

# Estratigrafía sedimentaria Cretácico-Paleógeno de la cuenca de Limón Sur, Costa Rica

Cretaceous-Paleogene sedimentary stratigraphy, Limon Sur Basin, Costa Rica

Teresita Aguilar\* y Percy Denyer

Universidad de Costa Rica (UCR), Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG),  
San José, Costa Rica

\*Autora para contacto: [anaterre.aguilar@gmail.com](mailto:anaterre.aguilar@gmail.com)

(Recibido: 01/03/2021; aceptado: 28/03/2021)

**ABSTRACT:** The Limón Sur basin has been relatively well studied given its economic importance, its dimensions and special characteristics. However, further research is required to determine the stratigraphy and tectonic evolution of this region. This work summarizes available studies covering the Cretaceous and Paleogene, excluding Neogene for future publications. The sequence of over 6,000 m begins with rocks originated in a deep marine environment -the Changuinola Formation- of late Cretaceous age which has not yet been identified in Costa Rican territory, followed by the Río Lari Formation Cretaceous? – Paleocene, also formed in a slope marine environment or deeper. The Tuis Formation of the Upper Eocene-Lower Oligocene corresponds with turbidite deposits formed in a marine slope environment. From this point, limestone units were deposited in a neritic environment, such as the limestones of the Eocene Fila de Cal Formation, the calcilutites and siltstones of Senosri Formation and the limestones of the Punta Pelada Formation of Oligocene age. This sequence is covered by lutites, sandstones and conglomerates from the younger Miocene and Pliocene formations, such as Uscari, Río Banano, Limón and Suretka.

**Keywords:** Cretaceous-Paleogene; Geologic Section; Southeast of Costa Rica; Petroleum; Stratigraph; Northwest of Panamá.

**RESUMEN:** La cuenca Limón Sur ha sido relativamente bien estudiada, por su importancia económica, sus dimensiones y características especiales. Sin embargo, todavía quedan muchos aspectos por investigar para definir la estratigrafía y la evolución tectónica de la región. En este trabajo se sintetizan los estudios que se han podido recopilar, que abarcan el Cretácico y Paleógeno, quedando el Neógeno para futuras publicaciones. La secuencia de más de 6000 m inicia con rocas de origen marino profundo, Formación Changuinola, del Cretácico Superior, aún no identificada en el territorio costarricense, seguida por la Formación Río Lari del Cretácico? – Paleoceno, también formada en un ambiente marino de talud o más profundo. La Formación Tuis del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior se formó en un ambiente de talud, conformando depósitos turbidíticos. A partir de este punto se depositaron unidades calcáreas en un ambiente nerítico, como las calizas de la Formación Fila de Cal del Eoceno, las calcilutitas y limolitas de la Formación Senosri y las calizas de la Formación Punta Pelada del Oligoceno. Esta secuencia está cubierta por lutitas, areniscas y conglomerados de las formaciones más jóvenes del Mioceno y Plioceno, como Uscari, Río Banano, Limón y Suretka.

**Palabras clave:** Cretácico-Paleógeno; sección geológica; sureste de Costa Rica; petróleo; estratigrafía; noroeste de Panamá.



## INTRODUCCIÓN

Una de las cuencas de mayor importancia, por su tamaño, sus posibilidades económicas y sus implicaciones en la historia geológica del sur de América Central, corresponde con la cuenca sedimentaria conocida como Limón Sur.

La cuenca de Limón Sur fue definida originalmente por la Compañía Petrolera de Costa Rica Ltda. (Lloyd, 1952), con base en los caracteres geológicos y en la topografía natural; posteriormente fue denominada cuenca de Limón-Bocas del Toro (Fernández, 1987) y cuenca de Baja Talamanca (Seyfried et al., 1991). Se extiende desde el río Reventazón hasta la frontera con Panamá (Fig. 1); limita al noreste con el mar Caribe y con la cuenca de Limón Norte (Astorga et al., 1991), de la cual se diferencia por su carácter compresivo. La frontera entre los dos dominios tectónicos, la constituye el Alto Moín (Elf Petroleos Costa Rica, 1973). Al suroeste limita con la línea de falla principal en la base de la cordillera de Talamanca, que separa la cuenca costera del bloque levantado del Mioceno (Lloyd, 1952).

A pesar de ser una cuenca relativamente bien estudiada debido a su potencial petrolero y la presencia de algunos depósitos de carbón, que han propiciado la realización de investigaciones geológicas detalladas, incluyendo fotografías aéreas, recolección de muestras, estudios estratigráficos, paleontológicos, geofísicos y sedimentológicos, todavía persisten algunas inconsistencias sobre la estratigrafía, en especial en lo que corresponde a la existencia o no de depósitos de edad Cretácico-Paleógeno y su correlación con unidades de Panamá y de otras localidades de Costa Rica. El sur de la cuenca, cerca de la cordillera de Talamanca, es pobremente conocido y carece de mapeo geológico reciente; el basamento y la parte inferior de la secuencia sedimentaria nunca se han observado in situ y no aparecieron ni en los pozos más profundos perforados en la región, según Pizarro (1993).

Lloyd (1952), reconoce la existencia de muchos cambios litológicos laterales en las unidades estratigráficas, debidos probablemente a que se depositaron en una cuenca irregular supeditada a periodos de transgresión y regresión, lo cual dificulta el establecimiento y la delimitación de estas unidades estratigráficas. Aún así, algunos de los nombres originales utilizados para las formaciones estratigráficas persisten, a pesar de no indicar con claridad las localidades tipo (Branson, 1928).

Este trabajo presenta una descripción y análisis de los principales trabajos que tratan de la estratigrafía del Cretácico y particularmente del Paleógeno, de la cuenca de Limón Sur, tratando de interpretar las descripciones y adaptándolas con las propuestas estratigráficas más utilizadas para la región. Todo esto, pensado dentro del marco geográfico de la región de Limón, cuya geología es una respuesta de un contexto histórico, de sedimentación, depositación, cristalización y flujo de materiales sedimentarios e ígneos, que actualmente siguen un proceso activo, que conlleva fenómenos tectónicos y a su vez influyen el proceso sedimentario activo.

Un evento como el terremoto de Limón del 22 de abril del año 1991, tiene un origen geológico enmarcado en la fenomenología histórica transcurrida desde el Cretácico hasta nuestros días. En este trabajo se enfatiza la estratigrafía del Cretácico y Paleógeno, con la convicción de la importancia que tiene la influencia histórica geológica en los fenómenos y eventos geológicos del presente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como se dijo anteriormente, este trabajo es una compilación y síntesis, que conllevan una propuesta y enfatiza en varios de los problemas e inconsistencias que deberían ser la punta de lanza de futuras investigaciones de campo sobre la estratigrafía y cartografía de la región, pues sobresalen las incógnitas y todavía persiste la incertidumbre sobre el basamento geológico regional, asunto de mucha importancia para entender la historia geológica de la cuenca.

Valga decir, que gran parte de las investigaciones realizadas por las compañías petroleras privadas y las gubernamentales (Recope), no son accesibles. En esta investigación se ha utilizado la información disponible en la biblioteca de la Escuela Centroamericana de Geología de la UCR, mucha de la cual corresponde con donaciones de material bibliográfico de geólogos como Gabriel Dengo y Gregorio Escalante, pero es información fragmentaria, en la que faltan muchos mapas, columnas y descripciones.

Se pretende, por lo tanto, con este trabajo, hacer un ordenamiento de la información existente disponible y hacer énfasis en las falencias e inconsistencias para que puedan ser tratadas en futuras investigaciones.

Cada unidad estratigráfica es descrita de acuerdo con sus principales características, que incluyen: nombre, estratotipos y otros estándares geográficos de referencia, localidad tipo, aspectos regionales, edad, correlación con otras unidades, génesis y

un listado de referencias bibliográficas principales. El texto sigue una estructura acorde con los principios estratigráficos, es decir, las unidades geológicas se describen de la más antigua a la más joven, respetando las normas estratigráficas oficiales de la *International Stratigraphic Guide de la International Commission on Stratigraphy* (Salvador, 1994); por lo tanto, se trata de una guía, con sugerencias que no abarcan casos muy específicos.

En este trabajo se tratan de rescatar algunas figuras como columnas y secciones geológicas que se considera que son muy desconocidas y justamente de las zonas de más difícil acceso en la cuenca, con el afán de traer el tema geológico-estratigráfico fundamental a discusión y estimular el intercambio e interés por realizar investigaciones futuras en la región.

Las unidades geológicas que se utilizan en este trabajo corresponden con unidades litoestratigráficas, es decir que su clasificación se basa en las propiedades litológicas de los cuerpos rocosos.

A continuación, se hará una descripción de las unidades geológicas principales, que han sido utilizadas a través del tiempo, para sistematizar la estratigrafía de la cuenca de Limón Sur. En la figura 2 se resumen las variaciones que han tenido los diferentes autores, desde el año 1952, hasta la propuesta de este trabajo.

## ESTRATIGRAFÍA

### Formación Changuinola

#### *Nombre*

Descrita formalmente por Fisher y Pessagno (1965) (Fig. 3). Los mismos autores mencionan que en reportes privados de 1958, W. T. Roeseler y colaboradores de la Union Oil Company se refieren a la recientemente descubierta sección del Cretácico Superior como Formación Caliza Changuinola y a la unidad volcániclaústica sobreyacente del Eoceno, como Formación tobas Changuinola.

Fernández (1987), propone redefinir la unidad incluyendo las calcilitas del río Changuinola del Campaniano Superior-Maastrichtiano Inferior y las del río Lari del Paleoceno-Eoceno Medio con base en Fisher y Pessagno (1965).

#### *Estratotipos y otros estándares de referencia*

El estratotipo se encuentra en el río Changuinola superior, ubicado en el noroeste de Panamá, 45 kilómetros sureste de la frontera, y su principal tributario, el río Peñas Blancas. Buenas exposiciones se observan a lo largo del anticlinal asimétrico de Peñas Blancas, con tendencia noroeste y sureste. El eje del anticlinal se encuentra a 11,4 km al norte de la confluencia de las dos corrientes, que se ubica a unos 31 km al sur del puente del ferrocarril de la Chiriquí Land Company, sobre la corriente principal en la provincia de Bocas del Toro, en el noroeste de Panamá (Fisher y Pessagno, 1965). Las secciones estratigráficas que presentan Fisher y Pessagno (1965), representan los levantamientos en dos ríos, Changuinola y Peñas Blancas, cada una de más de 6 km de longitud, perpendicular al rumbo de los estratos en el flanco sur del anticlinal. El flanco norte está más intensamente fallado y plegado.

#### *Descripción en la localidad tipo*

Fue descrita en el noroeste de Panamá (Fig. 3) y consiste en calizas de foraminíferos de tonos claros, andesitas y dacitas en forma de flujos clásticos. Casi la mitad (o sea unos 612 m) de la unidad consiste en calizas, muchas de las cuales son claras. Los colores varían desde amarillo pálido a verde en la parte baja a blanco y gris pálido o verde en la parte superior. Algunas de las capas inferiores están cubiertas por una delgada película silíceo blanca, la cual junto con la coloración anaranjada pálida, dan nombre a los acantilados de la boca del río Peñas Blancas. Acantilados blancos similares se observan en el flanco norte del anticlinal, son calizas plegadas, por lo que tentativamente se correlacionan. Las calizas tobáceas y silíceas presentan cavidades hemisféricas profundas por disolución y en algunos lugares las capas tienen estrías o canales (*flutes*) verticales, los cuales

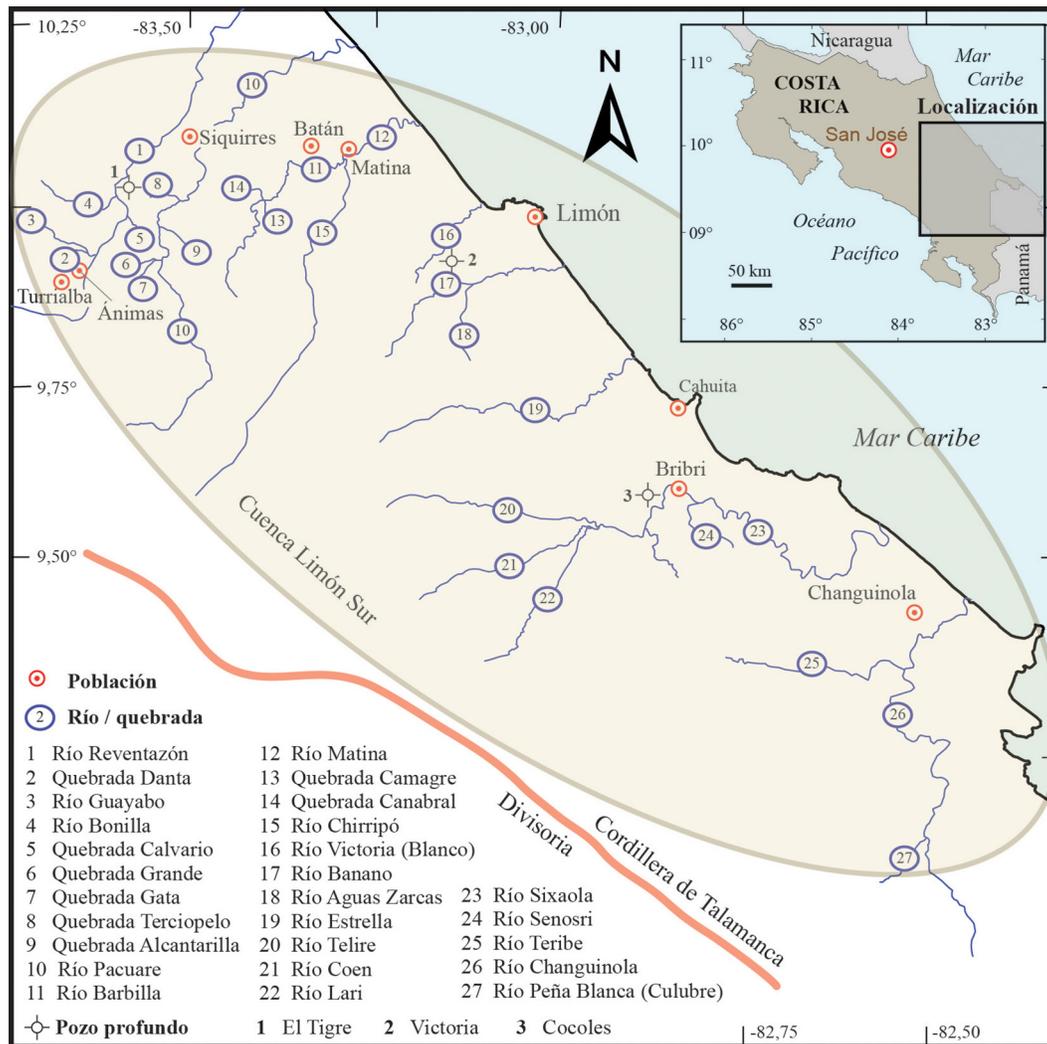


Fig. 1: Ubicación de la Cuenca Limón Sur en el Sureste de Costa Rica y Noroeste de Panamá.

fueron causados probablemente por disolución a lo largo de fracturas. Las capas de calizas tienen un espesor entre 30 y 60 cm, algunas veces hasta 120 cm, y con frecuencia están separadas por capas delgadas de color negro verdusco o marrón oscuro y con menor frecuencia por calizas arcillosas verde brillante o ceniza. En las partes más oscuras las calizas están rodeadas por fracturas resistentes, a las cuales se asocian capas con estratificación cruzada, muy delgadas. Muchas de las calizas presentan estructuras singénicas como *slumps*, en las cuales las capas superiores e inferiores son paralelas y no presentan deformación. La pirita es común, principalmente concentrada en las capas más oscuras.

La unidad volcano sedimentaria inferior, de unos 240 m de espesor, inicia con tobas vítricas y líticas, verde oliva a gris verdosas, intercaladas con calizas bandeadas, centimétricas, verdes, grises y marrón y siltitas escasamente calcáreas de color marrón. Las tobas gradan a areniscas líticas con conglomerados ocasionales que contienen cuarzo subredondeado y clastos pumíceos y andesíticos. Las areniscas pueden o no ser calcáreas y presentan estratificación cruzada en las capas más gruesas. Inmediatamente por encima se encuentra una serie de flujos volcánicos de al menos 60 m de espesor. La parte inferior de la secuencia consiste en una intercalación de tobas silíceas muy delgadas, color gris medio y lutitas calcáreas oscuras, verde brillante, con una costra de meteorización color crema. Presentan algunos microfósiles que indican que fueron depositadas en ambiente acuático.

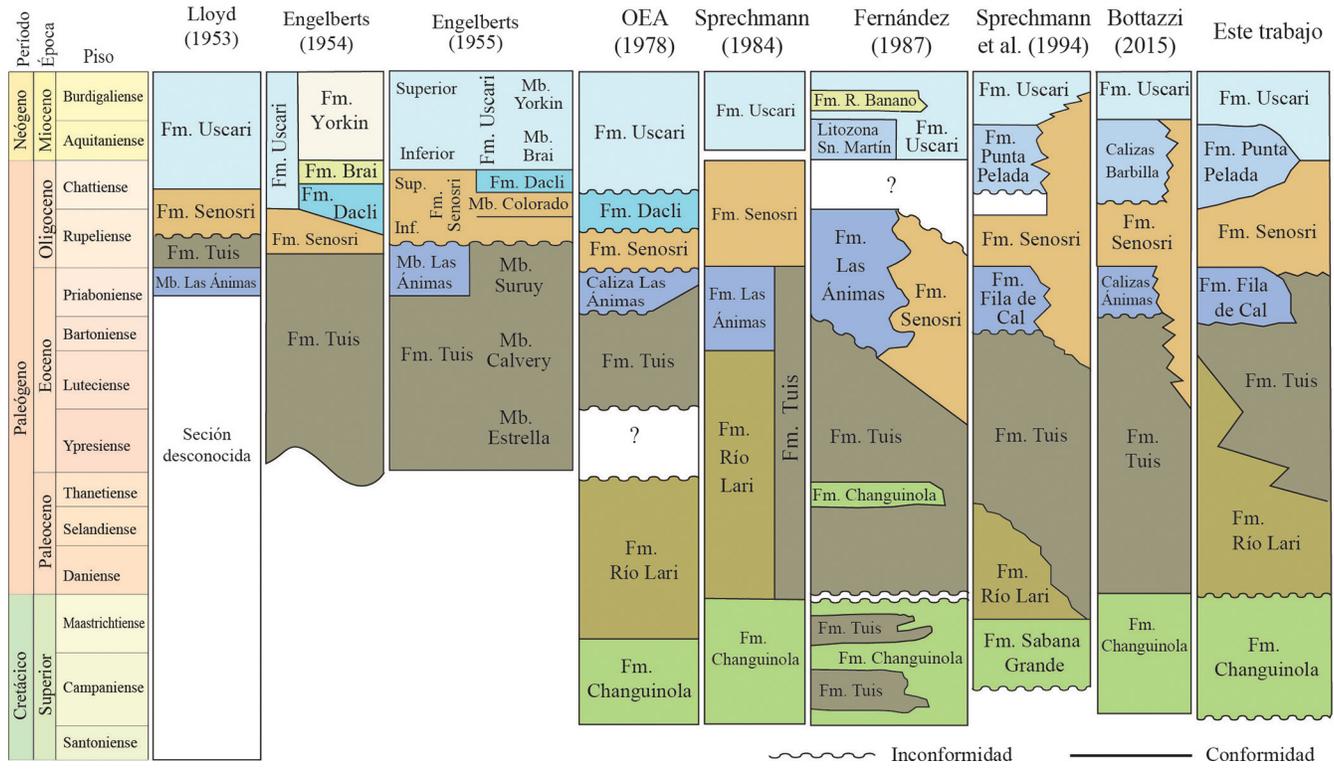


Fig. 2: Cuadro comparativo por autores de la estratigrafía de la cuenca Limón Sur. Cuadro estratigráfico basado en Cohen et al. (2013)

Aspectos regionales

Es la secuencia sedimentaria más antigua conocida de la costa Atlántica de Panamá. La extensión lateral de esta formación no se conoce, pero imponentes acantilados blancos, característicos de la unidad principal de calizas en la boca del río Peñas Blancas, se pueden seguir por aire por una distancia de al menos 15 km hacia el noroeste en el valle del río Teribe. Hasta la fecha esta formación no ha sido reconocida en Costa Rica (Fisher y Pessagno, 1965; Sprechmann, 1984).

En la localidad tipo aflora un espesor de 1280 m, pero la base de la formación no se puede observar en la cresta del anticlinal de Peñas Blancas ni en los flancos del pliegue. En el flanco sur afloran al menos 400 m de flujos volcánicos y algunos clásticos con buzamientos similares, pero más pronunciados. Algunos autores han sugerido que estas rocas volcánicas sobreyacen inconformemente la parte superior de las calizas de la Formación Changuinola, pero es más probable que exista un contacto por falla entre las dos series, como lo evidencia una zona con cambios muy fuertes en el buzamiento. Un problema similar aparece en el flanco norte. Además, la sección de calizas del flanco norte está continuamente interrumpida por pliegues agudos y fallas inversas.

Edad

Woodring (1957) menciona que el noroeste de Panamá, cerca de la frontera con Costa Rica, en calizas silíceas, se encontraron foraminíferos del Cretácico superior, *Globotruncana* sp y *Gumbelina* sp.

Fisher y Pessagno (1965) asignan una edad de Cretácico Tardío (Campaniano Tardío- Maastrichtiano Temprano/Medio). No se encontraron microfósiles excepto fragmentos de conchas.

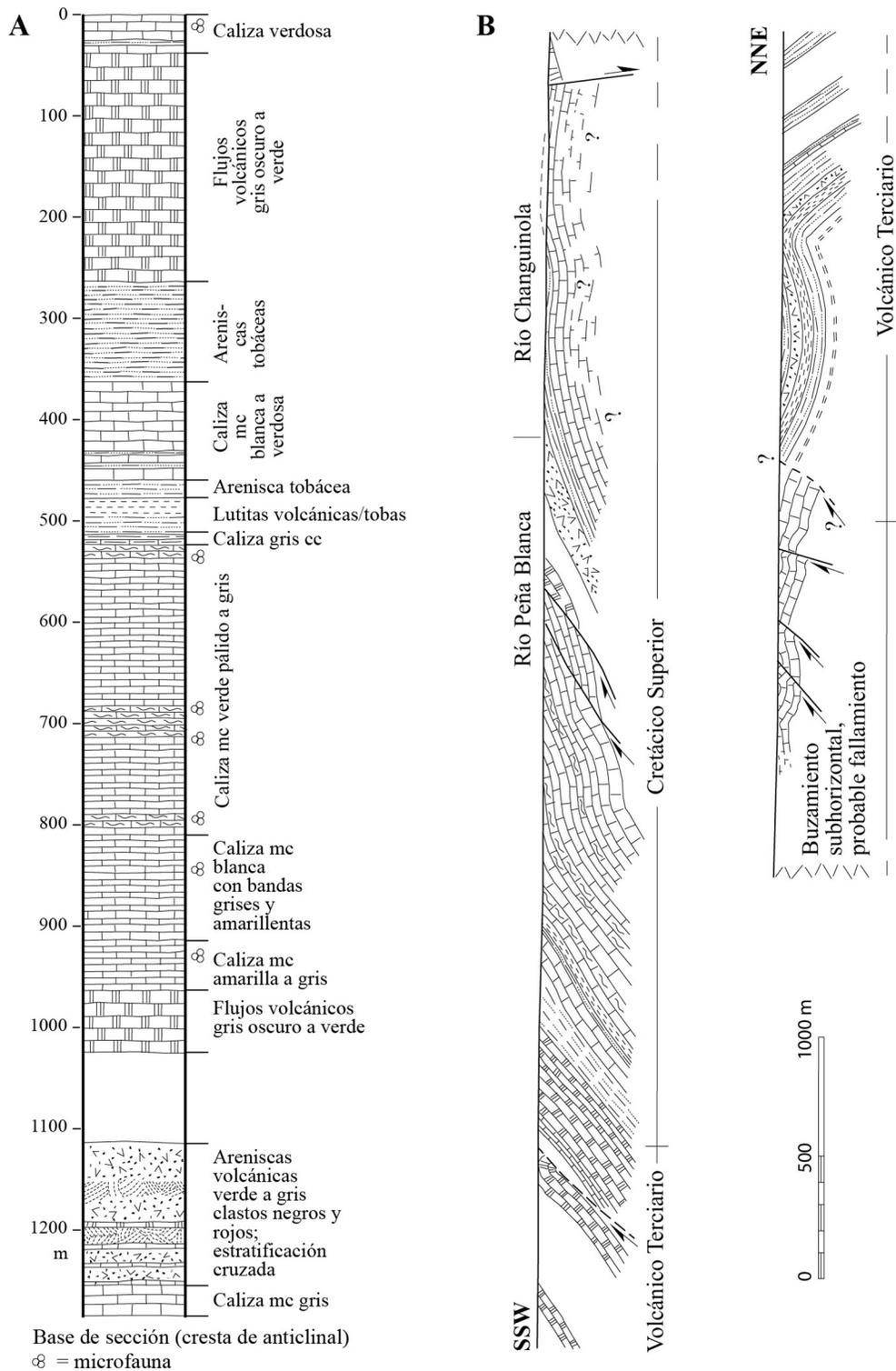


Fig. 3: Sección estratigráfica del Cretácico Superior en el río Changuinola (Noreste de Panamá). Modificado de Fisher y Pessagno (1965). A) Columna estratigráfica. B) Sección geológica de los ríos Peña Blanca y Changuinola. (mc=microcristalina, cc=criptocristalina)

Los siguientes foraminíferos planctónicos son los más abundantes en las calizas: *Globigerinelloides multispina* (Lalicker), *Globotruncana aegyptiaca* Nakkady\*, *Globotruncana calcarata* Cushman, *Globotruncana contusa* (Cushman)\*, *Globotruncana bulloides* Vogler, *Globotruncana elevata* (Brotzen), *Globotruncana fornicata* Plummer, *Globotruncana gansseri* Bolli\*, *Globotruncana lapparenti* s.s. Brotzen, *Globotruncana linneiana* (d'Orbigny), *Globotruncana ventricosa* White, *Globotruncana rosetta* (Carsey), *Globotruncana stuartiformis* Dalbiez., *Heterohelix* sp. (formas estriadas), *Pseudotextularia elegans* (Rzehak), *Rugoglobigerina* sp.

*Rugotruncana subcircumnodifer* (Gandolfi) = *R. tilevi*, Bronniman and Brown).

\* =Restringidas al Maestrichtiano Medio y Tardío.

### Correlación con otras unidades

Anónimo (1960) y Heggblom (1961), mencionan una fauna del Cretácico Superior-Paleógeno basal en una sección del río Lari-río Coen; ambas con base en foraminíferos plantónicos; sin embargo, Fisher y Pessagno (1965) indican que los orbitoides determinados como del Maestrichtiano son retrabajados y que las faunas son del Paleoceno y del Eoceno Medio.

Fernández (1987), menciona en la cuenca de Limón-Bocas del Toro la Formación Calcilutitas de Changuinola, de edad Maestrichtiano-Eoceno Medio, y las ruditas de la Formación Tuis, de edad Maestrichtiano-Eoceno Medio. Sprechmann et al. (1994) la correlaciona con la Formación Sabana Grande y con el grupo Pre-Machuca en la cuenca de San Carlos.

Se correlaciona temporalmente con facies de la Formación Piedras Blancas, aflorante en las penínsulas de Nicoya y Santa Elena.

### Génesis

La principal unidad de calizas son biomicrocristas, con textura porcelánea y fractura concoidea, que son indicadores de una matriz homogénea micro y criptocristalina. Solo se han encontrado foraminíferos plantónicos y fragmentos curvos de calcita que probablemente son remanentes de un bento frágil, esparcido en los carbonatos. El tamaño uniforme de los microfósiles suspendidos en una matriz lodosa fina y la casi total ausencia de granos de arenisca redondeados denotan muy poco o ningún transporte o selección. Todas estas características sugieren un ambiente de deposición *offshore*, de moderadamente profundo a batial (Fisher y Pessagno, 1965).

Las calizas contienen también fragmentos de ceniza de tamaño arcilla derivados de una fuente cercana. Estas calizas se hacen más oscuras y tobáceas hacia arriba, gradando a areniscas volcánicas, las cuales son seguidas de flujos ígneos continentales. Estas rocas parecen haber sido depositadas cerca de la costa (Fisher y Pessagno, 1965).

Fernández (1987), indica que las calcilutitas de la Formación Changuinola se depositaron en el talud distal o cuenca.

### Referencias

Woodring (1957), Roeseler (1958); Anónimo (1960) Heggblom (1961), Fisher y Pessagno (1965); Sprechmann (1984); Fernández (1987); Seyfried et al. (1991); Sprechmann et al. (1994).

## Formación Río Lari

### Nombre

Descrita por Fisher y Pessagno (1965), como sección Río Lari en el río Lari y algunos afluentes en la provincia de Limón, para designar dos intervalos delgados y muy diferentes de calizas (Fig. 4).

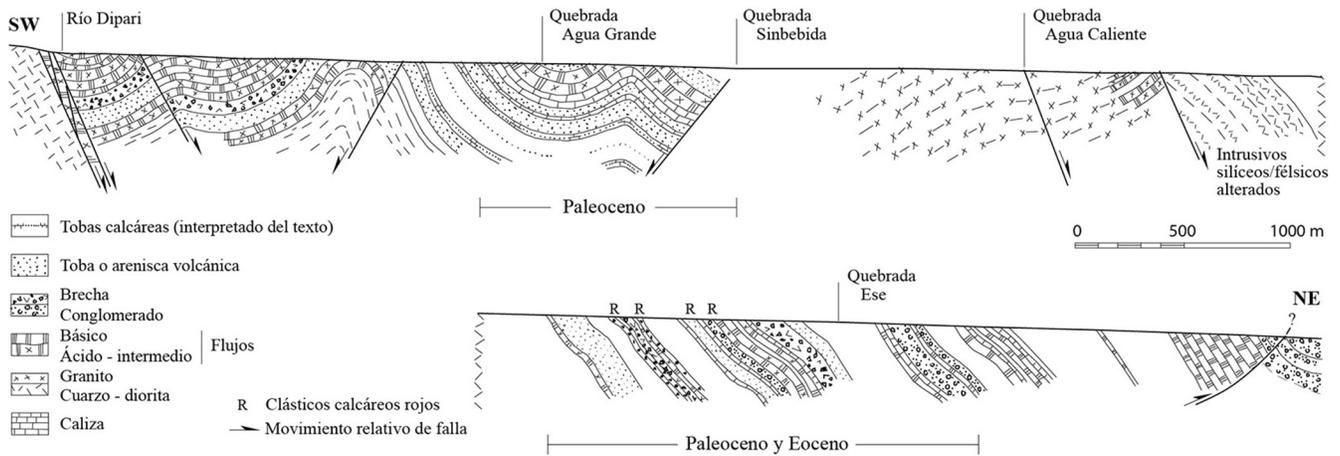


Fig. 4: Sección geológica del río Lari (Suroeste de Costa Rica). Traducido y modificado a partir de Fisher y Pessagno (1965).

Fernández (1987), propone que sea parte de la Formación Changuinola, pero de edad Paleoceno-Eoceno Medio. Sprechmann et al. (1994), proponen que se reconozca como una unidad formal, Formación Río Lari.

Estratotipos y otros estandares de referencia:

En el río Lari y algunos afluentes, tributario más al sur del río Sixaola, con un valle trezado, muy empinado, con un relieve local de más de 800 m (Fisher y Pessagno, 1965; Sprechmann, 1984).

#### Descripción en la localidad tipo

Fisher y Pessagno (1965) y Heggblom (1963), indican que los afloramientos en la sección del Río Lari están muy meteorizados y presentan una estructura compleja, por lo que no presentan una columna estratigráfica que muestre claramente las relaciones y edades. Describen las litologías empezando en la parte superior de la corriente y continuando hacia la parte inferior, es decir, de suroeste a noreste.

Según Fisher y Pessagno (1965), la sección empieza en el “río Dipari”, que no aparece en los mapas actuales. Sin embargo, en la hoja topográfica Siola se ubica el “río Pare” como un afluente del Lari, el cual parece corresponder con el río Dipari. Quesada, 2006, refiere que “Di”, en bribri, significa “agua” o “río”. Alfaro A. (comunicación escrita), considera que debido a lo anterior y a la dirección y posición en que el río Dipari sale en el mapa de Fisher y Pessagno, el “Dipari” es “río Pari”; o sea, Dipari es el mismo río Pare de la hoja Siola. En 1965 aún no existía el mapa topográfico y quizás a esto se debe la confusión con el nombre, que es esencialmente el mismo.

Granodiorita, más o menos cristalina con feldespatos blancos y rosados con marcas de hornblenda verde, biotita y minerales opacos. Presenta cristales de cuarzo, pequeños e irregulares.

Andesita porfírica, con una matriz de gris oscura a negra, vítrea, con fenocristales blancos de feldespato, piroxeno verde, hornblenda y pocos cristales de cuarzo. Presenta algunas vetas silíceas.

Lavas y tobas en proporción semejante, las lavas son de composición intermedia color gris verdoso. Algunos flujos de lavas son brechosas. Presentan muchas vetas de calcita y están fuertemente alteradas.

Tobas calcáreas y calizas, afloran aguas abajo a lo largo de una falla, es una sección calcárea finamente estratificada, solo la parte más superior son realmente calizas, en partes de color gris pálido a verde, parecidas a las calizas de la Formación Changuinola, pero posiblemente más jóvenes, son muy porosas y contienen más cuarzo y pirita. La parte inferior de la secuencia está constituida por tobas calcáreas, algunas con microfósiles y por pocas calizas. Además, se encuentra lavas verde oscuras a negras que han causado metamorfismo al contacto con las calizas.

Intrusivos silíceos, en afloramientos muy alterados de granitos de grano fino, gris pálido con hornblendas.

Naciones Unidas (1975) lo denomina Intrusivo Yuani, indicando que:

Al norte de la falla Yuani aflora sobre el río Lari un stock intrusivo que se considera estar en relación con un intrusivo muy alterado que aflora en el río Coén al norte de la misma falla. En el afloramiento el primero aparece como una roca intrusiva verdosa de grano fino y con mucho cuarzo. El corte transparente muestra que se trata de una tonalita con plagioclasa albitizada y sericitizada y los materiales ferromagnesianos cloritizados. Asociado con el cuarzo hay algo de ortoclasa, también alterada. Se calcularon dos composiciones modales (p. 11).

Además, dice: “El intrusivo Yuani se trató como una unidad diferente del intrusivo principal a base de su composición y ubicación. Podría estar relacionado con las rocas postintrusivas dacíticas” (Naciones Unidas, 1975, pp. 12).

Clásticos calcáreos rojos, son lutitas calcáreas brechosas, color rojo ladrillo a morado, areniscas volcánicas y pocas calizas delgadas. Además, intercalaciones delgadas de tobas gris a verdosas y brechas volcánicas. En las calizas y en las tobas se han encontrado algunos microfósiles retrabajados.

Clásticos volcánicos, sobreyaciendo los depósitos calcáreos se encuentra una espesa sección de clásticos volcánicos, principalmente brechas de color gris oscuro y verde. Cerca de la base se encuentran dos intervalos de andesita porfirítica color gris medio.

Flujos de lava básicos, en la base se encuentran clásticos volcánicos gruesos y finos, son rocas afaníticas muy oscuras o escasamente porfiríticas que contienen olivino.

Conglomerados verdaderos con clastos bien redondeados de más de 30 cm de diámetro, son brechas, tobas, lavas, algunas escoriáceas, rocas ígneas rojas con fenocristales negros muy pequeños y partículas de pedernal gris. Además, se encuentra una caliza gris oscuro a verde, muy tobáceas; son biomicitas con escaso contenido de fósiles, finamente estratificadas y gradan a tobas cristalinas hacia arriba y hacia abajo.

OEA (1978) señala la presencia de areniscas, sedimentos volcánicos, calizas fosilíferas y rocas volcánicas.

Anónimo (1960) y Heggblom (1961), refieren que en el río Coen se observa una serie de arcillas, areniscas y siltitas calcáreas con intercalaciones de calizas claras de capas finas y mantos de basaltos y algunas tobas volcánicas. Considera que son del Cretácico y que en el valle de Talamanca hay rocas volcánicas y siltitas que parecen ser Paleoceno o Eoceno Inferior pero no se ha confirmado.

### *Aspectos regionales*

Anónimo (1960) y Heggblom (1961), señala que la mejor sección encontrada en toda la provincia de Limón está expuesta en el río Lari, con 4,665 m continuos de sedimentos.

Los afloramientos generalmente están profundamente meteorizados, son masivos y muy complejos estructuralmente, lo que dificulta seguir una sección estratigráfica (Fisher y Pessagno, 1965). Browne (1965), indica que en el río Lari aflora una sección casi continua con buzamiento uniforme, que contiene sedimentos de edad Cretácico Superior a Eoceno Medio basal y que es la primera secuencia estratigráfica continua para este intervalo de tiempo en Costa Rica, por lo que puede ser usada como estándar de correlación para otras localidades.

OEA (1978) indica un espesor de 2800 m para esta unidad.

### *Edad*

Anónimo (1960) y Heggblom (1961), indican que la mayor parte de las rocas en los ríos Lari y Coen, son del Cretácico Superior, aunque también se encuentran rocas del Paleoceno y Eoceno. La fauna del Cretácico Superior que menciona es: *Globotruncana* sp.; *Globotruncana (Rugotruncana) calcarata*?; *PseudoGumbelina* sp.; *Gumbelina* sp. y *Globigerina* sp.

Para el Paleoceno reporta, *Globorotalia velascoensis* Cushman y *Globorotalia angulata* (White). Del Eoceno Inferior menciona, *Globorotalia wilcoxensis* var. *acuta* Toulmin y *Globorotalia crassata* (Cushman). Para el Eoceno medio solamente *Globorotalia lehneri* Cushman y Jarvis.

En esta sección no se han encontrado megafósiles, las dos secciones principales de calizas contienen foraminíferos dispersos parcialmente recristalizados. Estos intervalos carbonatados fueron originalmente datados como Cretácico Tardío por la Compañía Petrolera de Costa Rica (Anónimo (1960) y (Heggblom (1963) y referido en el mapa geológico de Costa Rica (1968), posteriormente dos estudios independientes encontraron fósiles del Paleoceno y en los estratos calcáreos rojos fauna del Paleoceno-Eoceno Medio (Fisher y Pessagno, 1965). Browne (1965), indica que muchas muestras en la sección Río Lari contienen foraminíferos pelágicos *Globorotalia wilconxensis* y afines, otras muestras contienen formas en secciones pulidas de posible edad Cretácico Tardío, sin embargo, mencionan que son formas más relacionadas con las especies del Paleoceno *Globorotalia angulata* y *Globorotalia velascoensis*. Además, reportan varias muestras con *Globotruncana* sp., típica del Cretácico Superior. En una de las muestras indican una anomalía, ya que la fauna contiene macroforaminíferos con diferentes rangos de edad, *Discocyclina* sp. (índice del Daniano, Paleoceno- Eoceno), se encontró en conjunto con *Pseudorbitoides* sp. del Cretácico Superior, la fauna contiene foraminíferos pelágicos del Cretácico Superior.

Naciones Unidas (1975), presenta para el río Coén las siguientes determinaciones paleontológicas obtenidas en la Escuela de Geología de la Universidad de Costa Rica: *Quinqueloculina* sp.; *Nummulites (Operculinoides)* sp.; *Arcinaias*; *Rotalia* sp.; *Spiroclypeus?* sp.; Balanidae; Rpdophyceae; Bryozoa; *Heterostegina* o; *Spiroclypeus*; cf. *Eoconubides* de probable edad Eocena. En un canto rodado en la quebrada Skiri encontraron Bryozoa; ¿*Lepidocyclina (Pliolepidina)?*; *Archaias* sp., de posible edad Eoceno Medio- Superior.

Faltan estudios detallados para determinar con más precisión la edad y la distribución de esta unidad.

### *Correlación con otras unidades*

Originalmente las secciones carbonatadas fueron correlacionadas con la Formación Changuinola debido a que los carbonatos oscuros se asemejan y los fósiles encontrados fueron asignados en los primeros estudios al Cretácico Superior. Sin embargo, Fisher y Pessagno (1965), consideran que son del Paleoceno- Eoceno Medio (Terciario Inferior).

Browne (1965), sugieren que la excelente sección estratigráfica Río Lari puede ser utilizada como estándar de correlación con otras áreas.

Naciones Unidas (1975), intentó correlacionar las secciones de los ríos Lari y Coén sin éxito. Indican que no fue posible correlacionar la sección del río Lari con la del río Coén, aguas arriba de la falla Yuani. En el río Lari, hay más coladas y tobas finas; en el Coén, más rocas piroclásticas en el sentido amplio de la palabra, algunas de las cuales podrían ser llamadas avalanchas subacuáticas. También los sedimentos calcáreos son distintos en ambos ríos: en el Lari, son tobas calcáreas de grano fino estratificada [sic], mostrando que fueron depositadas en aguas tranquilas, relativamente profundas; en el Coén, se encuentran varias calizas masivas bioclásticas que indican aguas poco profundas, movidas, cercanas a la costa. Estas rocas bioclásticas afloran en el río Coén cerca de Kichúguecha y en la quebrada Skiri. Por un parecido con las calizas de la Fila de Cal del lado Pacífico y su contenido en foraminíferos (género *Lepidocyclina*) se llega a la hipótesis de que se trata de calizas bioclásticas de edad Eocénica, comparables a las formaciones Brito y Las Animas. “Tales calizas bioclásticas no fueron mencionadas por la Compañía Petrolera y parecen corroborar la opinión de Fisher y Pessagno (1965) que los sedimentos del área no son Cretácicos, sino pertenecen al Terciario Inferior”.

Sprechmann et al. (1994), la correlaciona parcialmente con las formaciones Descartes, Arío y Machuca, que afloran en otras cuencas del actual territorio de Costa Rica. Es coetánea con la Formación Descartes de las penínsulas de Nicoya y Santa Elena.

### *Génesis*

Fernández (1987), menciona facies de Río Lari como parte de la cobertura sedimentaria oceánica, constituida por facies calcáreas micríticas con fauna pelágica con intercalaciones tobáceas.

## Referencias

Anónimo (1960); Heggblom (1961 y 1963); Browne (1965), Fisher y Pessagno (1965); Naciones Unidas, 1975; OEA, 1978; Fernández (1987); Sprechmann (1984); Sprechmann et al. (1994).

## Formación Tuis

### Nombre

El nombre se debe a los buenos afloramientos que se encuentran en la parte más baja del río Pacuare, aguas abajo de la villa Tuis (Lloyd, 1953).

Según Paris (1963) y Fernández (1987), el nombre fue introducido por Roeseler (1953), para describir “una alternancia de areniscas color marrón, aglomerados y calizas litográficas y limolitas bien estratificadas en las cercanías de la Villa de Tuis”.

Estratotipos y otros estándares de referencia:

Se escogió la localidad de Tuis (que aflora en el camino de Turrialba a Moravia) por su posición geográfica en el centro del área de exposición (Paris, 1963). Actualmente la localidad tipo se ubica en el río Pacuare, aguas abajo de la quebrada Grande.

Fernández (1987), designa como estratotipo el área del río Pacuare, cerca de la desembocadura de la quebrada Danta y en la quebrada Alcantarilla.

### Descripción en la localidad tipo

Según Lloyd (1953), la formación consiste en tres unidades. En la parte inferior se encuentran conglomerados compactos de un fuerte color marrón a gris oscuro, basaltos y limolitas; no se encontró fauna. Esta unidad es sobreyacida por la unidad de calizas Las Ánimas del Eoceno Superior, observadas tanto en Las Ánimas como en el río Calvario. La parte superior está formada principalmente por calizas duras, estratificadas, que varían de verde grisáceo a púrpura y azul grisáceo, limolitas y areniscas finas. En algunas partes las calizas son muy finas (¿calcilutitas?), parcialmente silíceas, de color rojo brillante y verde semejante a pedernal. También se encuentran aglomerados y brechas intercalados localmente

Paris (1953), utiliza Grupo Tuis, para designar los sedimentos terciarios de la formación anterior a Senosri. Es decir, la formación Tuis pasó de no existir en 1952 a estar casi completamente definida a finales de 1953. Además, este mismo autor, indica que en la localidad tipo la Formación Tuis puede ser dividida en dos series, una inferior que consiste en 600 m de siltitas y areniscas, bien soldadas, duras, de color marrón a gris alternando con aglomerados masivos y compactos, flujos de basalto y brechas de flujo asociadas. La serie superior mide aproximadamente 700 m de siltitas, areniscas y calizas dolomíticas, de bien soldadas a laminadas, de colores variados.

Fernández (1987), propone una redefinición de la Formación Tuis, debido a que según él no hay una publicación original. Incluye en esta unidad secuencias constituidas por sedimentos rudíticos volcanoclásticos de talud proximal, con intercalaciones de sedimentación hemipelágica.

### Aspectos regionales

Subyace a la Formación Las Ánimas del Eoceno Superior, que Lloyd (1953), considera parte de la Formación Tuis cuando dice “que, con la información obtenida de las muestras sacadas en la Provincia de Limón, revisaron las edades asignadas a las formaciones. Por lo que detectaron un vacío o brecha entre las calizas de la formación de Las Animas, del Eoceno Superior, y los lechos basales de Senosri del Oligoceno medio, el cual llenaron con la Formación Tuis, incluyendo Las Animas como el miembro más bajo” (p. 7). Además, Lloyd (1953), indica que “La formación Senosri y su probable correlativa, las capas de Las Animas de la sección del río Reventazón, se reconocen como los sedimentos cenozoicos más antiguos expuestos en la Provincia de Limón. El contacto inferior de Senosri con el complejo basal está oculto en el área del río Reventazón por debris recientes del volcán Turrialba” (p. 13).

Este mismo informe indica que el límite inferior se desconoce, pero que parece ser con el “miembro La Estrella” y el contacto superior es discordante con la Formación Senosri (Lloyd, 1953).

Engelbert (1955), reconoce los Miembros Estrella, Calvery y Suruy dentro de la Formación Tuis, en el área sur de la provincia de Limón. Además, en la parte central de la provincia reconoce el Miembro Las Ánimas en la parte superior de la unidad.

Paris (1963), indica que en el río Pacuare se tiene el único espesor conocido para la Formación Tuis hasta el momento, de 1315 m, y que el contacto superior es discontinuo con la Formación Senosri. Rivier (1973), considera que en la región de Turrialba esta unidad tiene un espesor superior a los 3000 m. OEA (1978) y Sprechmann (1984), mencionan un espesor de 850 m.

Según Fernández (1987), está interestratificada con la Formación Changuinola en la parte inferior y con la Formación Senosri en la parte superior, por lo que los contactos son normales y/o transicionales. Le asigna un espesor mayor a 1000 m para la parte de la formación que aflora en la hoja Tucurrique.

### Edad

Eoceno Superior-Oligoceno Inferior, según Lloyd (1953) con base en muestras tomadas en el río Reventazón y en la quebrada Calvario. Paris (1963), menciona una muestra determinada por el Dr. Thalmann de probable edad Oligoceno medio, procedente del río Pacuare.

La fauna encontrada en el río Reventazón (Lloyd, 1953) se encuentra muy recristalizada, pero en conjunto se adjudicó al Eoceno Superior. *Discocyclina* sp. Indet., *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *chaperi*, *Asterocyclina* sp. cf. *A. georgiana*.

En la quebrada Calvario encontraron también foraminíferos del Eoceno Superior. *Lepidocyclina* (*Pliolepidina*) *pustulosa*, *Lepidocyclina* (*Lepidocyclina*) sp. Indet. *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *chaperi*, *Heterostegina ocalana*.

En el río Coen aparece *Hantkenina alabamensis* típica del Eoceno Superior y cerca una fauna de *Cibicides perlucidus*, *C. mexicana*, *Uvigerina mexicana*. En el río Estrella y en la parte media del Suruy, se encontraron las mismas formas y se dataron como Oligoceno Inferior.

Fernández (1987), le asigna una edad Paleocena a la parte baja de esta Formación, con base en dataciones de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A., corroboradas por Recope y de la compañía ELF, con muestras del río Pacuare. Además, menciona que la Formación abarca un rango temporal del Cretácico tardío (río Changuinola) al Eoceno Medio-Superior (ríos Lari y Pacuare). Señala también, la presencia de foraminíferos plantónicos, algas rojas e icnofósiles *Chondrites* isp.

### Correlación con otras unidades

Lloyd (1953), la correlaciona con la Formación Machuca en el área del río San Juan. Según Fernández (1987), se correlaciona con la Formación Aguacate y la unidad Conglomerado volcánico varicolorado (Umaña y Maseta, 1971) y con la Unidad Pacuare (Madrigal, 1985). Sprechmann et al. (1994), la correlaciona con las formaciones Descartes, Arío y Machuca en otras cuencas del país.

### Génesis

Fernández (1987), reconoce facies depositadas por flujos de detrito, corrientes de turbidez de alta densidad, depósitos de flujos de granos con predominio de material volcaniclastico y facies distales que se depositaron en ambiente hemipelágico.

Referencias:

Redfield (1923); Lloyd (1952; 1953); Roeseler (1953); Engelbert (1955); Paris (1953; 1963); Umaña y Maseta (1971); Rivier (1973); OEA (1978); Sprechmann (1984); Madrigal (1985); Fernández (1987); Sprechmann et al. (1994).

## Formación Fila de Cal

### Nombre

Mencionada por primera vez por Redfield (1923), como Calizas Las Ánimas. Lloyd (1952), la consideraba parte de la Formación Tuis. Posteriormente fue incluida en la Formación Fila de Cal por Sprechmann et al. (1993, 1994).

### Estratotipos y otros estándares de referencia

Fue originalmente ubicado por Redfield (1923) en la hacienda Las Ánimas, a unos 3,5 Km al ENE de Turrialba (83°42' W 9° 56' N). Para la Formación Fila de Cal se ubica en la parte sur occidental del país, donde presenta la mejor exposición y se pueden observar los contactos inferior y superior (Calvo, 1987).

### Descripción en la localidad tipo

Redfield (1923), menciona solamente calizas Las Ánimas y calizas Numulíticas, para una localidad al ENE de Turrialba. Hill (1898) y Hoffstetter et al. (1960) mencionan que Sjögren describe una secuencia compuesta de abajo hacia arriba por arenisca, caliza, conglomerado, caliza, conglomerado e indica que la capa de caliza inferior es más potente.

Mora (1979) para la región del Pacífico Sur describe la Unidad Cajón formada por diferentes tipos de rocas, especialmente calizas de edad Eoceno. Además, la divide en: subunidad arrecifal, compuesta por una biolitita algal, de color amarillo claro o blanco, de estratificación gruesa a maciza con gran cantidad de foraminíferos y otros fósiles; subunidad detrítica, constituida por los productos de la erosión del sistema arrecifal, depositados en ambientes de energía variable, predominando los de aguas tranquilas y profundas. Los colores varían desde pardo grisáceo hasta amarillo claro y blanco. Contiene fragmentos de algas, foraminíferos, radiolarios y algunos oolitos.

### Aspectos regionales

Lloyd (1953), indica que la caliza de la Formación Las Ánimas, con su rico contenido de orbitoides, es considerada como una facies de la caliza de la Formación Tuis, menos orgánica.

Hoffstetter et al. (1960), indica que W. Lohmann, reporta un espesor de 100 m, para la localidad de Las Ánimas. En general las rocas de esta formación presentan litofacies muy uniformes, y muy bien distribuidas a lo largo del territorio nacional (Sprechmann, 1994). Constituyen relieves positivos y en algunas partes presentan un kartsismo bien desarrollado (Ulloa et al., 2011). Mora (1979), indica un espesor máximo para cada unidad de 200 m.

### Edad

Hoffstetter et al. (1960), indican que W. Lohmann y M. Brinkmann reportan para las calizas de Las Ánimas, que los fósiles estudiados en secciones delgadas son: foraminíferos: *Lepidocyclina* cf. *panamensis* Cushman; *L. macdonaldi* Cushman; *L. subraulini* Cushman; *L. cf. perundosa* Cushman; *Discocyclina cubensis* Vaughan; *D. antillea* Vaughan; *Operculina* cf. *dauidensis* Cushman; *Nummulites párvula* Vaughan; *Textularia* sp.; *Polimorphina* sp.; *Carpenteria* sp.; *Globigerina* sp. Algas calcáreas: *Lithophillum* sp.; *Lithothamnium* sp.; *Lithoporella* sp. Charofitos parecidos a *Kosmogyrta*. Concluye que los macroforaminíferos indican una edad Eoceno Superior.

Cole (1953), enlista los siguientes foraminíferos para una caliza que el designa como “*unnamed limestone near Turrialba*”: *Operculinoides ocalanus* (Cushman); *Heterostegina ocalana* Cushman; *Lepidocyclina (Pliolepidina) macdonaldi* Cushman; *L. (Pl) pustulosa* H. Douvillé et var *tobleri* H. Douvillé; *L. (Nephrolepidina) chaperi* Lemoine y Douvillé;

*Helicolepidina spiralis* Tobler; *Asterocyclusgeorgiana* (Cushman); *A. mariannensis* (Cushman); *A. minima* (Cushman). Se trata de una fauna conocida de la Formación Gatuncillo de Panamá y de Trinidad (Eoceno Superior).

Malavassi (1961), le asigna una edad Eoceno Tardío a las calizas de la localidad El Cajón, con base en el estudio de los macroforaminíferos, aunque no especifica la fauna determinada para el sitio.

Rivier (1973), para la sección de la quebrada Grande, menciona la presencia de Orthopragminas (*Discocyclusinas*, *Asterocyclusinas*) y la presencia de una especie pelágica de *Globorotalia centralis* y *G. nana*. Además, *Hantkeninas* y le asigna una edad Eoceno Tardío.

Sprechmann (1984; 1993; 1994), menciona que esta formación es del Eoceno Medio-Superior y que generalmente presenta la diversidad más alta entre los macroforaminíferos.

### *Correlación con otras unidades*

Dóndoli y Torres (1954), la designa como “Formación calcárea de Las Ánimas” y en el mapa geológico como “Caliza Numulítica”. Hoffstetter et al. (1960), mencionan que W. Lohmann y M. Brinkmann, la correlacionan con la Formación David, Panamá y San Bartolomé, Antillas. Dengo (1962) asocia las rocas de esta formación, con la Formación Brito; menciona que en Bahía Salinas y hacia el sur, en Junquillal afloran masas lenticulares de calizas arrecifales con abundantes orbitoides. El espesor mayor es de unos 50 m.

Henningsen (1966) reconoció la Formación Brito de Nicaragua en la Fila Costeña, dentro de la cual incluyó las calizas del Eoceno, datadas informalmente por Dóndoli (1943) y cuya edad fue confirmada por Malavassi (1961). Mora (1979), describe la Unidad Cajón dentro de la Formación Brito y la divide en Subunidad arrecifal y Subunidad detrítica. Calvo (1987), menciona que el ascenso tectónico diferencial permitió el establecimiento de áreas someras, sobre las cuales se dio durante el Eoceno Medio-Superior una sedimentación carbonatada en forma de “rampa” con un talud, constituida por acumulaciones in situ y biodetríticas de macroforaminíferos y algas calcáreas, que afloran en el área de Punta Cuevas y en los cerros Altiliano y Buenos Aires (Sprechmann et al., 1993; 1994), incluye todas las unidades de calizas del Eoceno medio-superior, dentro de esta formación.

También se puede correlacionar con Parritilla, del Eoceno Superior (Calvo, 1987; Rivier y Calvo, 1988; Denyer y Arias, 1991).

### *Génesis*

Hoffstetter et al. (1960), indican que las algas calcáreas revelan una facies arrecifal y que la presencia de charofitos indica un aporte de agua dulce.

Rivier (1973), menciona que en la base la secuencia es regresiva, luego se instalan los arrecifes y posteriormente una secuencia transgresiva.

Calvo (1987) indica que esta formación incluye todos los sistemas carbonatados que tipifican plataformas y rampas carbonatadas a macroforaminíferos y algas calcáreas del tipo “*Windward dominated*”. Se desarrollaron sobre dispositivos del Eoceno, debido a un ascenso tectónico generalizado.

Además, menciona que representa la época clímax de la sedimentación carbonatada, de la región centroamericana meridional.

Linkimer y Aguilar (2000), indican que las rocas de esta formación se desarrollaron bajo condiciones ambientales estables, con aguas turbulentas, pero sin turbidez, cálidas y oxigenadas, típicas de zonas tropicales, durante un período de disminución de la actividad volcánica, por lo que las aguas fueron limpias, bien iluminadas y con salinidad normal.

Refiriéndose al sur de Costa Rica, Bolz y Calvo (2018) mencionan que hubo al menos 14 a 19 millones de años de continua sedimentación nerítica carbonatada, que terminó abruptamente con la acumulación de depósitos volcánoclasticos de plataforma y talud.

## Referencias

Redfield (1923); Lloyd (1952); Cole (1953); Dóndoli y Torres (1954); Hoffstetter et al. (1960); Malavassi (1961); Dengo (1962); Henningsen (1966); Rivier (1973); Mora (1979); Calvo (1987); Sprechmann (1984); Sprechmann et al. (1993; 1994); Linkimer y Aguilar (2000); Ulloa et al. (2011); Bolz y Calvo (2018).

## Formación Senosri

### Nombre

Se debe a Sapper (1937), “*Senosri Kalk*”, deriva aparentemente del río Sinosri, afluente derecho del río Sixaola, en territorio panameño o de los cerros del mismo nombre también en Panamá. Mac Donald (1919) utilizó incorrectamente en nombre “*Sensori agglomerate and limestone*”.

Fernández (1987), propone una redefinición indicando que está compuesta por sedimentos de talud que incluyen una alternancia de calcilitas y limolitas, con intercalaciones frecuentes de areniscas (calcarenitas depositadas por flujos de granos de material carbonatado nerítico) y pocas ruditas (principalmente gravas lodosas), interpretadas como flujos de escombros.

Estratotipos y otros estándares de referencia:

Mac Donald (1919), menciona la Provincia de Bocas del Toro en la costa Atlántica de Panamá y que se extiende a Costa Rica. Pero no especifica las áreas donde aflora.

Fernández (1987), plantea un nuevo estratotipo, debido al difícil acceso de la localidad original y a que los materiales que afloran no corresponden con la unidad. Propone los afloramientos de la quebrada Grande, aguas arriba de su desembocadura en el río Pacuare hasta la confluencia con la quebrada Gata.

### Descripción en la localidad tipo:

Según Mac Donald (1919), consiste en capas de aglomerado cementadas por material limoso. Localmente grada a calizas. La facies más limosa es de origen marino, como lo muestra la presencia de fragmentos de péctenes pobremente preservados y muchos foraminíferos *Lepidocyclina*.

Lloyd (1953), indica que la litología es muy variada, así en el sector de los ríos Chirripó y Reventazón, está formado en su parte superior por calizas organógenas, con algas, estratificadas, duras, cristalinas, pardo blancuzcas a pardo amarillentas, intercaladas con areniscas gruesas calcáreas de color pardo oscuro a gris azulado. Bajando en la sección las calizas son arcillosas y alternan con lutitas calcáreas y limolitas margosas. En el área de Limón está formada por calizas arcillosas estratificadas, gris azuladas, limolitas calcáreas y lutitas. Intercaladas en las calizas también se encuentran rocas piroclásticas bien estratificadas de colores más claros. Hacia el sur, en el sector de Banano y Bananito, está formada por calizas impuras, finamente estratificadas y limolitas y arcillitas calcáreas.

Fernández (1987), describe calcilitas, calcilimolitas y limolitas, alternando rítmicamente con intercalaciones frecuentes de areniscas. Las calcilitas poseen buena estratificación, son de color gris azulado a crema y están bioturbadas.

### Aspectos regionales:

Según Mac Donald (1919), es sobreyacida por las capas arcillosas gris oscuro, algo arenosas de Watsi y Mona. Lloyd (1952), indica que la formación Senosri y su probable correlativa, las capas de Las Animas de la sección del río Reventazón, se reconocen como los sedimentos cenozoicos más antiguos expuestos en la Provincia de Limón. El contacto inferior de Senosri con el complejo basal está oculto en el área del río Reventazón por debris recientes del volcán Turrialba.

En la parte alta del río Banano mencionan la presencia de un conglomerado que posiblemente representa las capas basales de la Formación Senosri y reportan un espesor aproximado de 1700 m en el río Barbilla. Es sobreyacida conforme por la Formación Uscari.

Fernández (1987), indica un espesor máximo de 700 m para esta formación en las quebradas Grande y Danta. Además, que el contacto inferior es de tipo normal a transicional con la Formación Tuis y el superior con la Formación Uscari es transicional gradual. Lateralmente es discontinua.

### *Edad*

Según Mac Donald (1919), es del Oligoceno Inferior y menciona la presencia de péctenes pobremente preservados y un número considerable de macroforaminíferos del género *Lepidocyclina*.

Lloyd (1952), indica que la edad varía del Oligoceno Medio al Superior. Rivier (1973), propone una edad Eoceno Superior para la sección de la quebrada Grande, con base en los foraminíferos plantónicos *Globorotalia centralis* y *G. nana* y los bentónicos *Discocyclina* sp. y *Astercyclina* sp., con la siguiente asociación: *Lepidocyclina* sp., *Heterostegina* sp. y *Amphistegina* sp.

Fernández (1987), le asigna una edad del Eoceno Medio al Oligoceno Inferior, con base en los foraminíferos plantónicos.

### *Correlación con otras unidades*

Calizas de edad equivalente están bien distribuidas en Panamá y Costa Rica, Estas calizas están generalmente caracterizadas por la presencia de Orbitoides y en algunos lugares tienen facies arenosas (Mac Donald, 1919). L. P. Mosheim estudió la región de La Estrella y concluyó que el contacto entre Tuis y Senosri era discordante (Paris, 1963). Además, en todos los casos vistos en ese trabajo, el contacto entre ambas unidades era por falla.

Según Fernández (1987), el contacto inferior con la Formación Tuis es normal transicional, el superior con la Formación Uscari es transicional gradual.

Sprechmann (1993, 1994), la correlaciona parcialmente con la Formación Caraigres de la cuenca Valle Central.

### *Génesis*

Fernández (1987), reconoce diferentes facies: alternancia de fangos biogénicos y hemipelagitas, depósitos lentos asociados a flujos de granos, flujos de detrito, depósitos de desbordamiento, y *slumps*, característicos de taludes.

Sprechmann (1984), menciona que las asociaciones de foraminíferos son características de ambientes de plataforma restringidas como abiertas y abarcan un rango paleobatimétrico entre -20 y -150 m.

### *Referencias*

Mac Donald (1919); Sapper (1937); Lloyd (1952); Rivier (1973); Sprechmann (1984); Fernández (1987); Sprechmann et al. (1993, 1994).

## **Formación Punta Pelada**

### *Nombre*

Sprechmann et al. (1993, 1994) usa este nombre para designar una secuencia de areniscas finas calcáreas, macizas, calcarenitas bioclásticas ricas en macroforaminíferos y equinodermos, con estratificación cruzada de alto ángulo.

Aguilar (1997), propone incluir los afloramientos de calizas de las localidades de Jesús María y San Martín, Turrialba en esta unidad. Bottazzi (2016), menciona las Calizas de Barbilla, que parecen ser un equivalente de esta unidad.

### *Estratotipos y otros estándares de referencia*

Baumgartner et al. (1984) la describe en Punta Pelada y la desembocadura del río Nosara.

Calvo (1987) propone como localidad tipo la punta Pelada y menciona que también aflora en punta Nosara, donde ha sido datada (Baumgartner-Mora et al., 2008).

### *Descripción en la localidad tipo*

Secuencia de 225 m de areniscas finas, color pardo, con muchos fragmentos de bivalvos; caliza arenácea clara, con abundantes foraminíferos y equinoideos; calcilitita y areniscas y lutitas calcáreas de color gris (Dengo, 1962). Baumgartner et al. (1984), la describe con el nombre informal de Punta Peladas, como una secuencia de areniscas, calcarenitas mal estratificadas, muy bioturbadas en la base y con estratificación cruzada hacia el techo. Areniscas bien lavadas, ricas en macroforaminíferos y equinoideos, con estratificación cruzada y gradación.

Aguilar (1997), describe una secuencia de calizas arrecifales, masivas y bioclásticas con ocasionales brechas calcáreas, areniscas y conglomerados, en Turrialba.

### *Aspectos regionales*

En la localidad tipo, sobreyace discordantemente a los sedimentos profundos de la Formación Arío. Presenta estratificación cruzada de alto ángulo (hasta 30°) en las calcarenitas, que contienen material bioclástico y siliciclásticos (Baumgartner et al. 1984).

Según Lloyd (1952) por encima de la Formación Senosri, en contacto gradacional, se encuentra la Formación Uscari. Dentro de Uscari menciona calizas arcillosas. Paris (1954), destaca que el miembro Dacli es notorio a causa de sus importantes cambios de facies que varían entre dos secuencias distintas. Una es una secuencia predominantemente orgánica de caliza con pocas capas esporádicas de areniscas y lutitas; la otra es una secuencia de calizas predominantemente arcillosas con interestratos de areniscas y limolitas. Además, indican que hacia el sureste, la caliza orgánica se encuentra en la secuencia pero por lo general ocurre como estratos individuales en una continuidad de caliza-arcillosa y de lutita a marga.

Ardizzone (1970) se refiere a una discordancia entre Senosri y Dacli, la cual, según ese autor, “está probada”. Menciona que en el río Barbilla el contacto entre Dacli y el Eoceno es por falla.

En general, en la cuenca de Limón, la Formación Punta Pelada sobreyace y se encuentra en contacto lateral con la Formación Senosri y es sobreyacida discontinuamente por la Formación Uscari (Aguilar, 1997). Tiene un espesor entre 20 y 40 m (Fernández, 1987).

### *Edad*

Dengo (1962) menciona que las rocas de “Punta Nosara y Punta Peladas” fueron datadas tanto por Thalmann como por Malavassi (1961), Oligoceno Superior con base en los siguientes fósiles:

Thalmann: *Amphistegina* sp., *Heterostegina* sp., *Rotalia* sp., *Operculina* sp., *Lepidocyclina* sp.

*Miogypsina cushmani-mexicana*; *Clypeaster* sp., *Schizaster* sp. y *Amphiroa* sp.

Malavassi: *Camerina dia* (Cole y Ponton), *Heterostegina antillea* Cushman, *Lepidocyclina (Eulepidina) vaughani* Cushman y *Miogypsina (Miogypsina) antillea* (Cushman).

Sprechmann et al. (1982, 1984) le asignan una edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior con base en los macroforaminíferos bentónicos Miogypsinidae. Además, por estar sobre la discordancia angular del Oligoceno Superior y bajo depósitos estuarinos y deltaicos del Mioceno. Baumgartner et al. (1984) le asignan una edad Oligoceno tardío. Baumgartner-Mora et al. (2007) determinan la siguiente fauna de foraminíferos en Nosara, la localidad tipo de esta formación:

*Heterostegina antillea* Cushman, *Miogypsina tani* Drooger, *Miogypsina gunteri* Cole, *Miogypsina (Miolepidocyclina) sp.*, *Miogypsina sp.*, *Lepidocyclina (nephrolepidina) vaughani* Cushman, *Lepidocyclina yurnagurensis* Cushman, *Lepidocyclina undosa* Cushman.

Con base en esta asociación Baumgartner-Mora et al. (2008), confirman una edad Oligoceno Superior. Además, Baumgartner-Mora (2008) señalan que el estudio de nanofósiles, foraminíferos planctónicos y los análisis de estroncio (razón  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) en punta Pelada, indican claramente una edad de Chatiano (Oligoceno Superior) para la primera ocurrencia de *Miogypsina gunteri* y *Miogypsina tani*.

La base de esta formación en la localidad de Punta Pelada muestra la presencia de icnofósiles *Gastrochaenolites* isp.

Aguilar (1997), le asigna una edad Oligoceno Superior-Mioceno Inferior con base en los foraminíferos bentónicos (*Lepidocyclina* sp.), los corales (*Antiguastra cellulosa*) y las asociaciones de moluscos.

### *Correlación con otras unidades*

En la Formación Punta Pelada se incluye gran parte de lo que antes se consideraba Dacli. Engelberts (1954, 1955), reconoce a Dacli primero como formación y posteriormente como un miembro calcáreo en la parte superior de la Formación Senosri, indicando una edad de Oligoceno medio-superior y el miembro Brai (Engelberts, 1955), de edad Oligoceno superior-Mioceno inferior en la base de Formación Uscari. En el área sur de la provincia de Limón, Uscari se dividía en los miembros Brai y Yorkín (Engelberts (1954, 1955) (Fig. 2).

Dengo (1962) incluye los afloramientos de punta Nosara y Punta Pelada en la Formación Masachapa.

Ardizzone (1970), indica que Dacli parece bien representada en todos los cauces de la región de Turrialba y río Barbilla. Sin embargo, las fuentes son inconsistentes en cuanto a incluir o no esta unidad.

Baumgartner et al. (1984) describe detalladamente la litozona informal Arenisca y calcarenita Punta Peladas. Ávila (1980) cartografió la unidad arrecifal Calcarenita con macroforaminíferos, en Punta Peladas. Sprechmann (1982, 1984), menciona la litozona informal Arrecife Punta Peladas, posteriormente propone eliminar el término Arrecife de nombre de la unidad estratigráfica. Calvo (1987), describe el Miembro Punta Pelada como parte de la Formación Carmen.

Sprechmann et al. (1993, 1994) la designan como Formación Punta Pelada, pero no presenta descripción de la unidad. Baumgartner-Mora et al. (2008) realizan una datación con métodos paleontológicos y radiométricos ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) de la localidad tipo. Andjic et al. (2016), define la Formación Juanilla, para designar unas calizas del Oligoceno Superior en el noroeste de Costa Rica.

Bottazzi (2016), menciona la Caliza Barbilla para el Oligoceno Superior-Mioceno Inferior, por lo que esta Caliza puede considerarse un equivalente temporal de la Formación Punta Pelada.

### *Génesis*

Baumgartner et al. (1984), indica que se depositó en un ambiente de energía mediana a alta en la plataforma somera, en parte como dunas submarinas. Calvo (1987) menciona que las calizas con macroforaminíferos y las arenitas carbonatadas conforman barras arenosas carbonatadas.

Baumgartner-Mora et al. (2008) mencionan que las calizas en la localidad de Nosara representan un banco carbonatado en un ambiente marino, somero y abierto. Aguilar (1997), reconoce la existencia de parches arrecifales en calizas asociadas a esta unidad en la localidad de Jesús María de Turrialba.

### *Referencias*

Lloyd (1952); Engelberts (1954, 1955); Paris (1954), Malavassi (1961); Dengo (1962); Ardizzone (1970); Ávila (1980); Sprechmann (1982, 1984); Baumgartner et al. (1984); Calvo (1987); Sprechmann et al. (1993, 1994); Aguilar (1997); Baumgartner-Mora (2007); Andjic et al. (2016); Bottazzi (2016).

## OBSERVACIONES FINALES

La evolución de las diferentes propuestas sobre la estratigrafía de la Cuenca de Limón Sur, su desarrollo y potencial petrolífero es tratada por diferentes investigadores (Fig. 2). A pesar de que se han realizado estudios geológicos desde hace más de un siglo (Gabb, 1874; Hill, 1898), las particularidades de la cuenca, como son las variaciones laterales de facies dentro de las unidades estratigráficas, las dificultades de acceso o la existencia de localidades con contenido fosilífero único, como es el caso de las calizas aflorantes en el Tajo Las Ánimas y Jesús María, muy cercanos entre sí, pero con contenidos faunísticos diversos y por tanto con edades diferentes (Lloyd, 1952; Branson, 1928), han impedido comprender con detalle la historia geológica de la región. Otro ejemplo único y extraordinario es la abundante fauna de erizos y otros organismos que aflora en el río Bonilla, tributario del río Reventazón, y un afloramiento de ostras grandes en las cercanías de Peralta (Branson, 1928), ambos únicos, pero no han permitido establecer una estratigrafía precisa para el Cretácico-Paleógeno.

Hill (1898), reconoce la existencia de una zona litoral continua de sedimentos del Paleógeno, posiblemente del Eoceno-Oligoceno, a lo largo del lado Caribe de América Tropical, que bordean una zona continental preexistente. Paris (1963) considera que los cambios rápidos de facies en las diferentes unidades estratigráficas de la cuenca de Limón Sur dificultan la interpretación. De igual manera, menciona que no existen manifestaciones superficiales de gas o aceite en el área, y que las posibilidades petroleras en las rocas paleógenas parecen estar limitadas a la Formación Senosri y otras formaciones más jóvenes, en las facies aflorantes en los ríos Chirripó y Reventazón.

En esta zona se han llevado a cabo diferentes programas de exploración petrolera, principalmente en el sector Central de Limón (entre los ríos Reventazón y Banano), por varias compañías petroleras desde mediados del siglo XX, entre ellas la Sinclair (1917-1923), Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. (1952-1963), ELF Petroleos (1960-1970) y a partir de los años 80 la Refinadora Costarricense de Petróleo (Recope), desarrolló 8 programas de cooperación con Pemex (1980-1984), Petro-Canada (1985-1991) y otras entidades (Castillo, 1993). Existen todavía áreas muy desconocidas y falta definición en los límites de algunas unidades estratigráficas. Tal es el caso de las relaciones y extensión geográfica de las formaciones Changuinola, Río Lari y Tuis, que han sido interpretadas de diferentes maneras por los diversos autores (OEA, 1978; Fernández, 1987; Sprechmann et al., 1984, 1994) (Fig. 2). Los diversos estratos o depósitos de calizas también han variado en su posición dentro de las unidades estratigráficas, como ejemplo la Formación Las Ánimas (actualmente Fila de Cal), fue originalmente incluida en la Formación Tuis (Engelbert, 1955; OEA, 1978) (Fig. 2), así como otros estratos calcáreos designados como Dacli y Brai que han variado en su interpretación, primero como formación en el caso de Dacli o como miembros de las Formaciones Senosri y Uscari respectivamente (Engelbert, 1954, 1955) y que en la interpretación estratigráfica actual, corresponden en parte con la Formación Punta Pelada.

Con base en todas las investigaciones realizadas a lo largo de 11 años de exploraciones, Paris (1963), concluye que la parte media a superior de la Formación Senosri, principalmente las calizas orgánicas fétidas y las margas foraminíferológicas, constituyen la posible fuente, mientras que el reservorio lo conforman las areniscas gruesas a finas de ambiente somero, muy abundantes en la sección. En la zona del río Victoria (Paris, 1963) y en el río Aguas Zarcas (Roeseler, 1953), reportan varios manantiales pequeños de aguas calientes, sulfurosas, saliendo de las capas superiores de la Formación Senosri. La Formación Tuis, por tener un alto porcentaje de rocas ígneas, dureza de la sección y posición estratigráfica no se puede considerar como una roca reservorio y le aplican el término “economic basement” (Paris, 1963).

Rivier (1973), señala que desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno el área que actualmente ocupa la cordillera de Talamanca consistía en una fosa oceánica con dirección SE-NW y se prolongaba hasta el margen sur del lago de Nicaragua. En esta fosa se depositó un espesor considerable de sedimentos para el Cretácico Superior -Paleógeno de más de 6000 m, en las zonas de los ríos Lari y Coen, cerca de la frontera con Panamá. Los depósitos volcano sedimentarios y de talud predominantes, pasan en el Eoceno Superior a depósitos de plataforma carbonatada, por una disminución en la actividad volcánica. Durante el Oligoceno las condiciones de sedimentación permiten la coexistencia de depósitos de “lagoon” o de ambiente semicerrado y de mar abierto. La sedimentación inicia con depositación claramente marina y conforme se sube en la secuencia, va cambiando a un ambiente marino-somero, hasta constituir arrecifes al final del periodo.

## CONCLUSIONES

A continuación, se enumeran, a manera de conclusiones, algunas particularidades, que caracterizan y resumen la síntesis realizada en este trabajo y con el fin de enfatizar la necesidad de enfocar futuras investigaciones.

- La Cuenca de Limón Sur ha tenido gran interés desde el punto de vista geológico, por su potencial en recursos energéticos, tanto petrolero como por la existencia de depósitos de carbón.
- La Formación Changuinola del Cretácico no ha sido reconocida en Costa Rica, a pesar de que la localidad tipo se encuentra muy cerca de la frontera entre Costa Rica y Panamá.
- La edad de la Formación Río Lari, así como su relación con la formaciones Changuinola y Tuis ha variado, desde el Cretácico al Eoceno, dependiendo de los diversos autores.
- La Formación Tuis ha variado en su definición y en su posición estratigráfica, así como en la subdivisión en miembros. Faltan estudios detallados que ayuden a definirla.
- La Formación Fila de Cal (llamada anteriormente Formación Las Ánimas), constituye la primera o más antigua localidad confirmada hasta el momento, con rocas de ambiente nerítico (Eoceno Superior) de la cuenca de Limón Sur.
- Los depósitos comprobados de edad Oligoceno, son abundantes en la cuenca de Limón Sur, principalmente rocas carbonatadas, algunas de ambiente somero que incluyen parches arrecifales (Formación Punta Pelada).
- El potencial petrolífero para la sección estratigráfica del Cretácico-Paleógeno, se restringe, según los estudios realizados hasta ahora, a la Formación Senosri.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución del proyecto de la Universidad de Costa Rica No. 830-B0-242. Se agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de Aristides Alfaro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andjic, G., Baumgartner-Mora, C. y Baumgartner, P. (2016). An upper Paleogene shallowing-upward sequence in the southern Sandino Forearc Basin (NW Costa Rica): response to tectonic. *Facies*, 62(9), 1-35.
- Anónimo (1960). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR19.
- Aguilar, T. (1997). *Parches arrecifales de Jesús María (Oligoceno - Mioceno Inferior): Una de las primeras comunidades del actual Caribe de Costa Rica* (Tesis de maestría inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Ardizzone, R. (1970). *Compte rendu et resultats de la misión de terrain 1969*. San José, Costa Rica: Elf Petroleos Costa Rica. Direction Exploration Division I. Manuscrito inédito.
- Astorga, A., Fernández, J. A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J. A., Aguilar, L. A. y Obando. (1991). Cuencas sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. *Revista Geológica de América Central*, 13, 25-59.
- Ávila, M. (1980). *Geología del Area de Punta Peladas y alrededores, cantón de Nicoya, provincia de Guanacaste, Costa Rica*. San José, Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Manuscrito inédito.
- Baumgartner, P. O., Mora, C., Butterlin, J., Sigal, J., Glacon, G., Azéma, J. y Bourgois, J. (1984). Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 1, 57-136.

- Baumgartner-Mora, C., Baumgartner, P. y Tschudin, P. (2008). Late Oligocene larger foraminifera from Nosara, Nicoya Península (Costa Rica) and Windward, Carriacou (Lesser Antilles), calibrated by  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  isotope stratigraphy. *Revista Geológica de América Central*, 38, 33-52.
- Bolz, A. y Calvo, C. (2018). Carbonate Platform Development in an Intraoceanic Arc Setting: Costa Rica's Largest Limestone Sequence - The Fila de Cal Formation (Middle Eocene to Lower Oligocene). *Revista Geológica de América Central*, 58, 85-114. doi:10.15517/rgac.v58i0.32845
- Bottazzi, G. (2016). *Tratado de sedimentología de la cuenca Limon Sur-Costa Rica: evolución tectono-sedimentaria, secuencia y reconstrucción paleogeográfica* (Tesis de Licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Browne, H. L. (1965). *Notes on correlations and paleogeography in Limón province, Costa Rica*. San José, Costa Rica Elf Petróleos de Costa Rica. Informe técnico GSCR 28.
- Calvo, C. (1987). *Las calizas neríticas de la vertiente pacífica del norte de Costa Rica y sur de Nicaragua, épocas y sistemas asociados con la apertura y evolución del margen convergente de la América Central meridional* (Tesis de Licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cohen, K. M., Finney, S., Gibbard, P. L. y Fan, J. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36, 199-204. Recuperado de <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01Spanish.pdf>
- Cole, W. S. (1953). Larger Foraminifera from the upper Eocene of Costa Rica. *Journal of Paleontology*, 27, 748-749.
- Dengo, G. (1962). *Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica*. San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.
- Dóndoli, C., Dengo, G., y Malavassi, E. (1968). *Mapa geológico de Costa Rica [escala 1:700000]*. San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional.
- Dóndoli, C. y Torres, C. (1954). *Estudio geagrónico de la región oriental de la Meseta Central*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura e Industria. Manuscrito inédito.
- Elf Petroleos Costa Rica. (1973). *Enterprise de recherche et d'activite petroliere*. Paris: Elf Petroleos Costa Rica. Manuscrito inédito.
- Engelberts, F. G. (1954). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR6.
- Engelberts, F. G. (1955). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR7.
- Fernández, J. A. (1987). *Geología de la hoja topográfica Tucurrique (1:50000 IGNCR., #3445)*. (Tesis de Licenciatura no publicada). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Fischer, S. y Pessagno, E. A. (1965). Upper Cretaceous strata of northwestern Panama. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, 49(4), 433-444.
- Gabb, W. M. (1875). Notes on the Geology of Costa Rica. *American Journal of Science*, 9, 198-204.

- Heggblom, J. R. (1961). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR20.
- Heggblom, J. R. (1963). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR23.
- Henningsen, D. (1966). Notes on stratigraphy and paleontology of upper Cretaceous and Tertiary sediments in southern Costa Rica. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 57, 33-47.
- Hill, T. R. (1898). The geological history of the Isthmus of Panama and portions of Costa Rica. *Bulletin of the Museum Comparative Zoology*, 28(5), 1-283.
- Hoffstetter, R., Dengo, G. y Weyl, R. (1960). Costa Rica. En R. Hoffstetter (ed.), *Lexique Stratigraphique International, Amérique Centrale* (Vol. 2(5), pp. 223-306). Paris: Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.).
- Linkimer, L. y Aguilar, T. (2000). Estratigrafía sedimentaria. En: P. Denyer y S. Kussmaul (Eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 63-86). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Lloyd, J. J. (1952). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR- 2.
- Lloyd, J. J. (1953). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR -3.
- Mac Donald, D. F. (1919). Notes on the Stratigraphy of Panama and Costa Rica. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 3, 363-366. doi:<https://doi.org/10.1306/3D932521-16B1-11D7-8645000102C1865D>
- Madrigal, C. (1985). *Estudio geológico-geotécnico de prefactibilidad del proyecto hidroeléctrico Guayabo. Turrialba, Cartago, Costa Rica* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Malavassi, E. (1961). Some Costa Rican larger foraminiferal localities. *Journal of Paleontology*, 35(3), 498-501.
- Mora, S. (1979). *Estudio geológico de una parte de la región sureste del Valle del General, provincia de Puntarenas, Costa Rica* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Naciones Unidas (1975). *Proyecto de Investigación Minera, Costa Rica*. Nueva York: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Manuscrito inédito.
- OEA. (1977). *Diagnóstico del sector minero*. San José, Costa Rica: Organización de Estados Americanos (OEA).
- Paris, P. H. (1953). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-4.
- Paris, P. H. (1954). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-5.
- Paris, P. H. (1963). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-23.

- Pizarro, D. (1993). Los pozos profundos perforados en Costa Rica: Aspectos litológicos y bioestratigráficos. *Revista Geológica de América Central*, 15, 81-85.
- Quesada, M. 2016. Toponimia indígena de Costa Rica. *Filología y Lingüística*, 32(2), 203-259.
- Redfield, A. H. (1923). The petroleum possibilities of Costa Rica. *Economic Geology*. 18(4), 354-381.
- Rivier, F. (1973). Contribución estratigráfica sobre la geología de la Cuenca de Limón, zona de Turrialba, Costa Rica. *Publicaciones Geológicas del ICAITI*, 4, 149-159.
- Roeseler, W. T. (1953). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-5.
- Roeseler, W. T. (1958). *Informe de la Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. al Gobierno de la República*. San José, Costa Rica: Compañía Petrolera de Costa Rica S.A. Informe Técnico CRGR-20.
- Salvador, A. (1994). *International Stratigraphic Guide*. Boulder-Colorado: The International Union of Geological Sciences.
- Sapper, K. (1937). *Mittelamerika: Handbuch der Regionalen Geologie*. Heidelberg, Alemania: Steiman and Wilkens.
- Seyfried, H., Astorga, G. A., Amann, H., Calvo, C., Kolb, W., Schmidt, H. y Wisemann, J. (1991). Anatomy of an evolving Island arc: tectonic and eustatic control in the south Central American fore-arc area. *Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, 12, 217-240.
- Sprechmann, P. (1982). Estratigrafía de Costa Rica (América Central), I: unidades estratigráficas sedimentarias. Presentado en el *V Congreso Latinoamericano de Geología*, Buenos Aires, Argentina.
- Sprechmann, P. (Ed.) (1984). *Manual de Geología de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Sprechmann, P., Astorga, A., Fernández, A. y Calvo, C. (junio-julio, 1993). Cuadro sinóptico de correlación estratigráfica de las cuencas sedimentarias de Costa Rica. Presentado en el *IV Congreso Geológico Nacional*, San José, Costa Rica.
- Sprechmann, P., Astorga, A., Calvo, C. y Fernández, J. A. (1994). Stratigraphic chart of the sedimentary basins of Costa Rica, Central America. *Profil*, 7, 427-433.
- Ulloa, A., Aguilar, T., Goicoechea, C. y Ramírez, R. (2011). Descripción, clasificación y aspectos geológicos de las zonas kársticas de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 45, 53-74.
- Umaña, J. E. y Maseta, G. (1962). *Informe geológico de reconocimiento al proyecto Pacuare, sitios de presa*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Electricidad. Manuscrito inédito.
- Woodring, W. P. (1957). Geology and Paleontology of Canal Zone and Adjoining Parts of Panama. *Geological Survey Professional Paper*, 306-A, 1-145.