

ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO DE LA FORMACIÓN SALTO DEL FRAILE (GRUPO MORRO SOLAR), COSTA DEL PERÚ CENTRAL

Daniel PEÑA¹, Roberto BADOS¹, Javier JACAY^{1,2}, Iván MORENO¹ & Bertil RODRÍGUEZ¹

¹EAP Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela Cd. 34 s/n.

E-mail: investigaciongeologica@hotmail.com

²EAP Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela Cd. 34 s/n. Ap 3973 Lima 100

E-mail: jjacayh@unmsm.edu.pe; j_jacay@yahoo.com

RESUMEN

La Formación Salto del Fraile, perteneciente al Grupo Morro Solar del Valanginiense Inferior, forma parte de la Megasecuencia Lima de Núñez del Prado y Chávez (1989). El examen de nuevas columnas estratigráficas detalladas, levantadas en los alrededores del Morro Solar, ha permitido identificar tres secuencias principales en esta Formación. El análisis de ellas muestra la instalación y el desarrollo de una plataforma tidal comportando barras sumamente dinámicas. El dispositivo se termina con facies que indican la emersión temporal de la cuenca. También se concluye que la sedimentación estuvo controlada principalmente por corrientes y mareas, en las secuencias menores, mientras variaciones eustáticas del nivel del mar deben intervenir en el desarrollo de las secuencias mayores. Se propone una sección paratipo para la Formación Salto del Fraile en el Cerro Intillacta, al sur de Lima.

ABSTRACT.- SEDIMENTOLOGIC ANALYSIS OF THE SALTO DEL FRAILE FORMATION (MORRO SOLAR GROUP), CENTRAL PERUVIAN COAST, PERU

This work deals with the Salto del Fraile Formation, which belongs to the early Cretaceous Morro Solar Group, and is part of the Lima Megasequence of Núñez del Prado and Chávez (1989). New detailed stratigraphic columns studied around the Morro Solar mountain, have shown that the formation is composed by three main sequences. They display the development of a tidal flat with highly dynamic tidal bars. This system ends with facies that indicate a temporal emersion of the basin. Marine currents and tides controlled the organization of the second-order sequences, while eustatic variations of the sea level are invoked to control the major sedimentary variations in the system. The section cropping out in Cerro Intillacta is proposed as a new paratype for this formation.

Palabras Claves: Sedimentología, Tidal, Cretáceo inferior, Valanginiense.

INTRODUCCIÓN

Los Andes son considerados como un orógeno ligado a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la margen continental sudamericana, por lo menos desde el Jurásico superior. Durante el Cretáceo la margen peruana, siguiendo un corte de oeste a este, comprendía las siguientes zonas paleogeográficas, paralelas a la zona de subducción.

Una Cuenca Marginal (Atherton et al, 1983) o un Arco Volcánico (Soler, 1991) que aflora en la costa peruano-chilena, activo durante el Albiano y con posterior emplazamiento del Batolito Costanero durante el Cretáceo superior.

Una Cuenca Occidental móvil y subsidente, rellena de una espesa sedimentación marina somera (actual Cordillera Occidental; Benavides, 1956; Mégard, 1978).

Un alto positivo, poco subsidente, con una reducida sedimentación (actual Cordillera Oriental «Geoanticlinal del Maraón»; Benavides, 1956; Wilson, 1963; Mégard, 1978; Moulin, 1989b).

Una Cuenca Oriental, con subsidencia moderada y sedimentación mixta, marina-continental, (zona subandina y oriente actual).

La Cuenca Occidental durante el Cretáceo recibió una gruesa sedimentación mixta de carácter marino continental, de facies de plataforma deltaica (Wilson, 1963 y Mégard, 1978), la cual según los lugares, es discordante sobre terrenos de diferentes edades, que van del Neoproterozoico al Jurásico, con una procedencia de los sedimentos netamente oriental (Moulin, 1989b).

Esta plataforma siliciclástica deltaica, sus facies más distales tiene sus afloramientos en la costa del Perú central, en donde mediante los levantamientos de cortes sedimentológicos, con una interpretación que se basa

sobre el análisis de la textura microscópica de las Figuras sedimentarias y de las faunas, se precisa las modalidades de sedimentación durante el Valanginiano inferior. Las interpretaciones se integran a los trabajos de otros autores, para poner en evidencia la evolución de los eventos transgresivos y regresivos dominados por la variación eustática del nivel del mar.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En la costa del Perú central (área de Lima), las unidades litoestratigráficas más antiguas son secuencias volcánicas y volcanosedimentarias del Grupo Puente Piedra asignadas al Títoniano del Jurásico terminal (Bulot comunicación oral), secuencias siliciclasticas del Grupo Morro Solar del Valanginiano, conjuntamente con facies carbonatadas de las Formaciones Pamplona y Atocongo (Barremiano-Aptiano), y el Grupo Casma del Albiano – Cenomaniano (Rivera, 1979). Todo este conjunto litoestratigráfico es cortado por numerosos sills, diques y plutones tardíos que son asociados al Batolito de la Costa del Cretáceo superior.

UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El área de estudio se encuentra ubicada al SO

del Departamento de Lima, en el Distrito de Chorrillos, forma parte del promontorio conocido como el Morro Solar, el cual abarca una extensión de casi 8 Km² (fig.1). Allí se tiene afloramientos de secuencias sedimentarias del Cretáceo inferior de la costa del Perú central, entre ellos la Formación Salto del Fraile (Valanginiano inferior); que aflora a lo largo de la carretera asfaltada Chorrillos-Playa la Herradura, en el flanco norte del Cerro la Virgen y en la zona conocida como Armatambo al NE del Cerro Intillacta.

TRABAJOS ANTERIORES

La Formación Salto del Fraile que infrayace a la Formación Herradura (Fig. 2), ha sido estudiada en el pasado por muchos autores, quienes la describen como una secuencia de areniscas cuarcíticas asignada al intervalo Berriasiano-Valanginiano (Fernández-Concha 1958), consignada dentro de la gran Megasecuencia Lima (Núñez del Prado y Chávez, 1989).

Sobre el registro paleontológico, son los trabajos de Lisson (1904), Fernández-Concha (1958), Rivera et al (1975), Geyer & Alleman (1984) y Villavicencio (1984), que han reportado diversas faunas en esta unidad litoestratigráfica. Moulin (1987 y 1989a) estudió más al detalle los sets de areniscas con laminación sigmoidea y

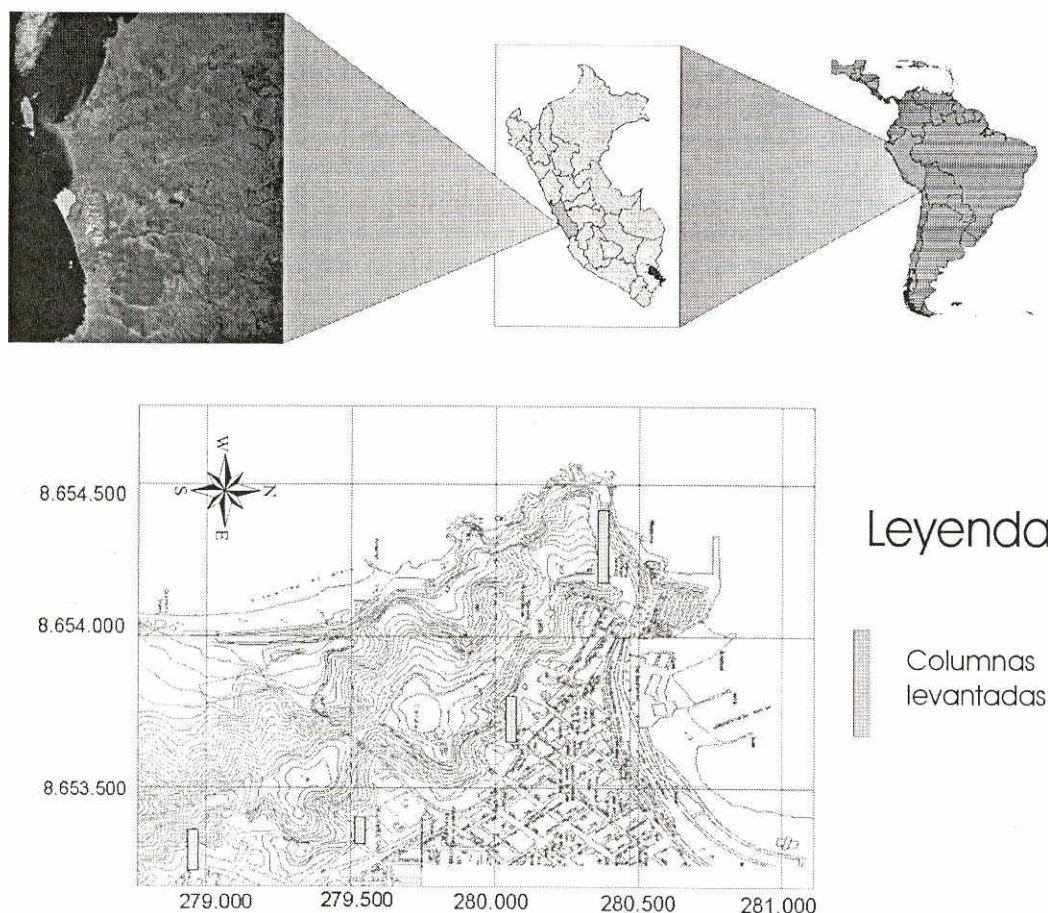


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

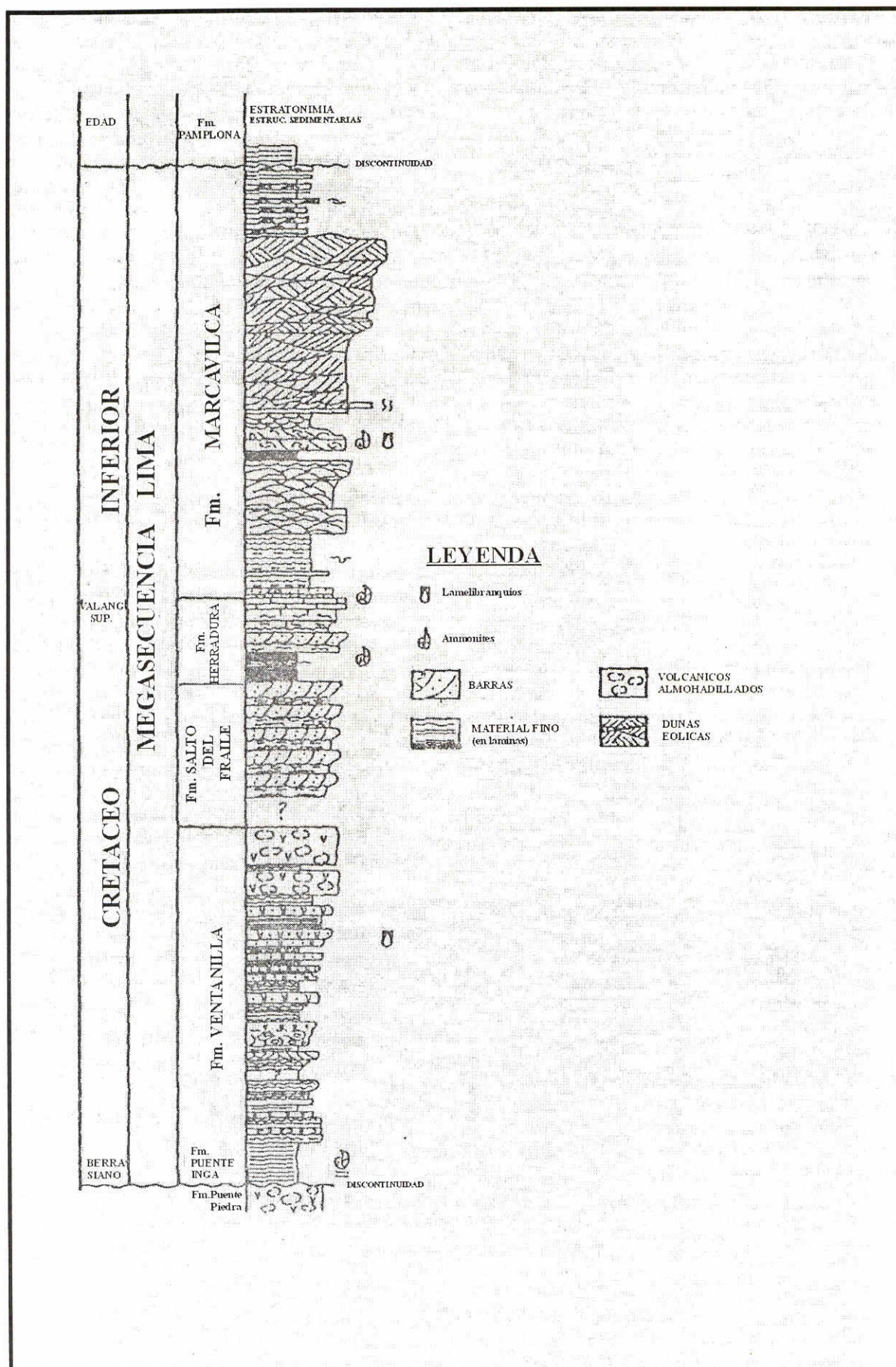


Fig. 2: Columna Estratigráfica Generalizada "Megasecuencia Lima" (tomada de Nuñez del Prado, 1991)

los relacionó con la acción de las mareas y los ciclos lunares.

No es conocido el espesor total de esta unidad litoestratigráfica por no encontrarse el contacto con unidades infrayacentes.

EDAD DE LA FORMACIÓN SALTO DEL FRAILE

Esta unidad litoestratigráfica, contiene una variada y numerosa fauna. Lisson (1904) describió ampliamente los icnofósiles "tigillites" que posteriormente fueron re-denominados por Villavicencio (1984) y Geyer & Alleman (1984) como *Diplocaterion Habichi*. Estas huellas dejadas por organismos nos indican un medio de depósito litoral intertidal a supratidal, de relativa calma. Cada nueva secuencia de depósito estaba precedida por una de no- depósito o poco depósito en la cual los organismos podían construir sus habitáculos; en el régimen cambiante de sedimentación podían profundizar o ascender en ellos y ocupar el mismo lugar.

En el presente estudio se da a conocer la existencia de una fauna reportada en el nivel 20 en la sección del Cerro Intillacta, en la que tenemos:

Trigonias: *Anditrigonia Eximia* (PHILIPPI) Variedad multicostata CORVALAN (Titoniano superior-Valanginiano); *Pterotrigonia* (Pterotrigonia) subventricosa STANTON (Berrasiano-Valanginiano); *Pterotrigonia sp.* (Titoniano-Cretáceo superior). Además se reportan bivalvos como: *Nuculana sp.* (Triásico-Reciente) y *Protocardia sp.* (Triásico-Cretáceo superior), de tamaños muy inferiores a lo que normalmente alcanzan.

Así mismo, en niveles superiores (Formación la Herradura) que estratigráficamente sobreyacen a la Formación Salto del Fraile, se reportan una numerosa fauna de cefalópodos asignada al Valaginiano (Rivera, 1979).

Los datos actuales nos conllevan a considerar a la Formación Salto del Fraile como depositada durante el Valaginiano inferior.

ESTRATIGRAFÍA Y SEDIMENTOLOGÍA

La Formación Ventanilla (Berrasiano?), que aflora al norte de Lima, muestra una evolución vertical regresiva (Núñez del Prado, 1991). En ella se pueden observar facies de abanico submarino con una relativa abundancia de fauna de amonites en los niveles de los estratos Puente Inga. Según dicho autor, el sistema es característico de un prisma de bajo nivel (**lowstand systems tract**). No se ha observado el contacto de la Formación Ventanilla con las areniscas transgresivas de la Formación Salto del Fraile, que cronoestratigráficamente la sobreyacen. La edad probable de este contacto es el límite Berriasiano - Valanginiano (Jaillard y Sempere, 1989). Al tope de la Formación Salto del Fraile, se pueden observar facies transgresivas de la Formación la Herradura (**transgressive systems tract**) hacia un prisma de alto nivel (**highstand systems tract**) de la Formación Marcavilca del Valanginiano Superior (Núñez del Prado, 1991).

La Secuencia de la Autopista Chorrillos-Playa La Herradura (Fig. 3, Foto-1).- Tiene 72 metros de potencia, se puede apreciar estratos con estratificación oblicua, en sets que se adelgazan y engrosan lateralmente. Los clastos blandos son frecuentes en estos niveles, así como capas de microconglomerados en el mismo hábito con estratificación oblicua y sigmoidea de alto ángulo. Presentan contactos erosivos entre ellos lo que parece estratificación cruzada a los lados, observándose a mayor escala un adelgazamiento de los sets lateralmente. Hacia la parte superior, hay un nivel de arenisca sin estructura interna e intensamente bioturbada y con fuerte ferruginización al tope. El es fosilífero (*Protocardia sp.*), y es seguido por un nivel de limoarcillitas con estratificación paralela y con ligeras ondulaciones en algunos niveles, con presencia de *Nuculana sp.*, nivel 13 al 25 *Diplocaterion Habichi*. Hacia el tope de la secuencia se observa estratificación hummocky, propia de zonas tidales.

Secuencia del Campo Deportivo (Fig. 4, Foto-2).- Tiene 12 metros de potencia, presenta sets granodecrecientes y hacia el tope niveles de ripples de oscilación (simétricos). En esta secuencia se pueden observar facies de canales interbarras con microconglomerados con clastos de hasta 5mm, con estructuras "herringbone" (fig. 9), que evidencian una plataforma tidal asociada a canales tidales.

Secuencia del Cerro Intillacta (Fig. 5 Foto-3).- Aquí se observa estratos con laminación paralela que algunas veces pasa a laminación ondulante débil, las laminaciones con limo arcillas se hacen más frecuentes conforme se sube al tope de la secuencia. Aquí se pueden observar los canales interbarra con microconglomerados de clastos de hasta 5 mm, todos los sets granodecrecientes y hacia el tope con niveles de oscilación (ripples simétricos).

Más hacia el techo hay ripples junto a sets de laminación sigmoidea que se acuñan a los lados con contactos erosivos que entrecruzan las laminaciones, terminando en un nivel de limoarcillitas y microconglomerados.

La Secuencia del Cerro Armatambo (Fig. 6 Foto-4).- Es una secuencia estrato creciente que presenta facies de areniscas con estratificación oblicua que gradan a finos con ripples de oscilación hacia el tope de esta secuencia, los clastos blandos se presentan en las bases de los sets con laminación oblicua.

CARACTERÍSTICAS DE LA EVOLUCIÓN SEDIMENTARIA DE LA FORMACIÓN SALTO DEL FRAILE

El conjunto de las observaciones reunidas se presenta en la Figura 7. A partir de ello, se han reconocido tres secuencias estratocrecientes señaladas por niveles lutáceos cada vez más espesos. A continuación, presentamos la interpretación que se puede realizar a partir de dichos datos.

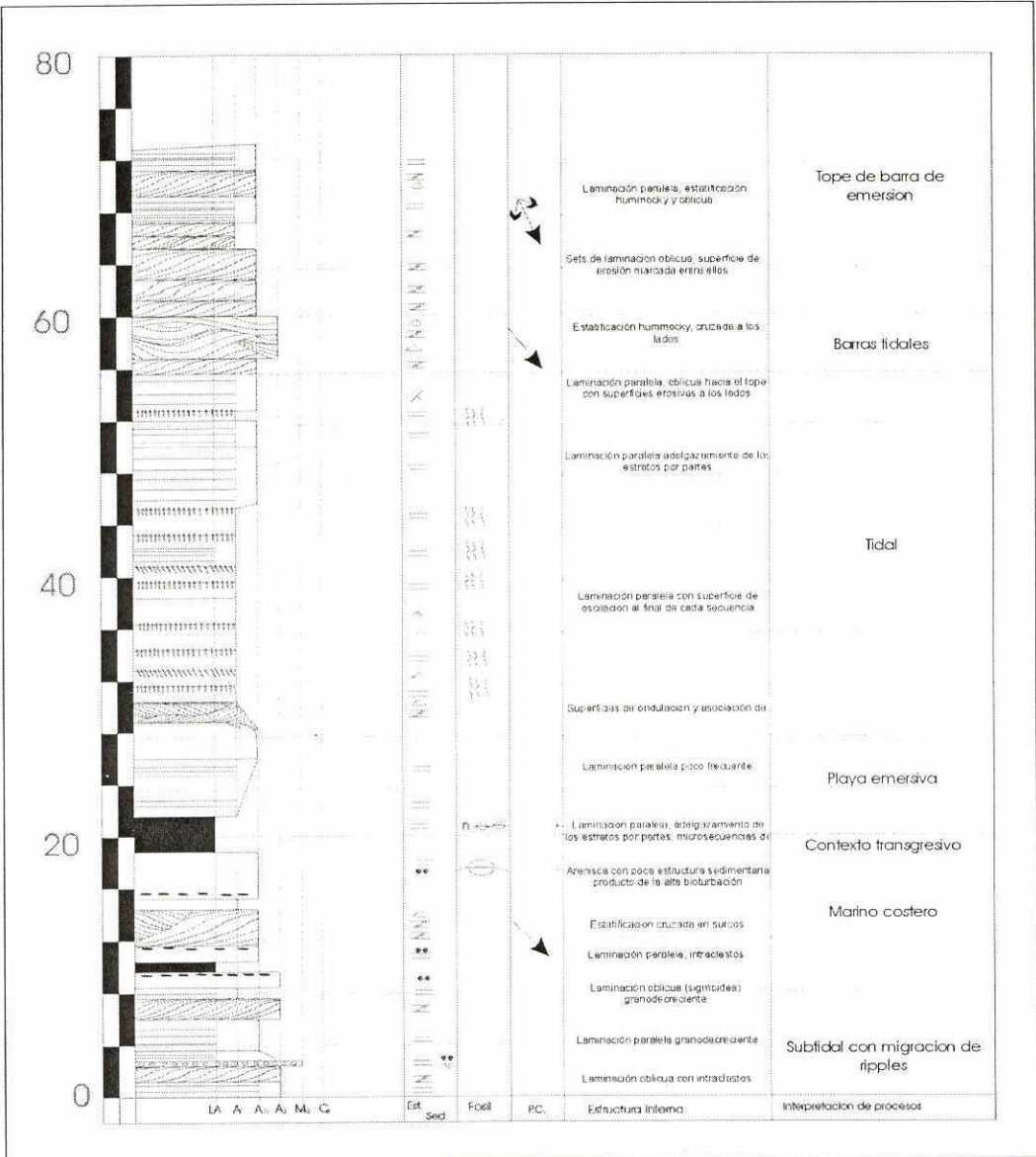


Fig. 3: Secuencia de la Sección Tipo de la Formación Salto del Fraile, en la Autopista Chorrillos – Playa la Herradura.

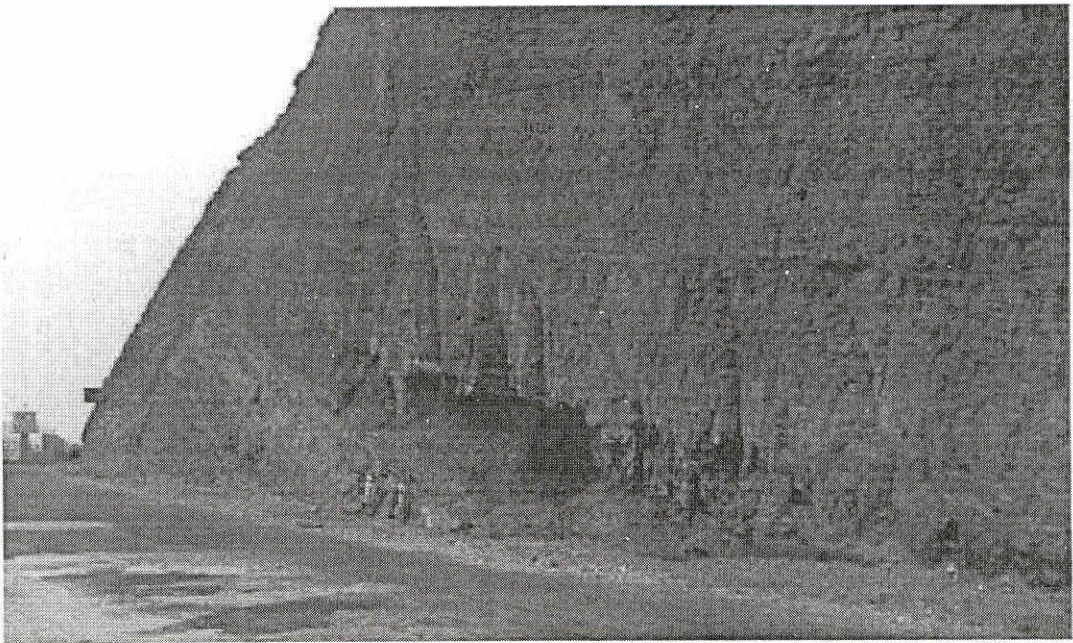


Foto 1: Vista parcial de la facies transgresiva, sobre la autopista Chorrillos – Playa la Herradura

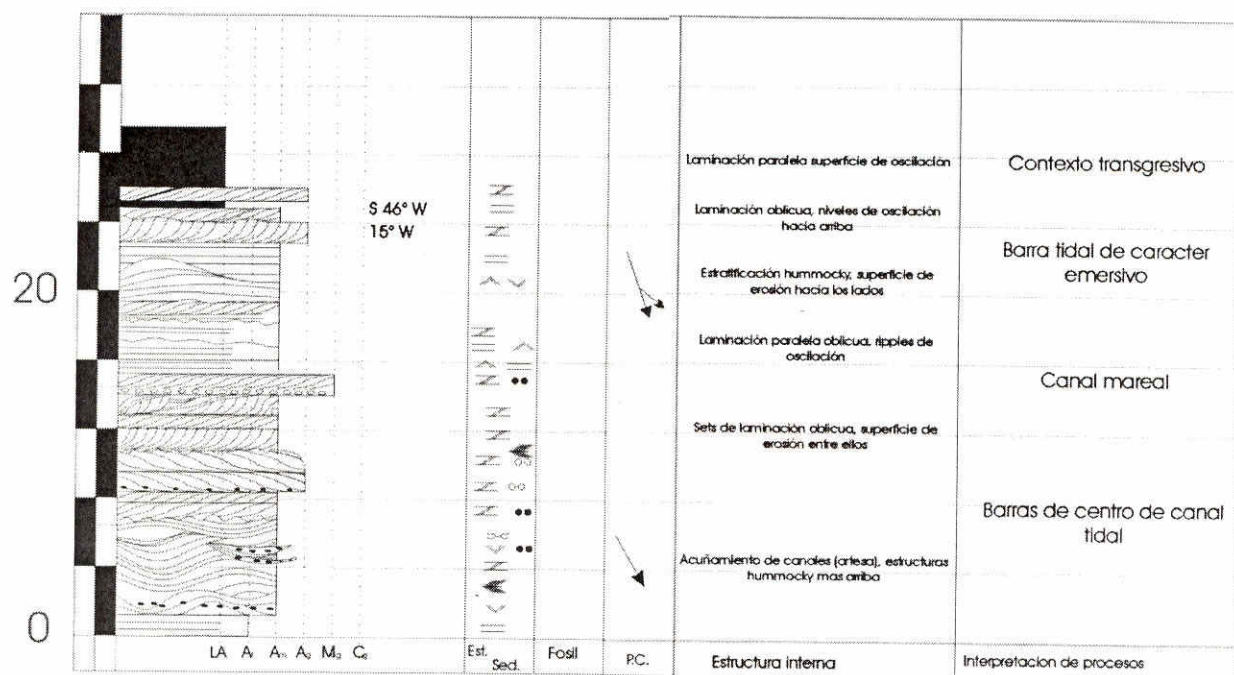


Fig. 4: Secuencia parcial de los niveles inferiores de la Formación Salto del Fraile, lado Oriental del promontorio del Morro Solar (Campo Deportivo)

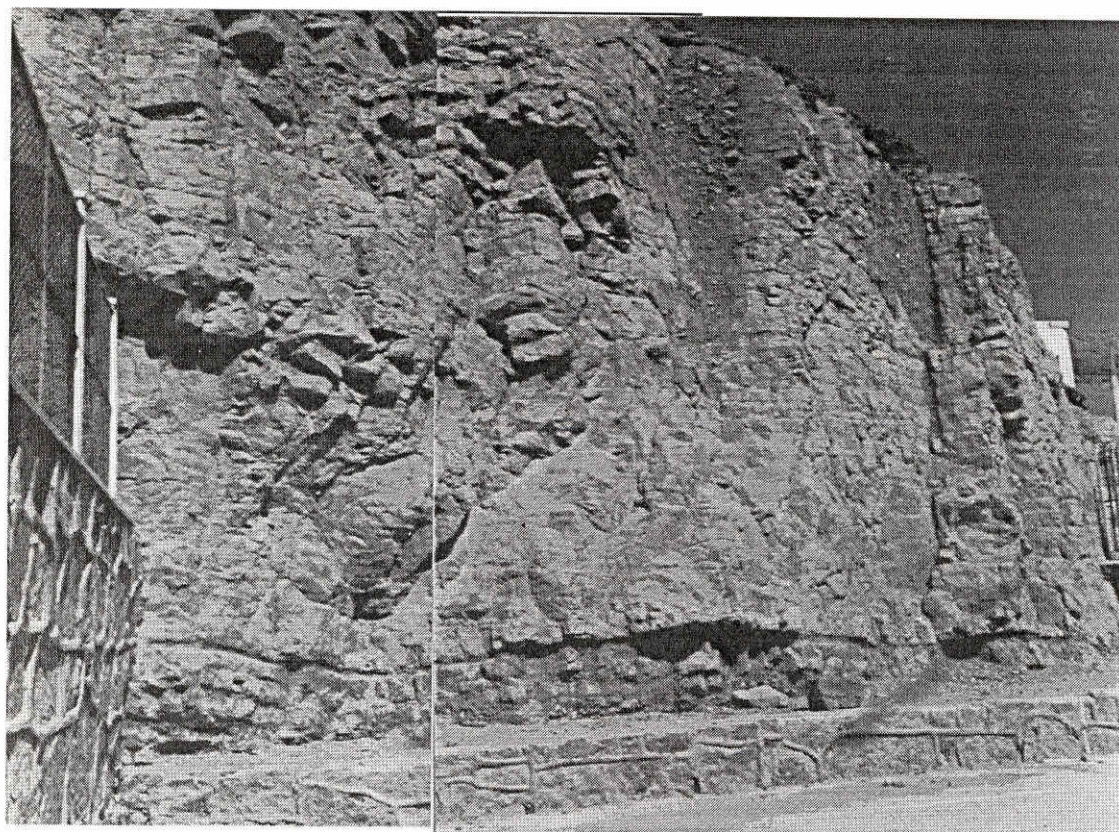


Foto 2: Vista parcial de la secuencia inferior, en el área del Campo Deportivo

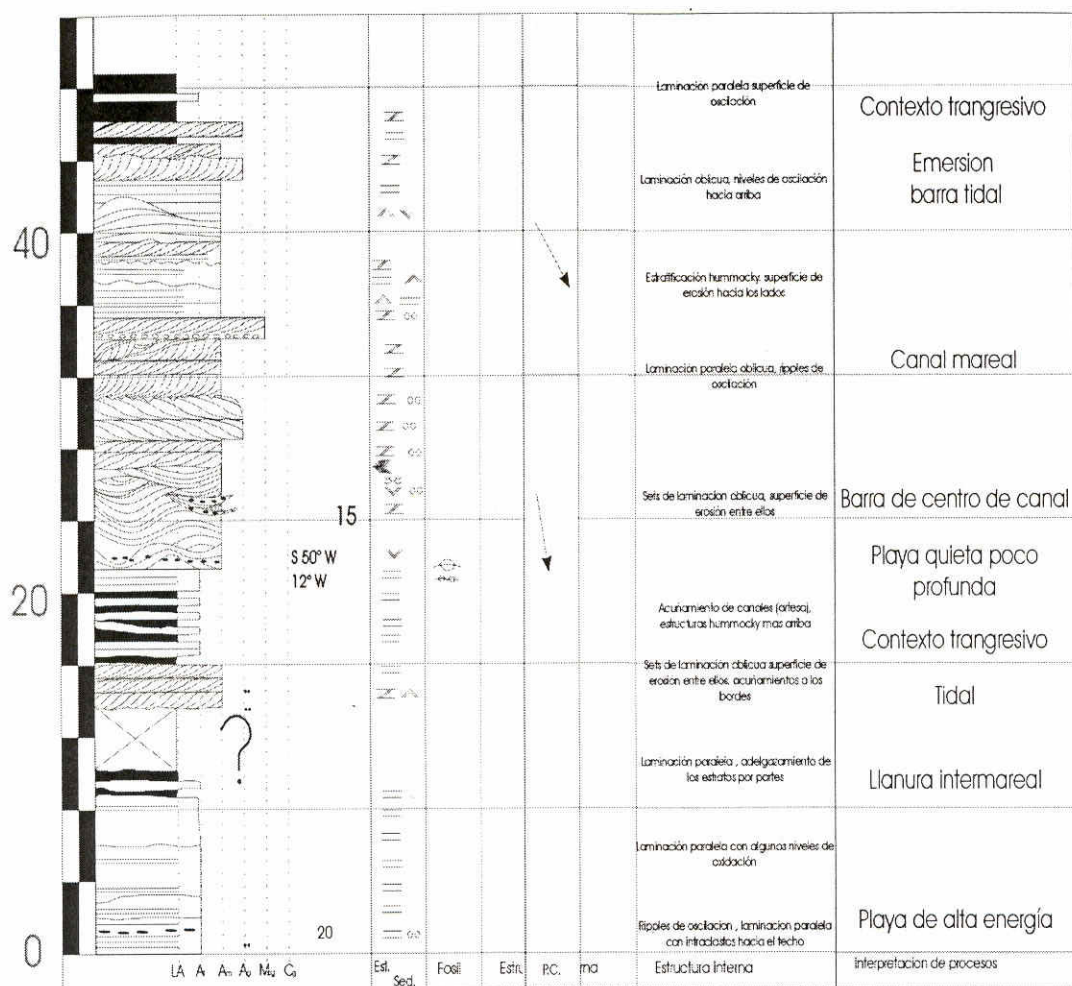


Fig. 5: Secuencia inferior de la de la Formación Salto del Fraile, lado norte del Cerro Intillacta

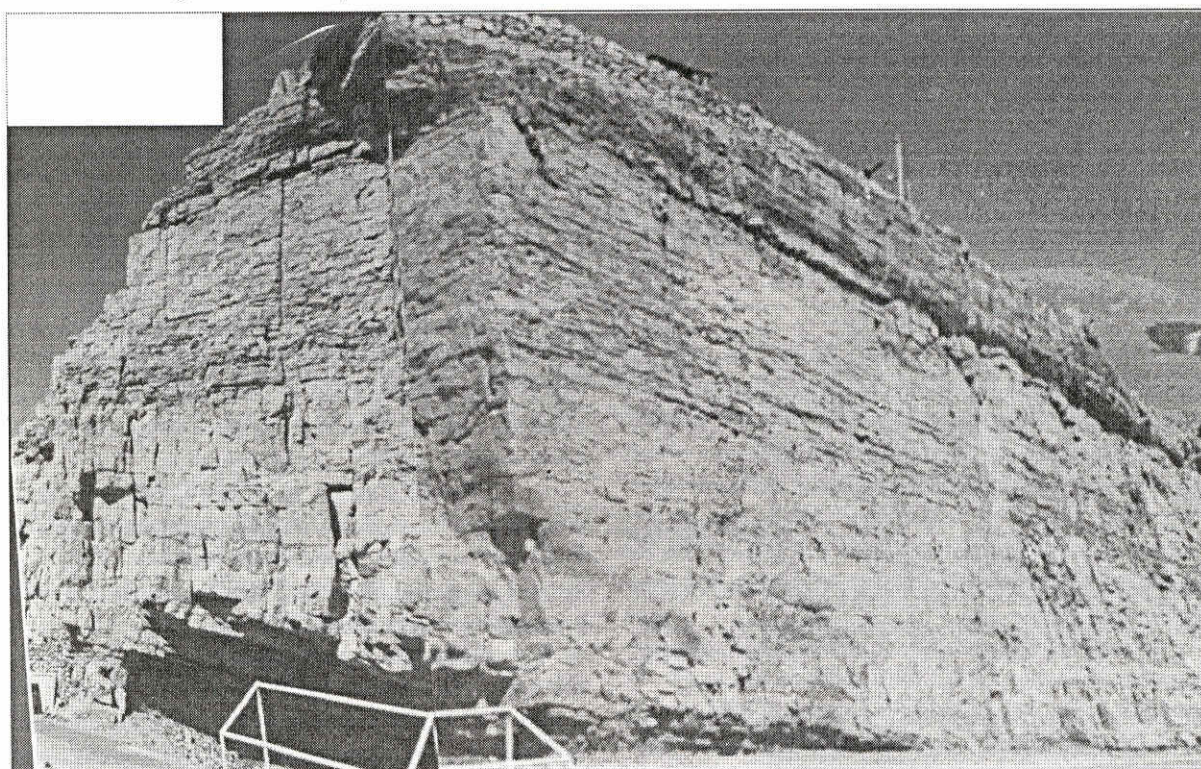


Foto 3: Vista de la facies de canal mareico en el Cerro Intillacta

Secuencia SF 1 (cota 0-23)

Sólo el tope es visible; representa una retrogradación progresiva de la barra sobre la plataforma tidal y hacia al continente. La secuencia muestra el adelgazamiento de los estratos de arenisca; hacia el tope las laminaciones de limoarcillitas se van haciendo más frecuentes e intercalándose con los estratos de areniscas. Hacia el tope los niveles de limoarcillas toman mayor potencia evidenciando una plataforma subsidente. En el nivel 12 de esta secuencia se reportan lamelibranquios (trigonias). Estas características nos indican un paleoambiente en el que los organismos soportaban cambios bruscos de salinidad evidenciando condiciones propios de un estuario.

Secuencia SF 2 (cota 23-49)

Esta secuencia está compuesta por dos secuencias menores, que indican corrientes de reflujo que depositaron y rellenaron los canales tidales. Estos están caracterizados por depósitos gruesos como microconglomerados (lag) con estratificación cruzada y paralela hacia la parte superior. Esta secuencia menor nos muestra una sedimentación de un canal tidal, evidenciado por la granoestrato creciente de la secuencia para terminar en arenas con rizaduras de corrientes de la plataforma tidal.

La segunda secuencia menor es caracterizada por una progradación lateral rápida de pie de barras. Aquí se interpreta el cuerpo principal del sistema que cuenta con mayor espacio y dura más en el proceso de sedimentación. En esta zona la acción de las olas era máxima, cambiando la posición de las barras rápidamente y haciéndolas migrar lateralmente, lo cual es evidenciado por los abundantes clastos blandos entre los sets de las laminaciones oblicuas. Asociado a una emersión (meteorización y bioturbación) de la barra, con bivalvos gruesos como *Protocardia* sp; hacia el tope de esta secuencia menor, un nivel de lutitas de un medio de débil energía, cubre toda la secuencia con bivalvos como *Nuculana* Sp.

Secuencia SF 3 (cota 49-102)

En esta se puede distinguir dos secuencias menores. En la base de la primera, se puede observar facies someras, que se desarrollan con relativa calma, observándose al tope abundantes icnofósiles como *Diplocaterion Habichi*, que nos indica un ambiente tidal. Esta primera secuencia se termina con areniscas que presentan estratificación ondulada y algunos sets de laminación oblicua. Se le interpreta como el talud de la barra (Einsele, 1992).

En la segunda secuencia menor, una nueva fase de agradación esta vez más rápida, traduce un cambio en la energía de la corriente, con engrosamiento de los estratos producido por la somerización y bioturbación. Esta facies pertenece a la parte superior de la barra (cresta de la barra).

PALEOGEOGRAFÍA

El análisis de las características sedimentarias de las secuencias que conforman la Formación Salto el Fraile muestra la evolución de una amplia plataforma tidal poco profunda. Las secuencias registran un sistema de barras de progradación lateral rápida, las cuales suprayacen al sistema de canales marécicos interbarra, con predominio de corrientes dirigidas hacia el E-SE, como marea dominante. Las facies de lutitas transgresivas modificaban permanentemente el complejo, mientras que durante los períodos regresivos, las corrientes llegaban a depositar secuencias de barras más distales conforme este avanzaba hacia el mar. Esta modificación del complejo de arenas de facies tidal está relacionada con corrientes marécicas subordinadas al O-NO opuestas a la marea dominante. La constante movilidad de las barras tidales sería una respuesta a las corrientes marécicas, las cuales se desarrollan en una llanura tidal amplia. Todo este sistema se relaciona a la parte distal del delta Goyllarisquiza del Cretáceo inferior, que constituye la zona distal de la margen cretácea (Robert, et al. 1998).

La organización homogénea de las facies gruesas, como: niveles tidales asociados con barras tidales progradantes, lutitas marinas transgresivas y su asociación en la vertical con niveles de oxidación-erosión; nos permite asociarlas a un control por parte de las variaciones del nivel del mar (Haq et al, 1987).

Las superficies de oxidación-erosión son discontinuidades que se desarrollan durante las bajadas del nivel del mar (**prisma de bajo nivel**). Estas superficies de oxidación-erosión son cubiertas por amplios niveles de lutitas marinas, que se extienden por toda la planicie tidal, marcando así el **intervalo transgresivo**. La sedimentación de niveles tidales es correlacionado con la subida del nivel del mar sobre una amplia llanura mareal con progradación hacia el continente (**prisma de alto nivel**).

CONCLUSIONES

La Formación Salto de Fraile pasa a tener un espesor total de 102 metros, pudiéndose así redefinir a esta unidad; en la sección que aflora en el Cerro Intillacta. Allí se tendría una sección de referencia a la sección tipo, definida como una **sección paratipo** (Código Estratigráfico de Norteamérica, 1983).

Las secuencias de depósito de esta unidad litoestratigráfica están controladas principalmente por el parámetro eustático y corrientes marécicas, que son los factores que más actúan para la edificación de esta unidad, durante el Valanginiense inferior.

Utilizando el análisis sedimentológico se puede determinar que la base de la Formación Salto del Fraile presenta un sistema de canales de mareas débilmente desarrollados que son controlados por las migraciones dominantes de las corrientes de mareas.

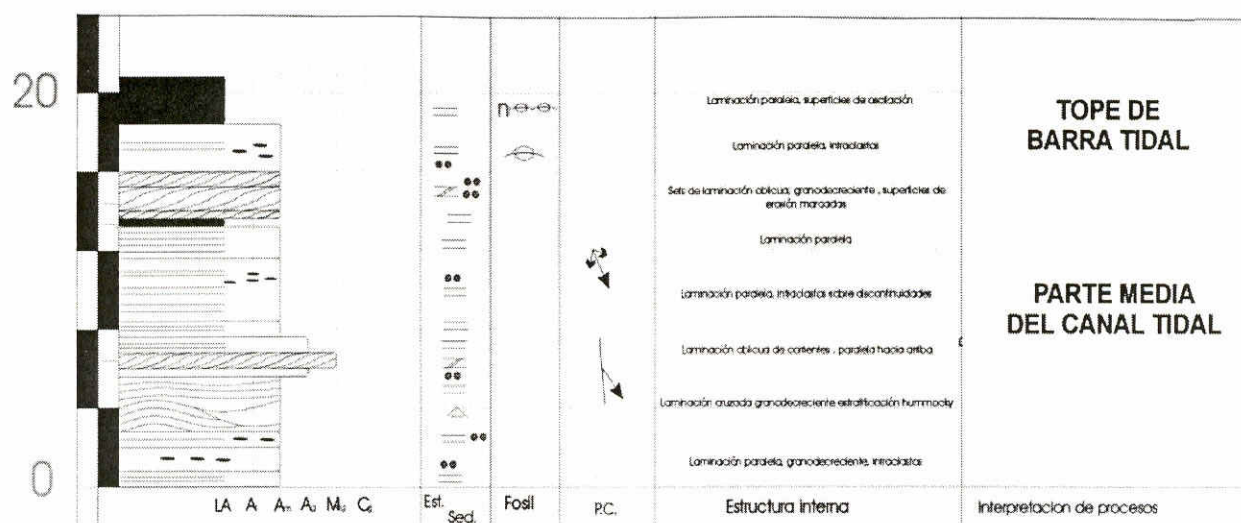


Fig. 6: Secuencia parcial de los niveles inferiores de la Formación Salto del Fraile, en el Cerro Armatambo.

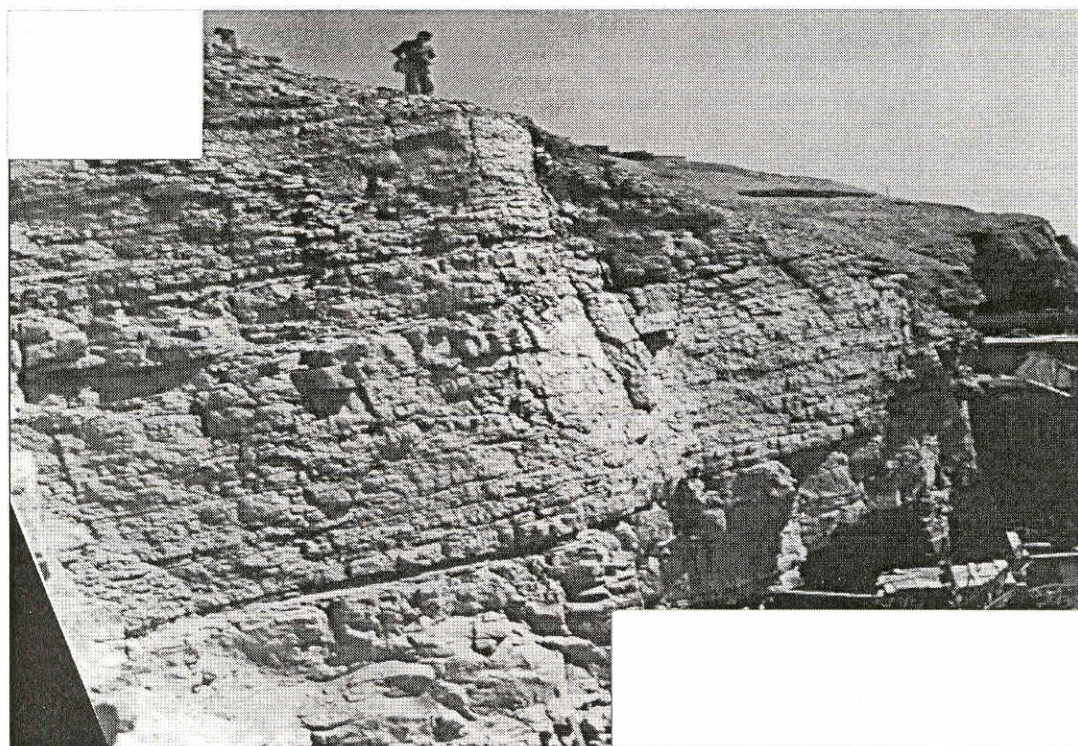


Foto 4: Vista de la facies tidal en el Cerro Armatambo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Juan La Riva, por el desinteresado apoyo brindado en las etapas de campo y por el apoyo para la presentación del artículo a la SGP. El Ing. Manuel Aldana realizó amablemente la determinación de la fauna colectada en el presente trabajo. La revisión de las primeras versiones del manuscrito por parte del Ing. César Chacaltana y un revisor anónimo de la SGP permitió mejorarlo sustancialmente.

REFERENCIAS

- ATHERTON M. P., PITCHER W. S. & WARDEN V. (1983).- The Mesozoic margin basin of central Peru. *Nature* – 305, p: 303-304.
- BENAVIDES V. (1956).- Cretaceous system in northern Peru.-*Amer. Mus. Nat. Hist. Bull.*, 108, p: 352-494.

CODIGO ESTRATIGRAFICO DE NORTEAMÉRICA

Columna generalizada de la Formación Salto del Fraile

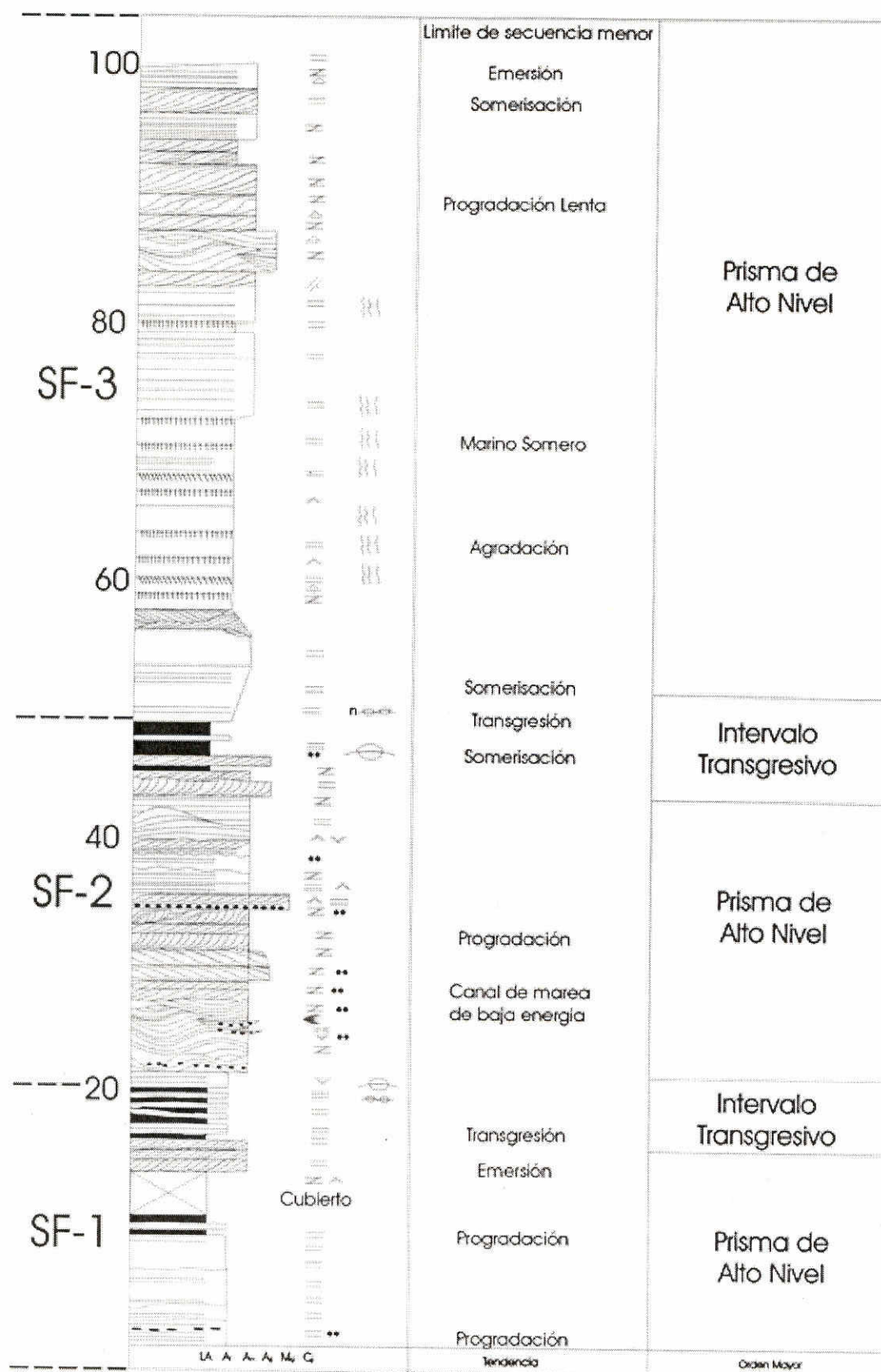


Fig. 7: Columna Estratigráfica General de la Formación Salto del Fraile, donde se puede observar las secuencias de orden mayor.

(1983).- Texto traducido A. W. Sánchez F. Revista La Picota (1984) UNMSM.

EINSELE G. (1992).- Sedimentary Basins, Evolution, Facies, and Sediment Budget. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg- New York., p: 99-155.

FERNÁNDEZ CONCHA J. (1958).- Geología del Morro Solar, *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. Nº 33. T. 33, p: 3-50.

GEYER O. & ALLEMAN V. (1984).- *Sobre Algunos Icnofósiles de las Formaciones Fosilíferas del Morro Solar de Lima*. Volumen Jubilar LX Aniversario Sociedad Geológica del Perú, Fascículo 3 p: 1-11.

HAQ B. U., J. HARDENBOL & P. R. VAIL (1987).- Chronology of Fluctuating Sea levels since the Triassic. *Science*, V. 235, p: 1156-1166.

JAILLARD E. & SEMPERE T. (1989).- Cretaceous sequence stratigraphy of Perú and Bolivia. In: Contribuciones de los Simposios sobre el Cretáceo de América Latina; L. A. Spalleti (ed.), p: A1-A27, Buenos Aires.

LISSON C. I. (1904).- Los tigillites del Salto del Fraile y algunas sonneratia del Morro Solar. *Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú*. T. 17, p: 1-64.

MEGARD F. (1978).- Etude géologique des Andes du Pérou central. Mém. ORSTOM, 86, 310p.

MOULIN N. (1987).- *Facies Détritiques Marins et Continentaux du Crétacé du Pérou Central*. Séminaire Géodynamique Andes Centrales, 14-16 Janvier, Bondy-France. p: 111-114.

MOULIN N. (1989a).- Facies y Ambientes Sedimentarios de la Formación Salto del Fraile (Cretáceo Inferior de Lima-Perú). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. T. 78, p: 165-170.

MOULIN N. (1989b).- *Facies et séquences de dépôt de la plate-forme du Jurassique moyen à l'Albien, et une coupe structurale des Andes du Pérou central*.- Thèse Univ. Montpellier, 287p.

NÚÑEZ DEL PRADO H. & CHAVEZ A. (1989).- Análisis Sedimentológico y Evolución Vertical de Facies de la Serie Cretácea en el Morro Solar (OSO, Lima-Perú). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. V.80, p: 77-105.

NÚÑEZ DEL PRADO H. (1991).- *Estratigrafía de la Megasecuencia «Lima» (Berrasiano - Valanginiano Superior)*. VII Congreso Peruano de Geología (Lima), «Pedro Verástegui Mackee». Edit. Sociedad Geológica del Perú, (Vol. Esp. 1, Res. Extendido) p: 655 – 658.

RIVERA R. (1979).- Zonas Faunísticas del Cretáceo de Lima. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. T. 62, p: 19-24.

ROBERT E., BULOT L., DHONDT A., JAILLARD E., VILLAGÓMEZ R., RIVADENEIRAM. & PAZ M. (1998).- La Transgresión del Cretáceo Inferior en el Margen Andino (Perú y Ecuador): Datos Preliminares. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*. V.88. p: 73-86.

SOLER P. (1991).- *Contribution à l'étude du magmatisme associé aux zones de subduction. pétrographie, géochimie et géochimie isotopique des roches intrusives sur un transect des Andes du Pérou Central. Implications géodynamiques et métallogéniques*. Thèse Doc. Sci. Univ. P. et M. Curie, Paris, 950p.

VILLAVICENCIO E. (1984).- Los Tigillites del Salto del Fraile. De Remetallica. p: 4-6.

WILSON J. J. (1963).- Cretaceous Stratigraphy of the Central Andes of Peru. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 47, p: 1-3.