

**ANÁLISIS DE LAS ESTRUCTURAS SINGENÉTICAS PRESENTES
EN LA FORMACIÓN ROSARIO DEL CRETÁCICO TARDÍO
ENSENADA, BC**

**ANALYSIS OF SYNGENETIC STRUCTURES PRESENT IN THE
LATE CRETACEOUS ROSARIO FORMATION, ENSENADA, BC**

Eduardo del Corral ¹
Francisco Suárez-Vidal ²

¹ Instituto Oceanográfico de Manzanillo
Secretaría de Marina
Dirección General de Oceanografía
Manzanillo, Colima.

² Earth Science Division
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada,
P.O. Box 4843 San Ysidro, CA. 92073

Del Corral, Eduardo y Suárez-Vidal, F. Análisis de las estructuras singenéticas presentes en la Formación Rosario Cretácico tardío, Ensenada, BC. Analysis of Syngenetic Structures Present in the Late Cretaceous Rosario Formation, Ensenada, BC. *Ciencias Marinas* 13(4):111-127, 1987.

RESUMEN

La Formación Rosario, descrita por primera vez por Beal (1948), aflora a lo largo de la porción oeste de Baja California. Estratigráficamente, la Formación Rosario, ha sido subdividida en una secuencia de un miembro inferior de arenisca conglomerado superior de arenisca-lutita, aunque cada unidad muestra facies paleoambientales y sedimentarias cambiantes de este a oeste. En la Bahía de Ensenada, situada a 100km de la frontera internacional México-USA, el miembro inferior de la Formación Rosario del Cretácico Superior muestra una variedad de estructuras sedimentarias singenéticas que indican las condiciones oceanográficas y ambientales que prevalecieron en el tiempo de la depositación. Entre las estructuras se encuentran: estratificación cruzada, ondulitas simétricas y asimétricas, estructuras convolutas y flamas, clastos en rip-up y sedimentación rítmica con algunas irregularidades (compresiones y domos). Como resultado del análisis de estas estructuras singenéticas, concluimos que el miembro inferior Rosario fue depositado en un ambiente de transición asociado a mareas oceánicas, aunque pudieron formarse en aguas más profundas como a lo largo del quiebre de la plataforma continental y ocasionar un depósito de turbidita. Sin embargo, con base en la estratificación cruzada y las condiciones hidráulicas asociadas con las estructuras descritas, creemos que el miembro inferior Rosario presente en la Bahía de Ensenada es representativo de un ambiente controlado por mareas oceánicas, olas, corrientes de retorno, corrientes a lo largo de la playa, junto con periodos de sedimentación rápida proveniente de la costa.

ABSTRACT

The Rosario Formation, first described by Beal (1948) crops out along the west side of Baja California. Stratigraphically, the Rosario Formation has been subdivided into a lower sandstone-conglomerate, middle shale and upper sandstone-shale conglomerate sequence, although each unit exhibits changing paleoenvironmental and sedimentary facies from east to west. In Ensenada Bay, located 100km from the Mexico-USA international border, the lower member of

the Upper Cretaceous Rosario Formation exhibits a variety of syngenetic sedimentary structures which indicate the oceanographic and environmental conditions that prevailed at the time of deposition. Structures include: hummocky cross-stratification, symmetric and asymmetric ripplemarks, convolute and flame structures, rip up clasts and rhythmic sedimentation with some irregularities (pinch and swell). As a result of the analysis of these syngenetic structures, we conclude that the lower Rosario member was deposited in a transitional environment associated with ocean tides, although they can be formed in deeper water such as along the break of the continental platform forming a turbidite deposit. However, based upon the cross stratification and the hydraulic conditions associated with the described structures, we believe that the lower Rosario member present in Ensenada Bay is representative of an environment controlled by the ocean tides, wave, rip currents, longshore currents, together with periods of rapid sediment supply along the shore.

INTRODUCCION

Los estratos marinos del Cretácico Superior (Campaniano-Maastrichtiano) en el estado norte de la Baja California, México, se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de la costa oeste de la península. Al oeste de la línea de Santillán y Barrera (Fig. 1), fue depositada una secuencia sedimentaria durante las variaciones del nivel del mar en el Cretácico Tardío (Yeo, 1984), y consistente de una variedad de estratos no marinos, marinos de aguas someras y de mar profundo.

Esta secuencia sedimentaria fue reconocida por primera vez por Beal (1924) y llamada la Formación Rosario como la ciudad de Rosario, Baja California, en donde el autor describió la localidad tipo. Kilmer (1963) volvió a describir la secuencia sedimentaria en la misma zona y conservó el nombre de Formación Rosario solamente para los estratos superiores marinos y propuso el nombre de Formación Gallo para los sedimentos medios, no marinos y el de Formación Punta Baja para los estratos marinos inferiores. Esta nomenclatura estratigráfica prevaleció en la parte sur del estado. En el norte, en el área de San Diego, la Formación Rosario ha sido correlacionada con la Formación Lusardi, Point Loma y Cabrillo (Kennedy y Moore 1971 a, Yeo R. 1981, Nilsen and Abbott 1984).

Flynn (1970) correlacionó la Formación Redondo con la Formación Lusardi. Estas dos formaciones no son muy comunes y por lo tanto su relación con Point Loma, la Formación Cabrillo y la Formación Rosario en Baja California no es muy clara (Nilsen and Abbott, 1984).

INTRODUCTION

The Upper Cretaceous (Campanian-Maastrichtian) Marine strata in the Northern State of Baja California, Mexico, is widely distributed along the west coast of the peninsula. West of the Santillán and Barrera line (Fig. 1), a sedimentary sequence formed by a variety of non marine, shallow marine and deep marine strata was deposited during the sea level variation in Late Cretaceous (Yeo, R. 1984).

This sedimentary sequence was first recognized by Beal (1924), and named the Rosario Formation after the town of Rosario, Baja California, where the author described the type locality. Kilmer (1963) redescribed the sedimentary sequence in the same area and retained the name of Rosario Formation only for the upper marine strata and proposed the Gallo Formation for the middle, non marine sediments and the Punta Baja Formation for the lower marine strata. This stratigraphic nomenclature prevailed in the Southern part of the state. To the North, in the San Diego area, the Rosario Formation has been correlated with the Lusardi, Point Loma and Cabrillo Formation (Kennedy and Moore 1971a, Yeo, R. 1981, Nilsen and Abbott, 1984).

Flynn (1970) correlated the Redonda Formation with the Lusardi Formation. These two formations are not widely distributed and therefore, their relationship with Point Loma, Cabrillo Formation and Rosario Formation in Baja California is not clear, (Nilsen and Abbott 1984).

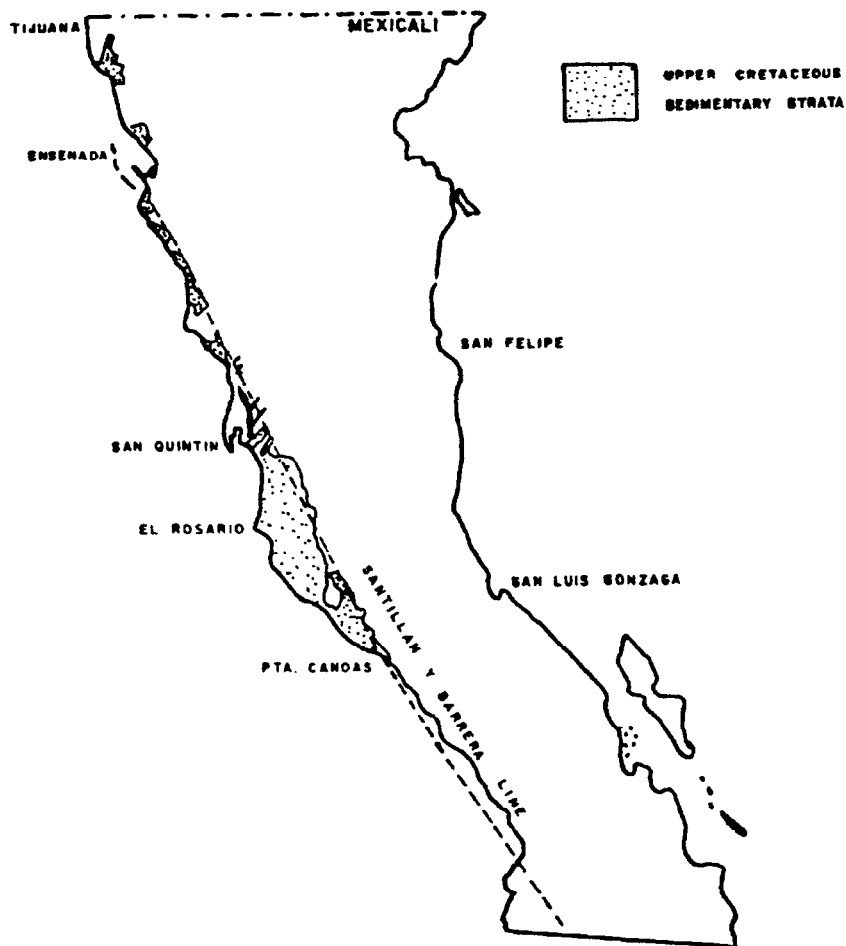


Figura 1. Mapa general de la Península de Baja California que ilustra la distribución geográfica de las rocas sedimentarias del Cretácico superior.

Figure 1. General map of the Península of Baja California illustrating the geographic distribution of the Upper Cretaceous sedimentary rocks.

Se llevaron a cabo varios estudios sedimentarios en las rocas sedimentarias del Cretácico Superior del sur de California, por ejemplo Steward (1956), Anderson (1962), Maytum y Elliot (1970), Yeo (1981), Zlotnik (1984), Tucker y Kimzeg (1984), Bartling y Abbott (1984). Los resultados de estos estudios muestran que la Formación Rosario representa una secuencia de sedimentos fluviales y aluviales derivados de roca prebatólica y batólica pre-existente.

Several sedimentary studies have been made in the Upper Cretaceous sedimentary rocks of Southern California, for example Stewart (1956), Anderson (1962), Maytum and Elliot (1970) Yeo (1981), Zlotnik (1984), Tucker and Kimzeg (1984), Bartling and Abbott (1984). Results of these studies show that the Rosario Formation represents a sequence of fluvial and alluvial fan sediments derived from prebatolithic and batholithic pre-existing rock.

En Baja California, los estudios sedimentarios en la Formación Rosario se limitan a los hechos por Kebort (1964), Worthington (1965), Smith (1967), Carpenter (1968), Mickey (1970), Yeo (1981), así como a la geología de reconocimiento de la zona de Ensenada, particularmente a lo largo de la península de Punta Banda donde existen afloramientos de la Formación Rosario, llevada por White (1895), y Fairbanks (1893) y más recientemente por Saul (1970). Sin embargo, estos estudios se enfocan en la descripción de los conjuntos fósiles presentes en la zona, particularmente al banco orgánico, formado por un bivalvo *Coralliochama orcutti*. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio basado sobre las estructuras singenéticas es establecer el medio ambiente sedimentario para los depósitos de la Formación Rosario antes del banco orgánicas y presentes en la península de Punta Banda así como determinar las condiciones paleo-oceanográficas prevalecientes en el momento del depósito.

LOCALIZACION

El área de estudio está situada 130km al sur de la Frontera Internacional, siguiendo la autopista México 1 hasta el pueblo agrícola de Maneadero (12km al sur de Ensenada), tomando en este punto la autopista 23 a la Bufadora 13.6km hacia el oeste y a lo largo del acantilado. Allí aparece la Formación Rosario que contiene *Coralliochama orcutti* (Fig. 2) en el sitio del Rincón de las Ballenas. A partir de este punto y 1.5km hacia el oeste, la formación Rosario está bien expuesta y una variedad de estructuras sedimentarias aparecen a lo largo del cantil de la costa.

ANALISIS SEDIMENTARIO

Los sedimentos del Cretácico Superior en la Península de Punta Banda están correlacionados con el miembro inferior de arenisca descrito por Yeo (1981) unos kilómetros hacia el norte. Se midieron 259m de sedimentos clásticos en el sitio de Punta Banda (Figura 3) y dentro de la Formación Rosario. Los rasgos más relevantes son la presencia de dos bancos de rudistas de *Coralliochama orcutti*, así como estructuras

In Northern Baja California, sedimentary studies in the Rosario Formation are restricted to those made by Kebort (1964), Worthington (1965), Smith (1967), Carpenter (1968), Mickey (1970), Yeo (1981), and to the reconnaissance geology of the Ensenada area specifically along the Punta Banda Peninsula where Rosario outcrops exist, made by White (1895), and Fairbanks (1893) and more recently by Alvarez-Borrego (1970). However, these studies focus on the description of the fossil assemblages present in the area, specifically the organic bank, which is formed by a rudist bivalve, *Coralliochama orcutti*. Therefore, the objective of the present study is based upon syngenetic structures to establish the depositional environment for those Rosario sediments deposited prior to the organic bank and present in the Punta Banda peninsula, and also to determine the paleo-oceanographic conditions which prevailed at the time of deposition.

LOCATION

The study area is located 130km south of the International Border. Following highway Mex. 1, up to the agricultural village of Maneadero (12km South of Ensenada). From this point taking highway 23 to La Bufadora 13.6km West and along the cliff side, the Rosario Formation crops out containing *Coralliochama orcutti* (Fig. 2) in the Rincón de las Ballenas site. From this point and 1.5km West, the Rosario Formation is well exposed and a variety of sedimentary structures are present along the seacliff.

SEDIMENTARY ANALYSIS

The Upper Cretaceous sediments in the peninsula of Punta Banda are correlative with the lower sandstone member described by Yeo (1981) a few kilometers to the North. 259m of clastic sediments were measured at the Punta Banda site (Figure 3) and within the Rosario Formation. The more important features are the presence of two rudist banks of *Coralliochama orcutti*, and the well preserved sedimentary structures. Lithologically, the stratigraphic column is formed by yellow-brown, lithoarenites and feldspathic lithoarenites with a high quartz percentage

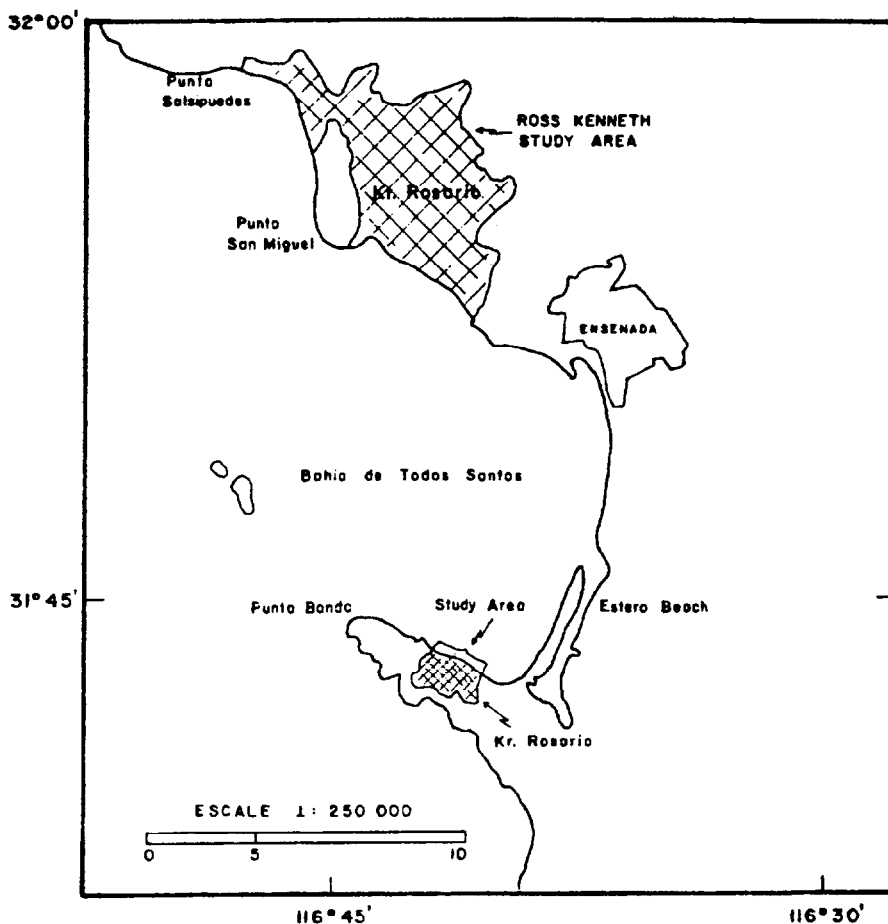


Figura 2. Mapa índice del área de estudio.
Figure 2. Index map showing the study area.

sedimentarias bien preservadas. Litológicamente, la columna estratigráfica está formada por litoarenitas de color amarillo-café y litoarenitas feldespáticas con un alto contenido de cuarzo (40-65%); los principales fragmentos de roca son volcánicos y en cantidades menores plutónicos. Están inmaduros debido a la falta de redondez (angular a subangular) y sorteamiento deficiente con los granos cuyo tamaño va del grueso al fino. La mayor parte de las muestras analizadas están cimentadas con calcita microcristalina ecuante. Se encontraron unos cuantos fragmentos dispersos de concha de *C. orcutti*. Ba-

(40%-65%) and the main rock fragments are volcanic, and in lesser amounts plutonic. They are immature due to the lack of roundness (angular to subangular) and poor sorting with grains size ranging from coarse to fine. Most of the samples analyzed are cemented with equant microcrystalline calcite. A few scattered shell fragments of *C. orcutti* were found. Based upon the texture and composition, it is deduced that the clastic sediments cropping out in the Punta Banda area reflect a short transportation, with the source terrain in the Alisitos volcanic material and some of the plutonic lithologies found nearby.

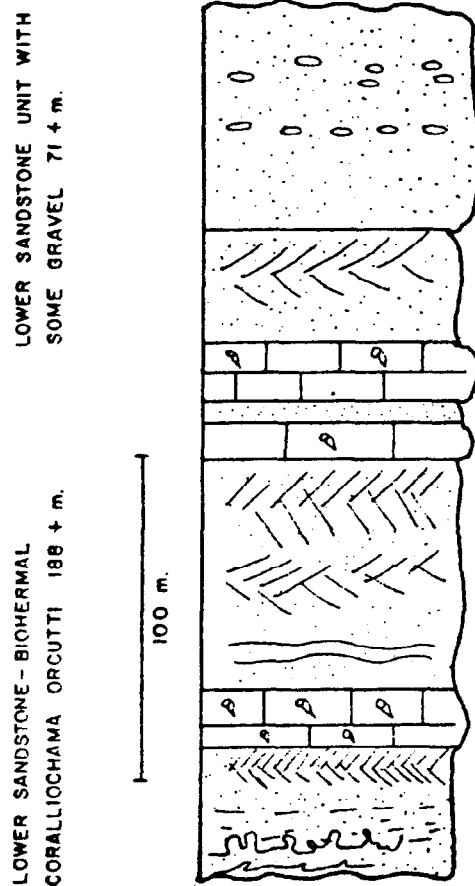


Figura 3. Sección medida de la Formación Rosario. Miembro inferior en la península de Ensenada, Baja California (según A. Cupul, 1983).

Figure 3. Measured section of the Rosario Formation. Lower member in the Ensenada peninsula, Baja California (After A. Cupul, 1983).

sándose sobre la textura y la composición, se dedujo que los sedimentos clásticos que aparecen en el área de Punta Banda reflejan un transporte corto, a partir del terreno de origen en el material volcánico de los Alisitos y de algunas litologías plutónicas que se encuentran cerca.

Desde arriba hasta abajo, la sección columnar contiene estructuras sedimentarias abundantes que fueron reconocidas (lecho

From top to bottom the columnar section contains abundant sedimentary structures that were recognized (cross-bed, hummocky cross-strata, convolute, flame, etc.) which reflects the environmental conditions at the site of deposition.

The studied area was subdivided in three zones, according to the columnar section and the type of sedimentary structures. The

cruzado, estratificación cruzada en forma de hamaca, convolutas, flamas, etc.). Ello refleja las condiciones ambientales en el sitio del depósito.

El área de estudio fue subdivida en tres zonas, de acuerdo a la sección columnar y el tipo de estructuras sedimentarias. La primera zona es la parte superior de la sección sobre el segundo horizonte de *C. orcutti*. Esta porción está bien expuesta a lo largo de la autopista 23 y consiste en flujos de granos que presentan laminación rítmica y alguna estratificación cruzada. Está fuertemente intemperizada por lo que resulta muy difícil observar cualquier estructura direccional.

La segunda zona es cuesta abajo a partir de la autopista 23 hasta que aparezca el banco orgánico. Litológicamente los sedimentos son muy similares a la parte superior de la sección, aunque la preservación de las estructuras está mejor. En esta segunda zona, las estructuras dominantes son básicamente una estratificación cruzada planar y en forma de hamaca como las que describe Yeo (1981), aunque el tipo planar sea más abundante. Existen algunas diferencias entre los estratos cruzados en Punta Banda y los que se encuentran más al norte, en el área de Descanso. En los afloramientos de Punta Banda existe una gradación en el tamaño de los granos de la base de la unidad superior; después, el tamaño se mantiene más uniforme. Alternándose con la estratificación cruzada, existen lechos que contienen estructuras de flama y de convolutas bien preservadas que fueron utilizadas para medir la dirección de los flujos.

La tercera zona se encuentra en el cantil a lo largo de la costa e incluye parte de la sección columnar del banco de *Coralliochama* hasta abajo. La zona se extiende del campamento turístico Rincón de las Ballenas hasta el contacto con la Formación Alisitos, 1.5km al oeste. Esta zona está estructuralmente deformada y controlada por una falla mayor de rumbo conocida como la Falla de Agua Blanca descrita por Allen *et al.* (1960). Esta falla está considerada como activa, particularmente en

first zone is the upper part of the section above the second horizon of *C. orcutti*. This part is well exposed along highway 23 and consists of lithocurrents presenting rhythmic lamination and some cross stratification. It is highly weathered, therefore it was very difficult to observe any directional structure.

The second zone is from highway 23, down slope until the appearance of the organic bank. Lithologically the sediments are very similar to the above part of the section, although preservation of structures is better. In this second zone the dominant structures are basically planar cross-stratification and hummocky cross-stratification like those described by Yeo (1981), although planar types are more abundant. Some differences exist between the cross-strata found in Punta Banda and the one located to the north, in the Descanso area. In the Punta Banda outcrops a gradation in grain size exists at the base of the unit to the upper part. Later the size is more uniform. Alternate with the cross-stratification there are some beds which have flame and convolute structures well preserved that were used to measure current direction.

The third zone is located in the sea cliff along the shore line and include part of the columnar section from the *Coralliochama* bank to the bottom. The zone extends from the tourist camp Rincón de las Ballenas (Whales Corner) to the contact with The Alisitos Formation 1.5km West. This zone is structurally deformed and controlled by a major strike slip fault known as the Agua Blanca Fault described by Allen *et al.* (1960). This Fault is considered as an active fault, specially in the Ensenada Bay, González and Suárez (1984), which has created some deformation in the lithologies that are cropping in the region.

In the Punta Banda area however, near the contact between the Rosario-Alisitos, the strata is well preserved and it is where most of the directional sedimentary structures occur, such as the rhythmic lamination (shales and silty sandstone) with Beta cross-bedding (Allen, 1963) (Photo 1) and some irregularities

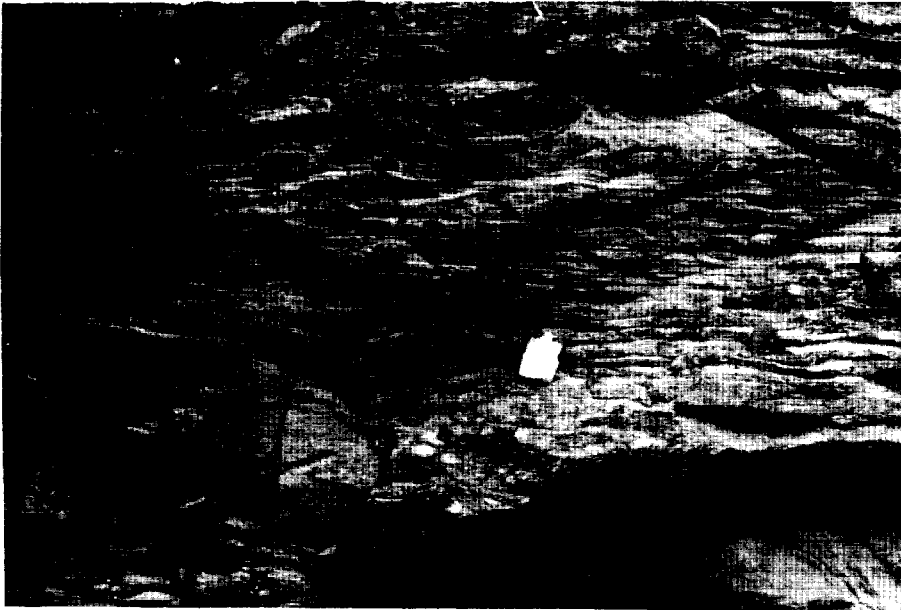


Foto 1. Laminación rítmica y algunas ondulitas simétricas encontrados en la base del miembro inferior de la Formación Rosario.

Photo 1. Rhythmic lamination and some symmetrical undulites found at the base of the lower member Rosario Formation.



Foto 2. Litocorrientes feldespáticos con unas estructuras de lechosy de limo y convolutas. Formación Rosario, miembro inferior. Punta Banda, Ensenada, Baja California.

Photo 2. Feldspathic lithocurrents with some siltstone bed and convolute structures. Rosario Formation, lower member. Punta Banda, Ensenada, Baja California.

la Bahía de Ensenada, (González y Suárez, 1984), y ha causado algunas deformaciones en las litologías que aparecen en la región.

Sin embargo, en el área de Punta Banda, cerca del contacto entre las Formaciones Rosario y Alisitos, los estratos están bien preservados y ahí se encuentran la mayor parte de las estructuras sedimentarias direccionales, como la laminación rítmica, lutitas y arenisca arcillosa con estratificación cruzada Beta (Allen, 1963) (Foto 1) y algunas irregularidades provocadas por corrientes intermitentes, que crean angostamiento a lo largo de la dirección del flujo y desaparición al final. Se encuentran también unas láminas finas casi horizontales que corresponden a un régimen hidráulico bajo y estable. Hay estructuras convolutas dentro de la laminación rítmica (Foto 2) el overturn es lento porque la velocidad de corriente es baja. El vector corriente corresponde a una laminación rítmica, que corresponde quizás a una estabilidad temporal del flujo.

En contraste con el horizonte arriba mencionado y sólo a cinco metros arriba de la laminación rítmica se encuentra una secuencia de arenisca fina con láminas convolutas y estructuras en flama (Foto 3). Estas estructuras definen muy bien la orientación en la dirección de la corriente. En la base de las flamas, existen también marcas de erosión, así como parches de limo y de arenisca (Foto 4). Suponemos que la inversión en la dirección de la corriente fue causada por turbulencia durante el proceso de deformación. Debido a la gran cantidad de deformación hidropástica, la depositación ocurrió de manera muy rápida. Tal proceso es típico en los canales de descarga. Por otra parte, las ondulitas simétricas (Foto 5) bien preservadas en la sección cruzada, se caracterizan por una longitud de onda larga en contraste con las ondulitas tipo "starved" formadas por corriente intermitente y en las que existe una alta concentración de partículas en suspensión.

En la Foto 6, hay una estratificación cruzada tipo Epsilon (Allen, 1963). La base no es erosional, tal como se esperaba, sino que el

like pinch and swell developed by intermittent currents, creating a thinning along the current direction wedging at the end. Some fine, almost horizontal, laminae are also present which corresponds to a low and stable hydraulic regime. There are some convolute structures within the rhythmic lamination, (Photo 2) the over turn is low because the current velocity was low. The current vector corresponds to the rhythmic lamination, which may correspond to a temporary current stability.

In contrast with the above horizon and only 5m apart on top of rhythmic lamination is a sequence of fine sandstone with oriented convolute laminae and flame structure (Photo 3). These structures define the current direction. At the base of the flames, there are also erosional marks associated with some wedges of siltstones and sandstones (Photo 4). We believe that inversion in current direction occurs and was created by turbulence during the deformation process. Due to the great amount of hydroplastic deformation the sedimentation was very rapid allowing the material in suspension settle fast; such process is typical in discharge channels. On the other hand, the symmetrical ondulites (Photo 5) well preserved in cross section have a wide wave length, in contrast with those type starved ripples which are formed by intermittent current and which have a high concentration of particles in suspension.

In photo 6, there is an Epsilon type cross-stratification (Allen, 1963). The base is not erosional as it was expected, but the contact is transitional. The thickness in the laminae became less toward the base. Also, it can be seen that the dip in some planar cross-bedded structures is very low (less than 10°). Although one of the major cross-bedded examples is shown in Photo 7 at the bottom of the columnar section (the scale is 65cm), we interpreted it as indicative of a bottom load under a low velocity flow. The scale along the cross-stratification varies from 2cm up to 75cm. This can result in a difference in depth as well as in the rate of supply. The flow condition and current velocities associated to those structures can suggest a variable flow regime.

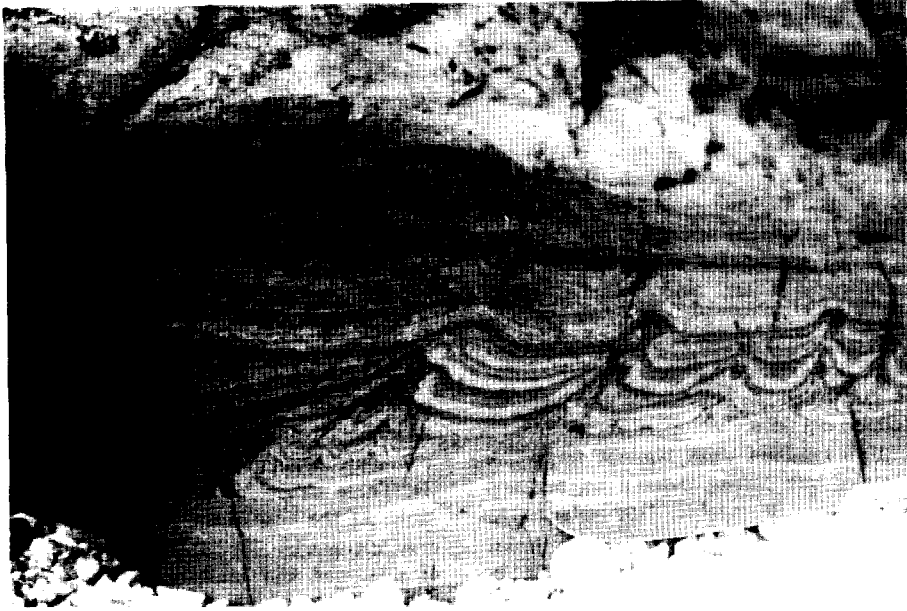


Foto 3. Algunas estructuras de flama con ondulitas cerca del contacto con la Formación Alisitos.
Photo 3. Some flame structures with ripple marks near the contact with the Alisitos Formation.



Foto 4. Estructuras de flama con clastos en rip up y compresiones y domos en la base de las flamas.
Photo 4. Flame structures with rip up clast and pinch and swell at the base of the flames.

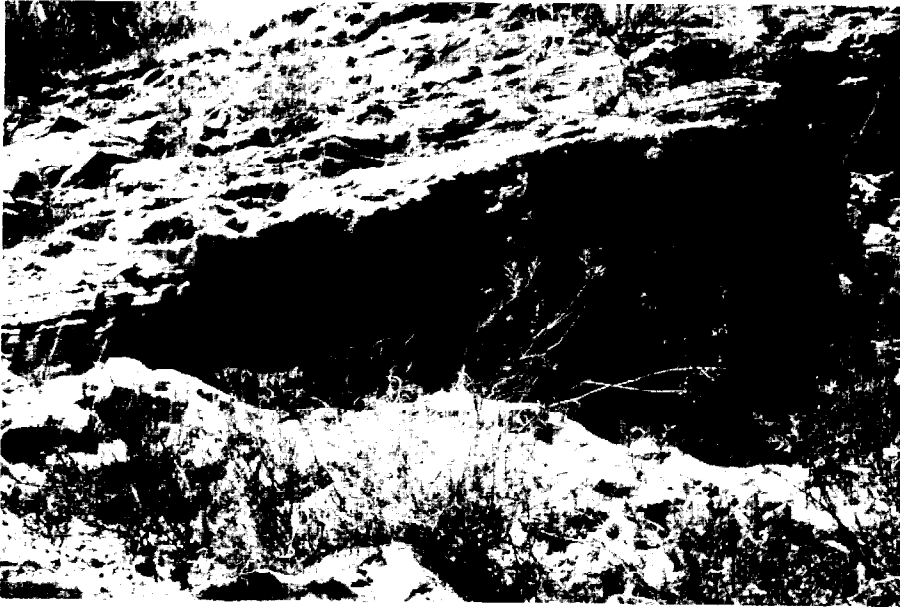


Foto 5. Ondulitas simétricas que muestran una amplia longitud de onda y algún componente vertical.

Photo 5. Symmetrical ondulites showing a wide wave length and some vertical components.



Foto 6. Una estratificación cruzada típica planar con un echado muy poco profundo (menos de 10°).

Photo 6. A typical planar cross-stratification with a very shallow dip (less than 10°).

contacto es transicional. El espesor en la lámina disminuyó hacia la base. También, se puede ver que el echado en algunas estructuras cruzadas planares es muy bajo (menor a 10°). Aunque se muestra uno de los principales ejemplos de lecho cruzado en la Foto 7 en la parte inferior de la sección columnar (la escala es 65mm), lo interpretamos como indicador de una carga de fondo sometida a un flujo de baja velocidad. La escala a lo largo de la estratificación cruzada varía desde 2cm hasta 75cm. Esto puede resultar en diferencia de profundidad así como en la tasa de sedimentación. La condición de flujo y velocidades de las corrientes asociadas a estas estructuras pueden sugerir un régimen de flujo variable.

La deformación plástica a lo largo de los lechos arcillosos requiere un patrón sedimentario en el que la fuerza de carga altera el equilibrio de los sedimentos. Tal fenómeno es producido por fuerzas gravitacionales. Una estructura que puede resultar de este proceso son las flamas. Las areniscas son representativas de los sedimentos de alta densidad depositados sobre un lecho de baja densidad (limo y arcilla) saturado con agua. Cuando ocurre la sedimentación, un sistema de celda convectiva se produce. Podemos observar en las areniscas una componente vertical hacia arriba (Foto 8), junto con una componente generada por la corriente sedimentaria. Como resultado, queda impresa la dirección en los sedimentos. Esto puede resultar de un proceso de tipo catástrofico (Del Corral, 1983).

Como resultado del análisis de estas estructuras sedimentarias encontradas en los sedimentos de la Formación Rosario en la península de Punta Banda, concluimos que el patrón de corriente responsable de producir la estratificación cruzada tiene dos aspectos principales: una bimodalidad bien expresada (Fig. 4) y la bipolaridad que resulta entre los dos modos de la corriente oceanográfica principal. Tal distribución es producto de una corriente que invierte periódicamente su curso y dirección. Estas corrientes se encuentran en un régimen eólico o en donde el transporte de sedimentos se hace por agua en medio ambientes transicionales. Debido a la naturaleza de las estructuras sedimentarias analizadas,

The plastic deformation along the clay beds requires a sedimentary pattern in which the load force alters the sediment equilibrium. Such phenomena is produced by gravitational forces. One structure which can result of such process is the flamas. The sandstones are representatives of the high density sediments deposited over a low density bed (silt and clay) saturated with water. When the sedimentation occurs, a system of convective cell is produced. In the sandstones (Photo 8), we can observe an upward vertical component, along with a lateral component generated by the sedimentary current. As a result, evidences of the main current remain impress in the sediments. Such process can be produced by a catastrophic effect (Del Corral, 1983).

As a result of the analysis of those directional sedimentary structures found within the Rosario Formation sediments in the peninsula of Punta Banda, we conclude that the current pattern responsible of producing the cross-stratification has two principal aspects: a well expressed bimodality (Fig. 4) and the bipolarity which results between the two modes of the principal oceanographic current. Such distribution is product of a current that suffers a periodic inversion in the course and direction. These currents are found either in an eolic regime or where the sediment transport is by water in transitional environments. Due to the nature of the sedimentary structures analyzed, we believe these were formed in aquatic environments and the sediments have been water over-saturated to resist the observed hydroplastic deformation. Therefore, the transitional environment has a principal current that transports the sedimentary load in an aquatic environment. Thus, this current is classified as a tide current.

The Rosario syngenetic structures have evidences of having been formed under the described current system. There is also evidence of laminae flows formed by low oceanographic regimes and more over by stable regimes which in general are associated to low velocity currents.

In the same way, there are evidences of change in current velocity and flow, that there



Foto 7. Una estratificación cruzada; el echado es más grande y no planar como en la Foto 6.
Photo 7. A cross-stratification; the dip is greater and is not as planar as in photo 6.



Foto 8. Ondulitas simétricas con una componente vertical significativa.
Photo 8. Symmetrical ondulites (ripple marks) with significant vertical component.

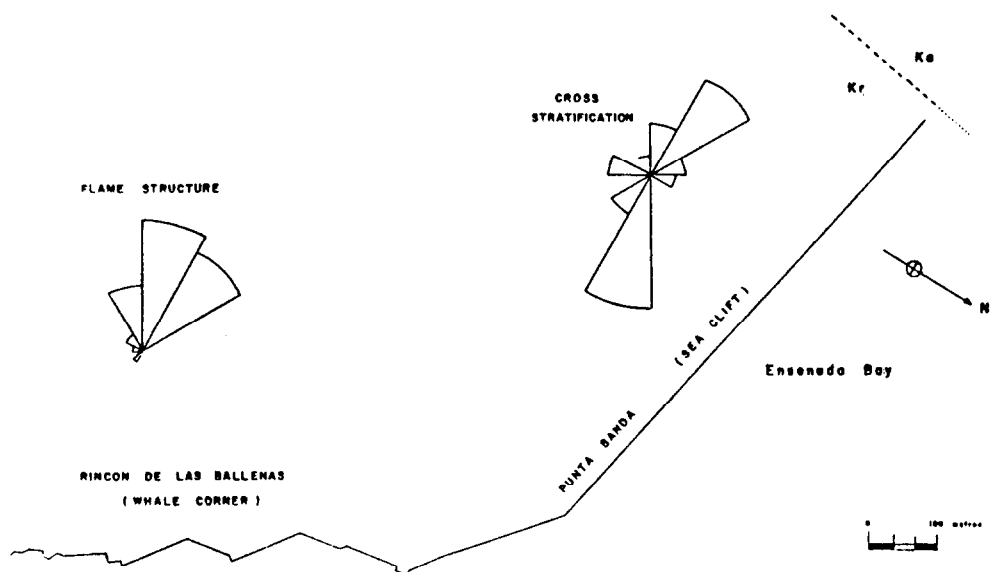


Figura 4. Diagrama de rosa de la dirección de las paleocorrientes con base en el análisis de la estratificación cruzada y de las estructuras de flama.

Figure 4. Rose diagram showing the direction of paleocurrents based upon the analysis of cross-stratification and flame structures.

pensamos que éstas se formaron en ambientes acuáticos y que los sedimentos estaban sobre-saturados de agua a fin de resistir la deformación hidroplástica observada. Por lo tanto, el medio ambiente transicional tiene una corriente principal que transporta la carga sedimentaria en un ambiente acuático. Dicha corriente está clasificada como corriente de marea.

Las estructuras singenéticas de Rosario presentan pruebas de haberse formado bajo el sistema de corrientes descrito. Existen también muestras de flujos de láminas formadas por regímenes oceanográficos bajos e incluso por regímenes estables generalmente asociados a corrientes de baja velocidad.

De la misma forma, hay pruebas de cambios en la velocidad y flujo de la corriente y de flujos transicionales y de alto régimen. Esto está comprobado por las pruebas presentes en la base de la estratificación cruzada, en donde el contacto no es igual en todas

was transitional and high regime flows. This is indicated by the evidences present at the base of the cross-stratification, where the contact is not the same all over. When current velocity varies, then hydraulic conditions vary and the sedimentation is a factor that depends upon the variation in the rate of the sediment transport. There is some evidence of slow sedimentation under low energy regime-rythmic ondulation in the stratigraphic bed, thickness variation and frontal planar cross-strata - with intermittent sediment supply.

On the other hand, there is also evidence of transitional and high flow regime, and associated to such regimes there are erosional effects which configurate structures such as channels and those developed by large-grains producing load structures.

Based upon the difference in structures, scale and sediments that Rosario section

partes. Cuando la velocidad de la corriente varía, las condiciones hidráulicas varían y la sedimentación es un factor que depende de la variación en la tasa de transporte del sedimento. Existen pruebas de sedimentación lenta en un régimen energético bajo-ondulación rítmica en los lechos estratigráficos, variación en el espesor y estratos cruzados frontales y planos, con sedimentación intermitente.

Por otro lado, también hay pruebas de régimen transicional y de alto flujo y, asociados a dichos regímenes, hay efectos de erosión que configuran estructuras como canales y las desarrolladas por granos grandes que producen estructuras de carga.

Con base en la diferencia de estructura, de escala y de sedimentos que la sección Rosario expuso en Punta Banda, la respuesta en la batimetría, la velocidad de corriente y la tasa de sedimentación es diferente.

CONCLUSION

Se ha mencionado que el Cretácico tardío en Baja California oeste y California, se caracteriza por los depósitos de una secuencia sedimentaria potente, típica de un depósito de turbidita. A lo largo de la península de Punta Banda, al sur de Ensenada, la Formación Rosario (Campaniano-Maastrichtiano) no constituye una excepción. A lo largo de esta área, la sección estratigráfica está formada básicamente por el miembro inferior de arenisca descrito en la región de Salsipuedes por Yeo (1981), aunque haya alguna diferencias entre ambas localidades. Esto es en Punta Banda en la parte inferior de la sección columnar, están estructuras sedimentarias sinécticas bien preservadas, junto con un banco orgánico formado por *Coralliochama orcutti*.

Un análisis detallado de dichas estructuras sedimentarias indica dos ambientes sedimentarios posibles. En el primer caso, la diferencia en la estratificación cruzada y la naturaleza de las ondulitas, junto con el tipo de sedimentos, indica un control del ambiente transicional ya sea por mareas, oleaje, olas de fondo, corrientes a lo largo de la costa o corrientes de retorno. El segundo ambiente sedimentario posible es el de mar profundo

exposed at Punta Banda, there is a response of difference in the bathymetry, current velocity and rate of supply.

CONCLUSION

It has been mentioned that late Cretaceous in Western Baja California-California was characterized by the deposits of a thick sedimentary sequence typical of a turbidite type deposit. Along the Punta Banda peninsula, South of Ensenada, the Campanian-Maastrichtian Rosario Formation is not the exception. Along this area, the stratigraphic section is formed basically by the lower sandstone member described in the Salsipuedes region by Yeo (1981), although there are differences between the two localities. This is the case in Punta Banda, at the bottom part of the columnar section, well preserved syngenetic sedimentary structures are exposed, along with an organic bank formed by *Coralliochama orcutti*.

A close analysis of such sedimentary structures indicates two possible sedimentary environments. In the first case, the difference in the cross-stratification and the nature of the ripple marks, together with the type of sediments, indicates a transitional environment control either by tides, wave build-up wave surge, longshore currents and rip currents. The second possible sedimentary environment is that of deep sea like those described in Rosarito Beach, Baja California or in La Jolla-Point Loma in San Diego, California (Nilsen and Abbott, 1979). We believe, after analyzing the data taken from the directional sedimentary structures in Punta Banda, that the present Rosario Formation was deposited in a nearshore environment. The sedimentation and sedimentary structures are product of rip currents and longshore currents.

Based upon the cross-bedded, it is possible to interpret that most of these structures were developed by wave action. However, the dominance of planar beds and their association with cross-beds, good sorting, and coarse grain size, implies high flow energies, conditions found in a breaker zone along the margins of rip channels, or may be

como los descritos en la Playa Rosarito, Baja California o en La Jolla-Point Loma en San Diego, California (Nilsen y Abbott, 1979). Después de analizar los datos colectados de la estructura sedimentaria direccional en Punta Banda, pensamos que la Formación Rosario actual se depositó en un ambiente cercano a la costa. La sedimentación y las estructuras sedimentarias son producto de corrientes de retorno y corrientes a lo largo de la playa.

Con base en la estratificación cruzada, es posible inferir que la mayoría de estas estructuras se han desarrollado por la acción del oleaje. Sin embargo, la dominancia de los lechos planares y su asociación mediante lechos cruzados, buen sorteo y tamaño de los granos gruesos implican energía de alto flujo, condiciones que se encuentran en una zona de rompientes a lo largo de los márgenes de los canales de retorno, o se pueden atribuir a fuertes olas de fondo, o tormentas con oleaje, que influirán de alguna forma sobre el patrón sedimentario a lo largo de un área dominado por corriente de retorno o corrientes a lo largo de la costa. Por lo tanto, concluimos que los sedimentos de la Formación Rosario encontrados en Punta Banda representan un ambiente similar a Facies 2 descrito por Yeo (1981). Este ambiente es dominado por una combinación de procesos creados por la acción de mareas, oleaje y corrientes así como periodos de rápida sedimentación a lo largo de la zona de la orilla.

Traducido al español por Katarzyna Michejda.

LITERATURA CITADA

- Allen, C. R., Silver, L.T., Stehli, F.G., (1960) Agua Blanca Fault- A Major Transverse Structure of Northern Baja California, Mexico: GSA, Bull., Vol. 71, p. 457-482.
- Allen, J.R. (1963) The Classification of Cross Stratified Units, With Notes on their Origin: J. Sedim., Vol. 2, p. 93-114.
- Anderson, R.H. Geology and Micropaleontology of Point Loma San Diego County, California: M.S. Thesis (unpubl.). University of South California, 83pp.
- Bartling, A.W., Abbott, L.P. (1984) Upper Cretaceous Sedimentation and Tectonics with References to the Eocene, San Miguel Island and San Diego Area, California: In Patrick L. Abbott (Ed.) Upper Cretaceous Depositional Systems Southern California-Northern Baja California. Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Pacific Section. Volume and Guide Book 36, p. 85-102.
- Beal, C.H. (1948) Reconnaissance of the Geology and Oil Possibilities of Baja California Mexico: GSA, Memoire 31, 138p.
- Carpenter, W.B. (1968) Stratigraphy of the Rosario Formation Northwestern Baja California. Senior Rep. (unpubl.) Geo 198 San Diego State College, San Diego, California.
- Del Corral, I.E. (1983) Análisis de estructuras direccionales del Cretácico Superior en la región de Punta Banda, Baja California: Tesis Profesional, Escuela Superior de Ciencias Marinas (sin publicar) UABC, 46pp.
- Fairbanks, H.W. (1863) The Validity of the So-Called Wallala Beds As a Division of the California Cretaceous: Am. J. Sc. Ser. 3; Vol. 45 p. 473-478.
- Flynn, C.J. (1970) Post Batholithic Geology of the La Gloria Presa Rodríguez Area, Baja California, Mexico: GSA, Bull. Vol. 81 p. 1789-1806.
- González, J.J., Suárez, F. (1984) Geological and Seismic Evidence of a New Branch of the Agua Blanca Fault: Geophys. Res. Letters, Vol. 11, No. 1, p. 42-45.

- Kebort, A.T. (1964) Geology of the Mesa Redonda Area, Northwestern Baja California: Senior Rep., San Diego State College U.r.r., Vol. 8, pt. 3.
- Kennedy, M.P., Moore, G.W. (1971) A Stratigraphic Relation of Upper Cretaceous and Eocene Formations, San Diego Coastal Area, California: AAPG, Bull., Vol. 55, p. 709-722.
- Kilmer, F.H. (1973) Cretaceous and Cenozoic Stratigraphy and Paleontology, El Rosario Area: Ph. D. Thesis (unpubl.) Univ. Calif. Berkeley, 149pp.
- Maytum, J.R., Elliot, W.J. (1970) Upper Cretaceous Strata of the La Jolla-Point Loma Area, San Diego; Correlation and Physical Stratigraphy, in E. C. Allison *et al.* (Eds.), Pacific Slope Geology of Northern Baja California and Adjacent Alta California: Pacific Section, AAPG, Fall Field Trip Guide Book, p. 38-52.
- Mickey, M.B. (1970) Notes of the Biostratigraphy of the Upper Cretaceous Rosario Formation in Northwestern Baja California, Mexico: In E.C. Allison *et al.* (Eds.), Pacific Slope Geology of Northern Baja California and Adjacent Alta California: Pacific Section, AAPG Fall Field Trip Guide Book, p. 53-58.
- Nilsen, H.T., Abbott, L.P. (1984) Turbidite Sedimentology of the Upper Cretaceous Point Loma and Cabrillo Formation, San Diego California. In P.L. Abbott (Ed.) Upper Cretaceous Depositional Systems Southern California-Northern Baja California, Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Volume and Guide Book 36, p. 3-30.
- Saul, L.R. (1970) Upper Cretaceous Faunas of Punta Banda; In E.C. Allison *et al.* (Eds.) Pacific Slope Geology of Northern Baja California and Adjacent Alta California: Pacific Section, AAPG, Fall Field Trip Guide Book, p. 79-82.
- Smith, L.W. (1967) Stratigraphy of the Cerro Coronel Area Northwestern Baja California, Mexico: Senior Report (unpubl.) San Diego State College. U.r.r., Vol. 11, pt. 5.
- Stewart, H.B. (1956) Contorted Sediments in Modern Coastal Lagoon, Explained by Laboratory Experiment: AAPG, Bull. Vol. 40, p. 153-179.
- Tucker, S.R., Kimzeg, J.A. (1984) Paleocurrent Data From The Point Loma and Cabrillo Formations: In P.L. Abbott (Ed.) Upper Cretaceous Depositional Systems Southern California-Northern Baja California: Pacific Section. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Volume and Guide Book, 36, p. 41-42.
- White, C.A. (1885) On New Cretaceous Fossils From California: US Geological Survey. Bull. 22, p. 355-373.
- Worthington, B.C. (1965) Sedimentary Structures of the Rosario Formation in El Morro Valley, Baja California, Mexico: Senior Rep. (unpubl.) San Diego State College U.r.r., Vol. 9, pt. 2.
- Yeo, R.K. (1981) The Stratigraphy and Sedimentology of Upper Cretaceous Sediments of Southwestern California and Baja California, Mexico: Ph. D. Thesis, Rice Univ., Houston, Texas, 603pp.
- Zlotnik, E. (1984) Map of Cretaceous Turbidite Facies, Point Loma Peninsula: in P.L. Abbott (Ed.) Upper Cretaceous Depositional Systems, Southern California-Northern Baja California: Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Volume and Guide Book 36, p. 31-34.