinis</i> (Sowerby, 1833)	X		
<i>Chama buddiana</i>		X	
<i>Chione californiensis</i> (Broderip, 1835)	X	X	X
<i>Dosinia ponderosa</i> (Gray, 1838)		X	
<i>Glycymeris gigantea</i> (Reeve, 1843)		X	X
<i>Lyropecten subnodosus</i>			X
<i>Megapitaria squalida</i> (Sowerby, 1835)	X	X	
<i>Modiolus modiolus</i> (Linne)		X	
<i>Ostrea angelica</i> (Rochebrune, 1895)	X	X	
<i>Ostrea columbiensis</i> (Hanley, 1846)			X
<i>Ostrea fisheri</i> (Dall, 1914)		X	X
<i>Ostrea palmula</i> (Carpenter, 1857)	X	X	X
<i>Ostrea</i> sp.	X	X	X
<i>Pecten vogdesi</i> (Arnold, 1906)			X
<i>Pinna rugosa</i> (Sowerby, 1835)		X	
<i>Pinctada mazatlanica</i> (Hanley, 1856)	X	X	
<i>Spondylus princeps</i> (Broderip, 1833)	X	X	X
<i>Tagelus</i> sp.			X
<i>Tellina</i> sp.	X		
<i>Trachicardium consors</i> (Sowerby, 1833)		X	X

compuesto por fragmentos de algas calcáreas y de coral y por conchas de molusco, posiblemente correlacionable con la unidad B-1.

Se denominó como Balandra 1 (B-1) a un depósito de terraza situado al sudeste de la laguna y con una altura de 0.5 m. s. n. m. m. (Figura 1), la cual está constituida por restos de coral y abundantes moluscos, cementados débilmente. Un coral, *Porites californica* (Verrill), de esta unidad fue fechado —por el método de la serie del uranio— en $3,000 \pm 1,000$ años A. P. (Sirkin et al., 1990). Este depósito aparece cubierto parcialmente por detritos de derrames volcánicos de la Formación Comondú, del Mioceno.

Por lo que respecta al Holoceno, las unidades están confinadas, en su mayoría, al área lagunar, las cuales fueron halladas en un núcleo (Figura 3). Estas unidades descritas de la base hacia la cima consisten en lo siguiente: un cuerpo netamente coralino, depositado en la base de la columna sedimentaria de la cuenca; un estrato limoso carente de fragmentos biogénicos; un estrato limoarcilloso, que contiene restos de coral; una unidad de turba, derivada de restos de mangle; un estrato limoarcilloso con restos de molusco y una turba derivada de la implantación moderna de los mangles. La unidad más antigua corresponde al cuerpo de coral designado con la letra "A", el cual probablemente sea correlacionable con *Porites* sp., que identificó Brooks D. Anderson II en la laguna costera de Enfermería (in Díaz-Rivera et al., 1983).

Descansando sobre el cuerpo coralino, se encuentra el primer estrato netamente terrígeno más antiguo al cual se designó con la letra "B". Este estrato es de color verde olivo con tonalidades oscuras, de textura limosa (Figura 3) y con un espesor promedio, calculado con la ecuación mencionada antes, de 0.8 ± 0.4 m; presenta una marcada influencia continental debido a que los sedimentos que fueron observados son derivados de la roca madre del lugar, tales como brechas y aglomerados volcánicos que bordean a la laguna. Este estrato es resultado del efecto progradante de la costa.

Tabla 2.- Especies de moluscos marinos gasterópodos, recolectados en afloramientos marinos de la laguna costera de Balandra, Baja California Sur.

Nombre de la clase Gastropoda	B-1	B-2	B-3
<i>Acanthina tuberculata</i> (Sowerby, 1833)		X	
<i>Calliostoma</i> sp.	X		
<i>Cerithium stercusmuscarum</i> (Valenciennes, 1833)	X		
<i>Conus</i> sp.	X	X	X
<i>Crepidula</i> sp.	X		
<i>Crucibulum spinosum</i> (Sowerby, 1835)	X		X
<i>Cypraea annettae</i> (Dall, 1909)			X
<i>Diodora inaequalis</i> (Sowerby, 1835)			X
<i>Fusinus depetitthouarsi</i> (Kiener, 1840)		X	
<i>Fusinus</i> sp.			X
<i>Muricanthus nigrilus</i> (Philippi, 1845)			X
<i>Nassarius</i> sp.	X		
<i>Nerita scabricosta</i> (Lamarck, 1822)	X		
<i>Oliva porphyria</i> (Linnaeus, 1758)			X
<i>Oliva spicata</i> (Roding, 1798)	X		X
<i>Oliva</i> sp.	X		X
<i>Polinices uber</i> (Valenciennes, 1832)			X
<i>Solenosteira</i> sp.	X		
<i>Strombus gracilior</i> (Sowerby, 1825)		X	
<i>Strombus granulatus</i> (Swainson, 1822)	X	X	
<i>Terebra</i> sp.	X	X	X
<i>Turritella anactor</i> (Berry, 1957)			X
<i>Turritella</i> sp.			X
<i>Turbo fluctuosus</i> (Wood, 1828)	X		X

El siguiente estrato, en orden ascendente, es el que corresponde a un material limoso con restos de coral abundantes; aquí se ha designado con la letra "B" y se presentó básicamente en los núcleos sedimentarios capturados en la parte meridional de la laguna. Su espesor promedio es de 1 ± 0.4 m.

Con la letra "C" se designó al estrato siguiente, cuya característica sobresaliente es que se compone casi exclusivamente de restos de material de vegetación de mangle con abundante contenido de materia orgánica. Esta unidad estratigráfica tiene gran semejanza en su aspecto físico con otra similar en la laguna de Enfermería (Figura 3). Su espesor calculado promedio es de 0.65 ± 0.35 m. En este estrato, a una profundidad de -2.25 m, fue obtenida una fecha, por ^{14}C , de $4,120 \pm 100$ años A. P., en el Laboratorio de Radiación Biológica del Instituto Smithsonian por Stuckenrath. Esta unidad sugiere que aproximadamente en esta fecha ocurrieron las primeras implantaciones de manglar en esta zona.

Una considerable cantidad de moluscos proliferó después de la destrucción de la población de mangle y generó un estrato denominado "D", el cual es de una coloración verdosa similar a la del "B" y con textura limoarenosa que, en comparación con los demás estratos, presenta un bajo contenido de material orgánico. Otra de las características, que sobresalen en este miembro, es la abundancia de organismos bentónicos asociados al sedimento, a diferencia de los otros miembros donde no existen o, bien, son escasos. Su espesor promedio es de 0.6 ± 0.3 m. Por orden de abundancia, las conchas de moluscos pertenecen a los géneros *Tellina* sp., *Nassarius tiarula* y *Oliva spicata* y, en menor proporción, a los géneros *Cerithidea* y *Cerithium*.

Yaciendo sobre el estrato "D", aparece la unidad estratigráfica más joven, que se denominó con la letra "E". Esta unidad está formada casi totalmente por detritos de manglar, lo que le da un color café oscuro con una textura de sedimento limoarcilloso. Se presenta con un espesor promedio de 0.6 ± 0.3 m. No existen restos de organismos asociados a este estrato y las poblaciones actuales de manglar están distribuidas en puntos aislados de las partes meridional y oriental de la bahía de La Paz.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Algunas de las fechas aportadas en este estudio pudieran despertar especulaciones que vale la pena aclarar. Respecto a la terraza marina B-3 (Figura 4), situada en la parte nororiental y ubicada a 4 m. s. n. m., aproximadamente, la cual proporcionó una edad—por el método de la serie del uranio—de $288,000 \pm 50,000$ años A. P., debe decirse que ésta es considerada inconsistente, debido a que la elevación de la cima de la terraza no coincide con las de otras de edad similar (localidad La Ventana, cima elevada de 15 a 20 m s. n. m. m.; Sirkin *et al.*, 1990). Las condiciones del depósito muestran ausencia de cementación e indican que esta unidad fue redepositada y posiblemente sea un sitio antiguo de ocupación humana.

La otra muestra fechada por el método de la serie del uranio de la zona de Balandra, es la terraza marina situada en la parte sudoriental (B-1), que proporcionó una edad de $3,000 \pm 1,000$ años, la cual se considera correcta por la baja altitud que presenta (0.5 m) y, además, por estar débilmente cementada, lo cual verifica su edad temprana.

El cuerpo arrecifal coralino de Balandra, situado aproximadamente a 4 m. b. n. m. m. (Figura 3), se puede correlacionar estratigráficamente con otro descrito por Padilla-Arredondo y colaboradores (1985) en la laguna de Enfermería, el cual se encuentra también sepultado por sedimentos finos a la misma profundidad. Si la datación—realizada por el método del ^{14}C —de $24,850 \pm 275$ años A. P. es correcta, entonces la unidad coralina de la laguna de Enfermería corresponde a una plataforma de terraza de erosión, que quedó expuesta durante algún período interglaciar de la regresión Winsconsin y que posteriormente fue cubierta por el mar durante la etapa de transgresión. La superficie de erosión de esta unidad de coral y la encontrada en el núcleo de la laguna de Balandra representan el contacto Pleistoceno-Holoceno del área.

La transgresión debió continuar hasta la aparición de los primeros manglares en la bahía de La Paz, cuya implantación debió haber sido favorecida por un período de estabilización de la línea de costa; del mismo modo, la vegetación actual que rodea el área lagunar ha prosperado con la estabilización reciente del nivel marino. La edad de $4,120 \pm 100$ años A. P., obtenida en este estrato, indica el tiempo de implantación de la franja pionera de mangle y coincide con la estabilización relativa del ascenso del mar ocurrida hace 5,000 años A. P. (Curry *et al.*, 1969).

Las unidades que contienen fragmentos de carbonatos de origen biogénico (A, B' y D) fueron interpretadas como producidas por eventos transgresivos, porque la presencia de coral en el área lagunar implica que la línea de costa debió haber avanzado hacia tierra, disminuyendo la influencia directa del aporte de sedimentos terrígenos.

Los estratos del área lagunar descritos fueron interpretados como resultantes de procesos alternados de avance y retroceso de la línea de costa debido al aporte sedimentario, eustatismo y/o tectonismo. La terraza denominada B-1, ubicada a 0.5 m. s. n. m. m., representa un levantamiento tectónico del área. El evento tectónico se encuentra también evidenciado por excavaciones de oleaje sobre los pequeños acantilados del área a una elevación similar.

AGRADECIMIENTOS

Durante el desarrollo de este estudio, varias personas colaboraron desinteresadamente en el mismo, a las que se expresa el agradecimiento más sincero:

El Dr. Victor Manuel Malpica-Cruz, del Instituto de Geología de la UNAM, y el Dr. Luc Ortlieb, del ORSTOM, efectuaron

valiosas sugerencias y críticas al manuscrito. El Dr. William K. Emerson, del Museo de Historia Natural de Nueva York, hizo aportación de literatura y estimuló el desarrollo de la investigación. El Dr. Amando Leyva-Contreras, del Instituto de Geofísica de la UNAM, hizo atinadas sugerencias. El Dr. Brooks D. Anderson II, del Instituto de Geología de la Universidad de Nuevo León en Linares, dispuso su valiosa ayuda en la identificación de corales y la revisión del texto. El Dr. Mebus A. Geyh, del Instituto de Geología y Paleontología de la Universidad de Hannover, Alemania Federal, realizó la datación por el método del ^{14}C de la muestra del arrecife coralino de la laguna de Enfermería. La Dra. Judith Terry Smith y el Dr. James H. Ashby, ambos del U. S. Geological Survey en Menlo Park, California, colaboraron en la identificación de campo y laboratorio de la fauna de moluscos que aquí se menciona.

Se desea expresar reconocimiento, también, a los árbitros anónimos que llevaron a cabo la revisión crítica del manuscrito por sus atinadas sugerencias. Asimismo, al Sr. Roberto Lomelí-Leos por la elaboración de las figuras, a la Sra. Sofía López-Navarro por su acuciosa labor en la mecanografía del manuscrito y a Arturo Gómez-Caballero por la revisión editorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angermann, Ernest, 1904, Fisiografía, geología e hidrografía de los alrededores de La Paz, Baja California Sur: Instituto Geológico de México, Parergones, v. 1, núm. 2, p. 1-21.
- Aranda-Gómez J. J., y Pérez-Venzor, J. A., 1988, Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 7, p. 1-21.
- Brusca, R. C., 1980, Common intertidal invertebrates of the Gulf of California: Tucson, Arizona University Press, 513 p.
- Chappell, J., y Shackleton, N. J., 1986, Oxygen isotopes and sea level: Nature, v. 324, p. 137-140.
- Curry, J. R., Emmel, F. J., y Crampton, P. J. S., 1969, Holocene history of a strand-plain lagoonal coast, Nayarit, Mexico, in Ayala-Castañares, y Phleger, F. B., eds., Lagunas Costeras—a symposium: Universidad Nacional Autónoma de México-United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Simposio Internacional Lagunas Costeras, México, D. F., Nov. 28-30, 1967, Memoria, p. 63-100.
- Díaz-Rivera, Ernesto, 1980, Estudio sedimentológico de tres lagunas costeras ubicadas en la bahía de La Paz, B. C. S.: La Paz, Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, Informe general de labores, p. 55-65 (inédito).
- Díaz-Rivera, Ernesto, Padilla-Arredondo, Gustavo, y Pedrín-Avilés, Sergio, 1983, Evolución geológica de la laguna costera Enfermería en la bahía de La Paz, durante la transgresión holocénica: La Paz, Universidad Autónoma de Baja California Sur, tesis profesional, 59 p. (inédita).
- Hausback, B. P., 1984, Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico, in Frizzell, V. A., Jr., ed., Geology of the Baja California peninsula: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, v. 39, p. 219-236.
- Keen, Myra, y Coan, Eugene, 1974, Marine molluscan genera of the western North America—one illustrated key, 2nd ed.: Stanford, Stanford University Press, 208 p.
- Lankford, R. R., 1977, Coastal lagoons of Mexico—their origin and classification, in Wiley, M. L., ed., Estuarine Processes: Nueva York, Academic Press, t. 2, p. 182-215.
- López-Ramos, Ernesto, 1985, Geología de México, 3^a ed.: México, D. F., edición privada, tomo 2, 454 p.
- Malpica-Cruz, V. M., Ortlieb, Luc, y Castro del Río, Alberto, 1978, Transgresiones cuaternarias en la costa de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 2, p. 90-97.
- Normark, W. R., y Curry, J. R., 1968, Geology and structure of the tip of Baja California, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 79, p. 1589-1600.

- Ortlieb, Luc, 1978, Reconocimiento de las terrazas marinas cuaternarias en la parte central de Baja California: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 2, p. 200-211.
- 1980, Neotectonics from marine terraces along the Gulf of California, in Morner, N. A., ed., *Earth rheology, isostasy and eustasy*: Nueva York, Wiley Interscience, p. 497-504.
- 1987, Neotectonique et variations du niveau marin au Quaternaire dans la région du Golfe de Californie, Mexique: Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III, tesis doctoral, tomo 1 (texto), 779 p. (inédita).
- Padilla-Arredondo, Gustavo, Díaz-Rivera, Ernesto, y Pedrín-Avilés, Sergio, 1985, Transgresión holocénica en la laguna costera Enfermería de la bahía de La Paz, B. C. S., México: Universidad Nacional Autónoma de México, Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, v. 12, p. 47-58.
- Pedrín-Avilés, Sergio, Díaz-Rivera, Ernesto, Padilla-Arredondo, Gustavo, Sirkin, Les, y Stuckenrath, Robert, 1987, Fauna de moluscos en afloramientos litorales de la bahía de La Paz, Baja California Sur, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 48, p. 9-21.
- Royse, C. F., Jr., 1970, *An introduction to sedimentary analysis*: Phoenix, Arizona State University, 180 p.
- Shackleton, N. J., y Opdyke, N. D., 1973, Oxygen isotopes and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238—oxygen isotopes and ice volume on a 105 and 106 year scale: *Quaternary Research*, v. 3, p. 39-55.
- Sirkin, Les, Padilla-Arredondo, Gustavo, Pedrín-Avilés, Sergio, Díaz-Rivera, Ernesto, Gaitán-Morán, Javier, y Stuckenrath, Robert, 1984, Quaternary marine deposits, raised marine terraces, and tectonism in Baja California Sur, Mexico—a report on research in progress, in Malpica-Cruz, V. M., Celis-Gutiérrez, Socorro, Guerrero-García, J. C., y Ortlieb, Luc, eds., *Neotectonics and sea level variations in the Gulf of California area—a symposium*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Symposium on neotectonics and sea level variations, Hermosillo, p. 319-340.
- Sirkin, Les, Szabo, B. J., Padilla-Arredondo, Gustavo, Pedrín-Avilés, Sergio, y Díaz-Rivera, Ernesto, 1990, Uranium-series ages of marine terraces, La Paz peninsula, Baja California Sur, Mexico: *Coral Reefs*, v. 9, p. 25-30.
- Squires, D. F., 1959, Coral and coral reefs in the Gulf of California, in *Results of the Puritan American Museum of Natural History expedition to western Mexico*: American Museum of Natural History, v. 18, p. 367-432.

Manuscrito presentado: 1 de abril de 1989.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 10 de enero de 1991.

Manuscrito aceptado: 18 de enero de 1991.