

LA SECUENCIA DE VENADO, UN ESTUARIO LAGUNAR TROPICAL DEL MIOCENO MEDIO, SAN CARLOS, COSTA RICA.

Claudio Calvo V.

Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), Apdo. 4351, San José, Costa Rica.

Angela Bolz

Technische Universität Berlin.

ABSTRACT

The Middle Miocene sedimentary sequence of Venado represents a semienclosed estuary with an external bioclastic sand bar, open to the Caribbean Sea.

The sequence is constituted by approximately 100 m of sediments, which correspond to two depositional systems:

a) lagoon or back barrier and b) carbonate sand bar. The first system is composed of tuffites, coquinas, fossiliferous sandstones and lenticular bioclastic carbonate. The second system is constituted of bioclastic sand bar and tidal channel deposits. The biogenic sands are composed of mollusc and balanid debris.

Microfacies criteria indicate interlittoral to sublittoral environments. Diagenetic criteria point to a temporal emersion. The paleocurrents directions of the tidal channels give transport directions mainly towards the southeast. Thus, bioclastic sand barrier had a NE-SW orientation. This Atlantic-type epicontinental tropical estuary was dominated by heavy fluvial volcanoclastic input. Freshwater influence is reflected by the paleoecology of the microfauna.

RESUMEN

La secuencia sedimentaria de Venado en los afloramientos del río La Muerte y la quebrada El Túnel, representa un estuario lagunar con barra arenosa externa, del Mioceno Medio, orientado hacia el océano Atlántico.

La secuencia está constituida por 100 m acumulativos de sedimentos, los cuales representan dos sistemas deposicionales bien definidos: Sistema Depositional 1 de Laguna o Retrobarra, y Sistema Depositional 2 de Barra Arenosa Carbonatada. El sistema de Laguna está constituido por facies compuestas de alternancias de tobitas, lumachelas, areniscas fosilíferas, y lentes de carbón. El sistema carbonatado consta de facies de barra arenosa propiamente dicha y facies de canales de marea; las cuales están constituidas principalmente por detrito de moluscos, y balánidos (organismos suspensívoros de

de sustrato duro). Los criterios de microfacies atestiguan, que dicho sistema estuvo situado en el interlitoral hasta sublitoral, y su historia diagenética está vinculada con una emersión temporal.

Las direcciones de paleocorrientes en los canales de marea, indican una dirección de transporte generalizada hacia el SE. Esto hace suponer que la barra estuvo orientada con rumbo NE-SW.

Este estuario tropical del tipo "atlántico epicontinental", tuvo un considerable aporte de material volcanoclástico, y una acusada influencia fluvial que se refleja en las tendencias paleoecológicas de la microfauna.

1. INTRODUCCION

Los afloramientos de Venado se sitúan en el norte de Costa Rica, en las Llanuras de San Carlos al pie de la Cordillera de Tilarán. La mejor exposición se encuentra en el río La Muerte y la Quebrada El Túnel (Fig. 1). El buzamiento de la secuencia oscila entre 10-25°, mientras que su rumbo varía considerablemente debido a la complejidad estructural.

La sección estudiada posee un espesor acumulativo aproximado de 100 m (Fig. 2). Está constituida por dos sistemas deposicionales bien definidos: Sistema Depositional 1 de Retrobarra o Laguna, constituido por tobitas, areniscas fosilíferas y lentes de carbón; y Sistema Depositional 2 de Barra Arenosa Carbonatada, el cual consta de calizas bioclásticas con detrito de balánidos y ostras. Estos sistemas fueron depositados durante la "etapa de umbral" anterior a la formación del puente-istmo centroamericano meridional (véase SEYFRIED & SPRECHMANN, 1985: fig. 6).

La depositación de estas facies ocurrió en ambientes costeros durante el Mioceno Medio. Dichos ambientes para esta época, han sido ampliamente documentados por SEYFRIED *et al.* (1985), FISCHER (1981) y KUYPERS (1979). La edad propuesta por SEN GUPTA *et al.* (en prensa) para dicha secuencia es de Mioceno Tardío. Sin embargo, asociaciones parauctóctonas de moluscos atestiguan una edad de Mioceno Medio. La secuencia fue denominada inicialmente como Formación Venado por MALAVASSI & MADRIGAL (1970) y redefinida por OBANDO

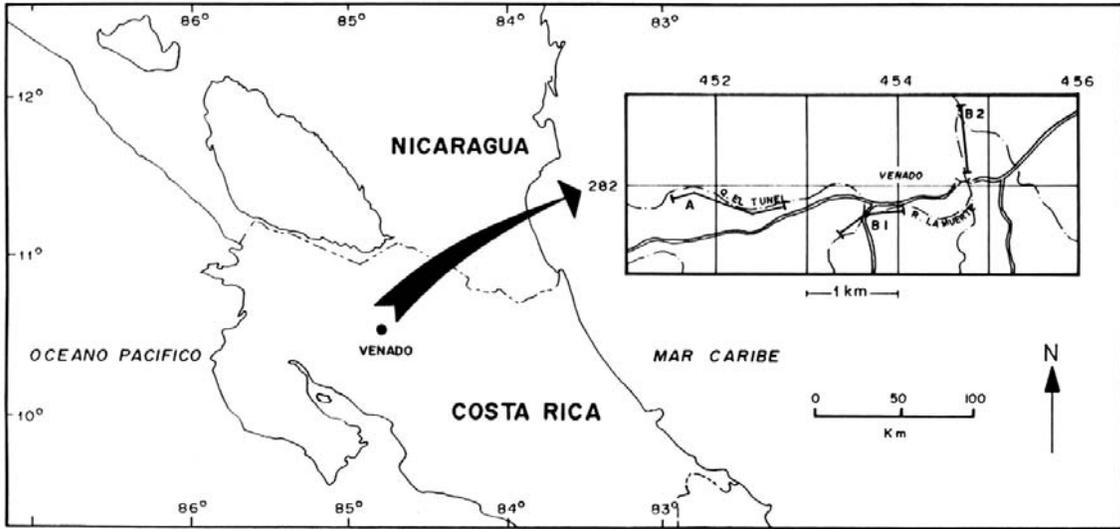


Fig.1 Ubicación de las secciones estudiadas en la secuencia de Venado. A: quebrada El Tunel, B: río La Muerte (B1: aguas arriba del puente, B2: aguas abajo)

(1986). Otros autores que se han referido a dicha serie son BRENES & SIRAK (1981) y SEN GUPTA *et al.* (en prensa).

2. ACERCA DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS ESTUARIOS LAGUNARES

La sedimentología de la secuencia de Venado se atribuye a un estuario lagunar, con una barra arenosa externa. Según RAINSON (1984), NICHOLS & BIGGS (1985), KLEIN (1985) y BOOTHROYD (1985), este tipo de estuario lagunar "atlántico epicontinental", posee una influencia fluvial en la parte interna, lo que provoca un descenso considerable de la salinidad. Mientras que en la región externa, hay un predominio mareal. La parte interna se le denomina Laguna ó Retrobarra ("lagoon" ó "back barrier") y está protegida por una Barra Arenosa ("sand bar").

El paso de la Laguna al mar abierto, es a través de uno o varios canales de marea, que en conjunto constituyen el denominado "tidal inlet". Este surco mareal atraviesa la barra arenosa en forma aproximadamente perpendicular. Las facies más gruesas se depositan dentro del surco mareal, y se indentan hacia adentro y afuera con deltas mareales ("flood and ebb-tidal delta"). Las facies finas predominan en el resto del estuario principalmente en las regiones marginales, a lo largo de las llanuras de marea ("tidal flats"). En las zonas tropicales y subtropicales, estas llanuras están cubiertas con manglares.

La barra arenosa se ubica paralela a la línea de costa; esto es debido a que se origina por las corrientes marinas que suceden paralelas a la costa. Las facies constan de areniscas con granos muy bien seleccionados, y laminación paralela; las cuales forman cuerpos elongados. Hacia el estuario se interdigitan con facies fangosas, ricas en materia orgánica; y hacia el mar abierto generalmente ocurren facies arenosas que corresponden con el área de "foreshore", las cuales a su vez se interdigitan con facies infra y circalitorales.

3. SISTEMAS DEPOSICIONALES

En la secuencia de Venado han sido reconocidos, dos sistemas deposicionales principales (Fig. 2): Sistema Deposicional 1 de Laguna ó Retrobarra, y Sistema Deposicional 2 de Barra Arenosa Carbonatada.

3.1 SISTEMA DEPOSICIONAL 1-LAGUNA ó RETROBARRA ("lagoon" ó "back barrier")

Está constituido por tres facies principales. Cabe destacar que algunas de estas facies, sobretodo la facies 2 pueden corresponder con un sistema deposicional de estuario abierto, sin embargo faltan las estructuras sedimentarias concluyentes para tal atribución.

Facies 1.

Consta de tobitas y extra-arenitas no carbonatadas de grano fino, con detrito de balánidos y moluscos. También se incluyen lumacuellas con soporte por grano ó matriz arenosa, las cuales se atribuyen a eventos tempestuosos. Estos sedimentos contienen asociaciones paraautoctonas y alotópicas de moluscos. En conjunto se correlacionan con facies del submareal lagunar ("subtidal lagoon"). En estas facies han sido encontrados los moluscos *Corbula* sp., *Anadara* sp., *Pholas* sp. y *Natica* sp.

Facies 2.

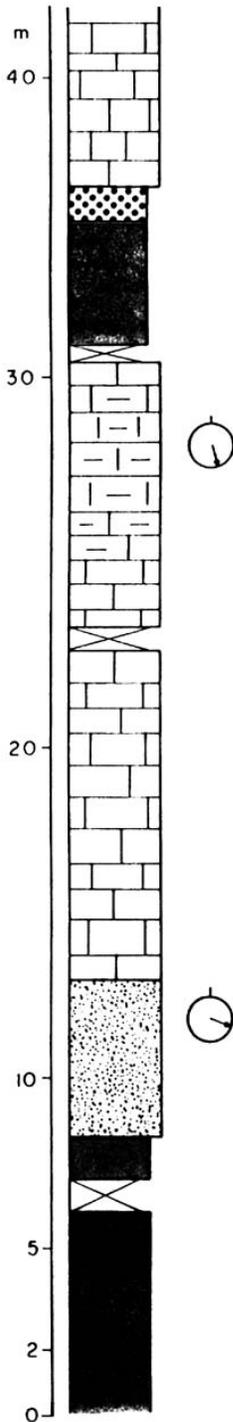
Son arenitas híbridas y extra-arenitas carbonatadas, de grano medio bien seleccionado, con laminación paralela y rizaduras de corriente. Las rizaduras tienen un ángulo de inclinación de 12°-15°, y una amplitud de 0.5 m. Atestiguan un transporte hacia el SE, alrededor de 104 de azimut. Se asocian con canales de marea secundarios.

Facies 3.

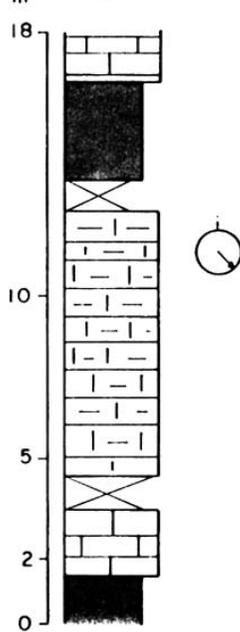
Constituida de tobitas de grano fino y lutitas con asociaciones isotópicas de moluscos y trazas de *Thalassinoides*. También se in-

B. Río La Muerte

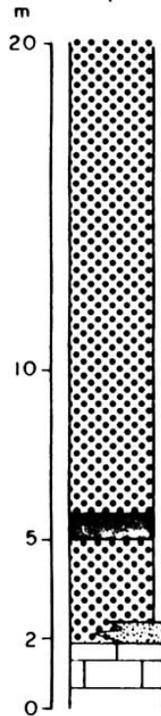
A. Quebrada El Tunal



B1. Aguas arriba del puente



B2. Aguas abajo del puente



SISTEMA DEPOSICIONAL 1-LAGUNA ó RETROBARRA

-  Facies 1. Alternancias de tobitas y extra-arenitas no carbonatadas con detrito vegetal; y lumaquelas de moluscos y balanidos.
-  Facies 2. Arenitas híbridas y extra-arenitas carbonatadas, con laminación paralela y rizaduras de corriente.
-  Facies 3. Tobitas de grano fino y lutitas con detrito vegetal; y lentes de carbón.

SISTEMA DEPOSICIONAL 2-BARRA ARENOSA CARBONATADA

-  Facies 4. "grainstone" bioclásticos con "foresets" de amplitud métrica; su inclinación es de 10-15° con una dirección de transporte hacia el SE.
-  Facies 5. "grainstone" y "packstone" bioclásticos con laminación paralela y granos bien seleccionados.

Simbología

-  laguna de observación sin el espesor real.
-  dirección de paleocorriente.

Fig.2 La secuencia de Venado, con la distribución de los sistemas deposicionales y sus principales tipos de facies.

cluyen lentes de carbón con espesores centimétricos que se desaparecen lateralmente. Se correlacionan con llanuras fangosas ("mud flats") y manglares.

3.2 SISTEMA DEPOSICIONAL 2-BARRA CARBONATADA ("carbonate sand bar")

Corresponde con un sistema carbonatado constituido por detrito de balánidos y ostras (organismos suspensívoros de sustrato duro). Está compuesto por dos facies principales: facies 4 de canales de marea y facies 5 de barra arenosa propiamente dicha. La caracterización y subdivisión de facies en este sistema, se realizó a partir del análisis de microfacies.

Facies 4. Canales de Marea ("tidal channels")

Consiste de "grainstones" bioclásticas con acusados foresets; son estructuras con amplitudes métricas de 0.5-1.5 m, y su inclinación oscila entre 10° a 15°. Atestiguan una dirección de transporte hacia el SE, los valores azimutales son alrededor de 144° y 132°.

Facies 5. Barra Arenosa ("sand bar")

Está constituida por "grainstone" y "packstone" bioclásticos, que conforman junto con la facies 4 un cuerpo calizo de 50 m de espesor. El cual aflora únicamente en las inmediaciones de la localidad de Venado y luego desaparece, interdigitándose a su vez con las facies del sistema deposicional 1. Los criterios de microfacies indican que esta barra arenosa externa, estuvo situada en el interlitoral hasta sublitoral marino, en aguas limpias y bien oxigenadas. Asociados a esta facies se encuentran los moluscos *Chlamys* (*Aequipecten*) *pluninaminis*, *Ostrea* sp., *Ostrea* (*Lopha*) sp., *Pecten* sp. *Ostrea titan* y *Turritella* sp. Esta fauna corrobora en parte el ambiente de sedimentación propuesto.

4. ANALISIS DE MICROFACIES DEL SISTEMA CARBONATADO

El análisis de microfacies, fue realizado a 30 muestras procedentes de las facies carbonatadas del río La Muerte y la quebrada El Túnel. En general estos sedimentos están constituidos por detri

to de balánidos y moluscos.

4.1 TIPOS DE GRANOS

Los granos carbonatados son fragmentos esqueléticos de balánidos y de ostras (organismos suspensívoros de sustrato duro). En menor proporción, hay fragmentos de equinoideos y algunos macroforaminíferos con formas esféricas. Los bioclastos de balánidos exhiben preservación original de la concha, generalmente están perforados y en algunos casos micritizados. Los fragmentos de moluscos son principalmente bioclastos de ostras, con bordes totalmente micritizados ("*cortoids*") y tienen una preservación neomórfica. Los índices de esfericidad y redondez de estos bioclastos están expresados en la Fig. 3. El diámetro promedio oscila entre 0.2 y 0.5 mm, sin embargo, hay granos que sobrepasan los 3 cm.

Los pellets son escasos y ocurren únicamente en las microfácies que tienen matriz fangosa. Los litoclastos en su totalidad corresponden con *granos no carbonatados* (granos NCE), según la clasificación de ZUFFA (1985). Están representados por clastos de rocas volcánicas andesíticas y cristales angulares de plagioclasa, así como fragmentos de vidrio volcánico. Aunque ocurren con mucha frecuencia, no sobrepasan el 2% del total de granos en cada microfácies.

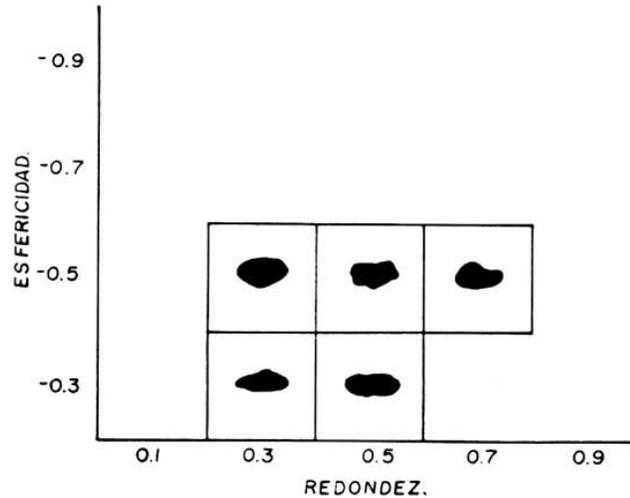


Fig.3 Diagrama de KRUMBEIN & SLOSS (1963), para la redondez y esfericidad de los granos dominantes del sistema carbonatado. Considerados los granos cuyo diámetro es menor a 5 mm.

4.2 CEMENTOS CARBONATADOS: TIPOS Y ESTRATIGRAFIA DE CEMENTOS

Los cementos se precipitaron en porosidades del tipo interparticular y móldica, y en menor grado del tipo sombrilla e intraparticular. Entre los cementos temprano-diagenético destaca el C1, se precipitó directamente sobre las superficies de los bioclastos, en los fragmentos de ostras fue directamente sobre las superficies micritizadas. Forma anillos de cementos isopacos y precursores aragónicos "rim isopachous cement" que residen en parte de la porosidad interparticular. Tienen hábitos cristalinos aciculares y fibrosos de 65 a 80 u de longitud, dispuestos perpendicularmente a las superficies de los bioclastos.

El cemento C2 syntaxial, se desarrolló en los bioclastos de equinoideos, como una expansión del monocristal que en algunos casos excede el 0.5 mm de su diámetro original. El cemento C3 isopaco móldico presenta las mismas características que el cemento C1, con la diferencia que su precipitación estuvo precedida de la disolución de las partes metaestables de las conchas de los moluscos.

El carácter sinsedimentario de estos cementos, está atestigüado por la presencia del lodo carbonatado, que se depositó sobre ellos ocupando parte de la porosidad residual interparticular y en algunos casos la móldica.

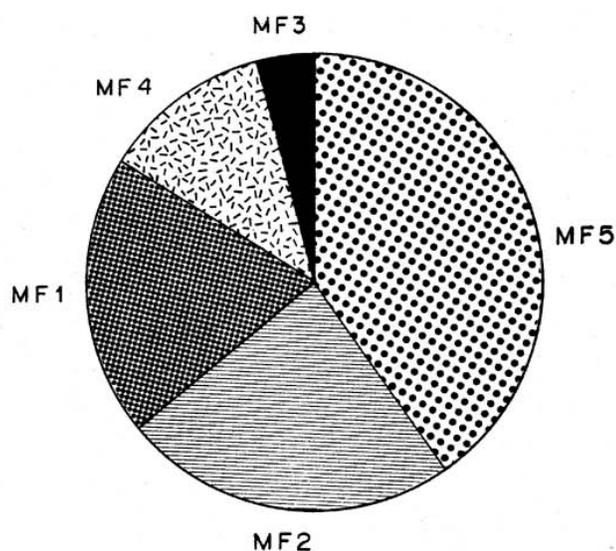
El cemento C4 es de tipo granular "granular cement", ocupó la porosidad residual interparticular y móldica. Consta de cristales xenomórficos con alto relieve y un diámetro promedio que sobrepasa los 30 u.

La sucesión de cementos coincide con su denominación, siendo el C1 el más temprano y el C4 el más tardío relativamente. Según PURSER (1973), HARRIS *et al.* (1985) y KOCH & SCHORR (1986) los cementos C1 y C3 móldico son de origen marino; mientras que el C2 y el C4 son atribuídos a un origen freático de agua dulce, producidos durante una emersión temporal del sistema carbonatado. Esto es corroborado además por la presencia de limo cristalino vadoso "cristal vadoso silt", y una dolomitización tardi-diagenética incipiente.

El limo cristalino vadoso es producto de la erosión interna de los cementos marinos. Consta de detrito cristalino cuyo diámetro promedio es de 60 a 100 u, el cual se infiltró en la porosidad interparticular y móldica principalmente. Cabe destacar que el cemento C4 también ha sido erosionado, y llegó a formar detrito cristalino de 100 a 250 u de diámetro. En algunos casos este cemento es parauctóctono debido a que los cristales constituyentes han sido parcialmente desplazados, pudiéndose aún reconstruir su engranaje original.

4.3 TIPOS DE MICROFACIES

Fueron determinados cinco tipos de microfacies con base en criterios deposicionales y diagenéticos (Fig. 5). Estas microfacies se correlacionan con los tipos microfaciales generalizados "standart microfacies types" SMF 11 y 12, que corresponden con la zona de facies FZ-6 según WILSON (1975) y FLÜGEL (1982). La ocurrencia relativa de cada tipo de microfacies está expresada en la Fig. 4.



TIPOS DE MICROFACIES

MF1 Packstone con granos bien seleccionados, rico en matriz infiltrada.
 MF2 Grainstone con granos bien seleccionados.
 MF3 Packstone bien lavado con empaquetamiento denso.
 MF4 Packstone pobre a moderadamente lavado, rico en limo cristalino vadoso.
 MF5 Packstone con granos mal seleccionados y matriz biodegradativa.

Fig.4 Frecuencia para los distintos tipos de microfacies del Sistema Depositional 2-Barra Arenosa.

FACIES 1 (MF1): Packstone con granos bien seleccionados, rico en matriz infiltrada.

Consta de granos esqueléticos, de balánidos y moluscos, bien seleccionados y empaquetados. Su diámetro promedio oscila de 2 a 3 mm. En la porosidad interparticular se infiltró una matriz micrítica, la cual penetró después de la precipitación de los anillos de cementos tipo C1. La porosidad móldica fue rellena con cementos C3 móldicos y C4, en menor proporción con la mencionada matriz. La cual se infiltró posterior a la precipitación del cemento C1 y la apertura de la porosidad móldica. Relativamente contemporánea con la precipitación del cemento C3 móldico.

FACIES 2 (MF2): Grainstone con granos bien seleccionados.

Esta facies se caracteriza por la ausencia casi total de matriz debido a un fuerte lavado diferencial. Consta de granos esqueletales de balánidos y moluscos, los cuales tienen una buena selección y un empaquetamiento moderado con contactos puntuales y planos. Su diámetro promedio es menor a 0.2 mm. Toda la porosidad interparticular y sombrilla, está rellena con cementos tipo C1 y C4. La porosidad móldica en los granos de moluscos fue ocupada con cementos C3 y C4.

FACIES 3 (MF3): Packstone bien lavado, con empaquetamiento denso.

Esta facies consta de granos esqueletales de moluscos principalmente y algunos balánidos. Los granos están bien seleccionados, su diámetro promedio es de 0.2 mm. Se caracteriza por una alta porosidad tipo móldica, que se debe a la disolución del material metaestable, constituyente de las conchas de los moluscos; y también al empaquetamiento denso que redujo en gran parte la porosidad interparticular.

Ambas porosidades fueron rellenas parcialmente con limo cristalino vadoso. El cual se depositó a partir de la erosión de los cementos tempranos C1, y que a su vez fue contemporáneo con la precipitación del cemento C3 móldico. Cabe destacar que parte de la porosidad interparticular, posee matriz primaria biopelmicrítica que no fue desplazada durante el lavado diferencial.

FACIES 4 (MF4): Packstone pobre a moderadamente lavado, rico en limo cristalino vadoso.

Esta facies posee el mayor contenido de lodo carbonatado. La conversión de este lodo en micrita permitió, que durante la disolución de las conchas aragoníticas se preservara la porosidad móldica. Los granos esqueletales, están soportados por dicho lodo, son moderadamente seleccionados y su diámetro promedio es de 0.2 a 0.3 mm.

Se caracteriza por tener un limo cristalino vadoso muy grueso (granos de 100 a 250 u), que rellena parcialmente la porosidad tipo fractura y hueco, y en menor proporción la porosidad móldica. Este

limo vadoso es producto de la erosión interna de los cementos granulares C4; contiene además fragmentos micríticos arrancados del sustrato sobre el cual se precipitaron los cementos C4. Dicho sustrato estuvo constituido por micrita o superficies micritizadas de los bioclastos de ostras. Es menester destacar que algunos cementos C4 son parautoctonos, ya que constituyen cristales individuales que han sido un poco rotados, pudiéndose reconstruir aún su engranaje original.

FACIES 5 (MF5): Packstone con granos mal seleccionados y matriz biodetrítica.

Está constituida exclusivamente por detrito de balánidos mal seleccionado. Posee dos modos granulométricos bien definidos: los fragmentos de balánidos cuyo diámetro oscila entre 0.4 y 0.6 mm ; y la matriz, que está compuesta también por detrito de balánidos cuyo diámetro promedio es de 125 a 200 u. En esta matriz hay inversiones texturales, causadas por la ocurrencia de granos angulares de plagioclasa y vidrio volcánico, procedentes de efusiones piroclásticas, las cuales están ampliamente documentadas en las facies silicoclásticas.

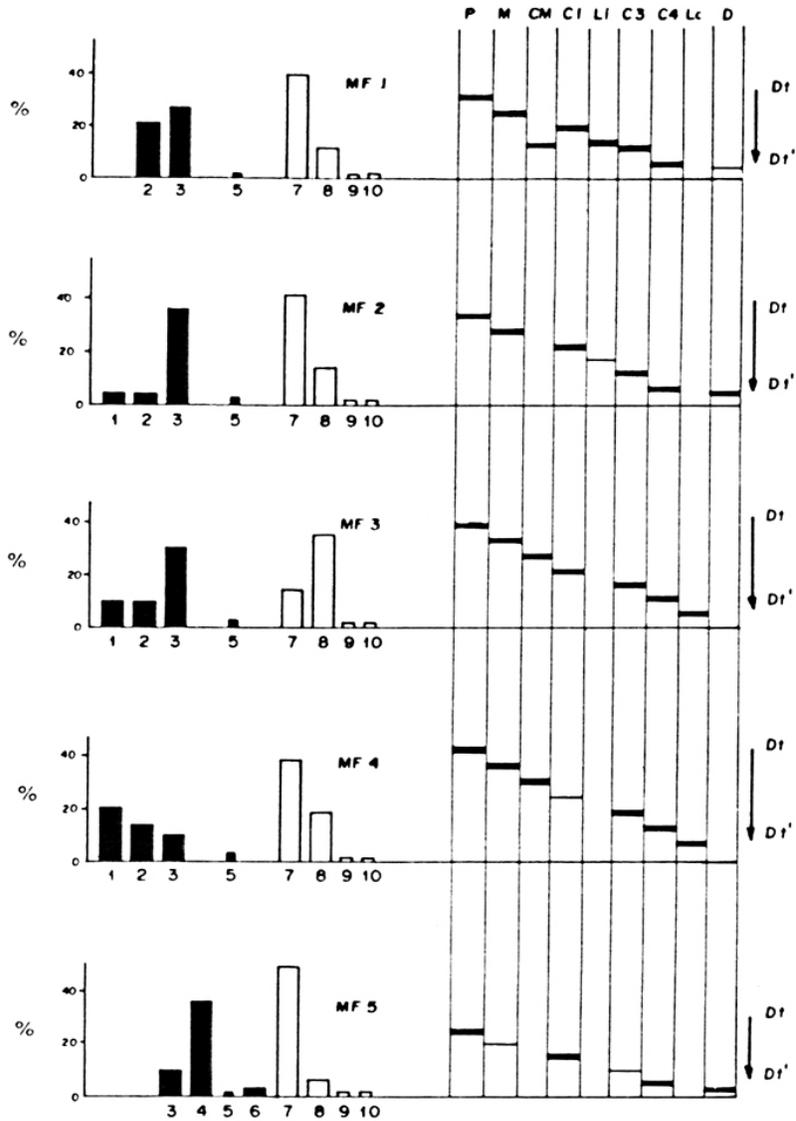
4.4 HISTORIA DIAGENETICA

Han sido reconstruidos alrededor de doce pasos o eventos diagenéticos sucesivos que conforman la historia diagenética del sistema carbonatado. Esta historia corresponde a una diagénesis normal marina, y a una diagénesis vadosa producida durante una emersión temporal de dicho sistema. La Fig. 5 muestra la sucesión normal de los eventos para cada tipo de microfacies. La evolución diagenética integral del sistema, consta de los siguientes eventos:

1. Perforación de los bioclastos: consiste en la perforación externa de las superficies de los bioclastos, por organismos microperforadores; afecta principalmente a los bioclastos de balánidos que tienen una preservación original de la concha.

2. Bioturbación: fue desarrollada por organismos endobentónicos que generaron trazas de la ichnofacies *Glossifungites*, las cuales tienen dimensiones centimétricas. Como respuesta a esta actividad se desarrollaron concreciones tempranodiagénéticas.
3. Micritización: afecta a los bioclastos de moluscos. Este evento diagénético es uno de los más relevantes, debido a que permitió junto con la precipitación del cemento C1, la preservación de la porosidad móldica después de haberse disuelto las conchas inestables. Se encuentra ampliamente documentado en las microfacies MF: 3, 2 y 1.
4. Lavado diferencial del lodo carbonatado: consiste en la remoción parcial o total del lodo carbonatado, para dar origen a las texturas "packstone" y "grainstone".
5. Precipitación del cemento C1: se precipitó sobre las superficies de los bioclastos, rellenando parte de la porosidad interparticular e intraparticular. En los bioclastos de moluscos se precipitó sobre la superficie micritizada directamente.
6. Infiltración posterior de lodo carbonatado: éste se infiltró en la porosidad interparticular y en menor grado en la móldica. Este evento fue relativamente posterior a la precipitación del cemento C1 y a la apertura de la porosidad móldica. Se puede decir que fue contemporáneo con la precipitación del cemento C3 móldico. Es característico de la microfacies MF3.
7. Precipitación del cemento C3 móldico: se precipitó en la porosidad móldica de los fragmentos de moluscos, sobre el armazón micritizado. Consecuentemente está subordinado a la presencia de ese tipo de bioclastos. Es característico de las microfacies MF: 3, 2 y 1.

SECUENCIA DE EVENTOS
DIAGENETICOS.



- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. matriz micrítica | P. perforación de los bioclastos |
| 2. matriz infiltrada | M. micritización de los bioclastos |
| 3. cementos indiferenciados | CM. conversión del lodo en micrita |
| 4. matriz biodetrítica | C1. cemento anular isopaco |
| 5. litoclastos volcánicos | Li. lodo infiltrado |
| 6. feldespato y cuarzo | C3. cemento isopaco móldico |
| 7. balanidos | C4. cemento granular |
| 8. moluscos indiferenciados | Lc. limo cristalino vadoso |
| 9. equinoideos | D. dolomitización tardi-diagenética |
| 10. foraminíferos bentónicos, rotalínidos | |
- ocurrencia normal
 — ocurrencia casual
- Dt. diagénesis temprana
 Dt'. diagénesis tardía

Fig.5 Frecuencia y naturaleza de los componentes, e historia diagénica para cada tipo de microfacies, Sistema Depositional 2-Barra Arenosa.

8. Compactación diferencial: pese a que no es un evento muy importante, se determinó en la microfacies MF3. Específicamente en algunos bioclastos fracturados de moluscos con preservación neomórfica, que se encuentran densamente empaquetados.
9. Precipitación del cemento C4: es el cemento más tardi-diagenético, se precipitó en la porosidad residual de tipo móldica e interparticular.
10. Estilolitización: este fenómeno afectó a casi todas las unidades carbonatadas. En los tramos no bioturbados se desarrollaron estructuras de disolución de tipo estiloestratificación "stylodded" según FLÜGEL (1982). Los planos de estilolitización son paralelos entre sí y están separados equidimensionalmente; lo cual se explica por la alta homogeneidad del depósito.

En los horizontes bioturbados los estilolitos se desarrollaron alrededor de las concreciones temprano-diagenéticas, llegando a formar estructuras tipo estilonodulares "stylonodular" según FLÜGEL (1982).

EVENTOS DIAGENÉTICOS TARDIOS QUE ELUCIDAN UNA EMERSIÓN TEMPORAL DEL SISTEMA CARBONATADO.

Anteriormente se han descrito dos eventos diagenéticos que atestiguan una influencia de agua dulce en el sistema y son: el cemento granular C4 y el sintaxial C2. Sin embargo la presencia de limos cristalinos vadosos, y una dolomitización incipiente tardi-diagenética, corroboran en forma ineludible la emersión temporal de dicho sistema.

11. Erosión interna de los cementos y generación del limo cristalino vadoso: consiste en la erosión interna de los cementos temprano-diagenéticos, para dar origen al limo cristalino que rellenó la porosidad tipo fractura, interparticular y móldica. Está constituido por detrito cristalino grueso

y fragmentos micríticos arrancados del sustrato, sobre el cual se precipitaron inicialmente los cementos. Este evento, está ampliamente documentado en las microfacies MF: 4 y 3.

12. Dolomitización tardi-diagenética: fue determinada en la microfacies MF: 2, 5 y 1. Son cristales con hábitos xenomórficos e hipidiomórficos, con diámetros mayores a 150 u. Esta dolomitización es muy selectiva, los cristales ocurren en la porosidad interparticular y móldica neomórfica de los fragmentos de moluscos. Algunas muestras tienen la micrita parcialmente dolomitizada.

5. EL AMBIENTE DE SEDIMENTACION DEL SISTEMA DEPOSICIONAL 2 CARBONATADO, SEGUN LOS CRITERIOS DE MICROFACIES

El sistema deposicional 2, corresponde a una barra arenosa con canales de marea, ubicada en el interlitoral hasta el sublitoral marino carbonatado, la cual sufrió una emersión temporal. El detrito bioclástico que constituyó la barra, provenía de un sustrato duro colonizado por ostras y balánidos. Las condiciones ambientales que allí prevalecieron fueron: aguas limpias y bien oxigenadas, y profundidades por encima del nivel base de las olas de buen tiempo. Los criterios de microfacies que atestiguan este ambiente son:

- a. detrito biogénico de moluscos y balánidos
- b. granos bien seleccionados
- c. granos con bordes totalmente micritizados ("cortoids")
- d. granos con microperforaciones
- e. texturas "packstone" y "grainstone" debidas a un lavado parcial o total del lodo carbonatado
- f. cementos temprano-diagenéticos C1 y C3, relleno de las porosidades interparticulares y móldicas
- g. infiltración posterior de lodos carbonatados en la porosidad interparticular
- h. presencia de cemento granular C4
- i. limo cristalino vadoso relleno de la porosidad interparticular, móldica y hueco
- j. dolomitización incipiente tardi-diagenética

Las microfacies obtenidas a partir de estos criterios corresponden con los tipos microfaciales generalizados ("standart microfacies types") SMF: 11 y 12, que delimitan la zona de facies FZ-6 según WILSON (1975) y FLÜGEL (1982); lo cual corrobora el ambiente deposicional propuesto.

6. ASPECTOS PALEONTOLOGICOS CON BASE EN FORAMINIFEROS BENTONICOS

Es necesario destacar que los análisis micropaleontológicos, de los sedimentos finos revelan una esterilidad en foraminíferos planctónicos; y una clara dominancia de foraminíferos bentónicos en particular de los géneros *Elphidium* sp. y *Ammonia* sp.. En algunas muestras, éstos dos géneros alcanzan entre el 80 y 100% del total de la fauna presente. Esta clara dominancia de foraminíferos bentónicos, fue descrita inicialmente por SEN GUPTA *et al.* (en prensa). Este hecho lo atribuye a la presencia de bajas salinidades, y se apoya en varios ejemplos actuales en el mar Atlántico norteamericano, en el cual se dan dichas tendencias paleoecológicas como respuesta a descensos en la salinidad de las aguas. Estas asociaciones de foraminíferos atestiguan paleobatimetrías menores a 50 m.

7. ASPECTOS SECUENCIALES Y GEOMETRICOS

La secuencia deposicional de Venado, consta de 100 m de espesor acumulativos aproximadamente, que están distribuidos en varios afloramientos del río La Muerte y la quebrada El Túnel (véase Fig. 2). En general la secuencia consta de dos sistemas deposicionales: un sistema carbonatado, y otro silicoclástico.

El sistema carbonatado, se atribuye a un sistema de barra arenosa externa con canales de marea. Dicha barra tiene un espesor de 50 m, es un cuerpo con una forma elongada; aflora en las inmediaciones del pueblo de Venado y luego desaparece lateralmente.

El sistema silicoclástico, es el más predominante y ha sido atribuido a un sistema de laguna o retrobarra. Cabe destacar que

algunas de sus facies pueden corresponder con un estuario abierto, sin embargo faltan las estructuras sedimentarias concluyentes.

La sección B1 del río La Muerte (véase Fig. 2) atestigua una progradación relativa de la barra arenosa sobre el sistema de laguna o retrobarra; mientras que en la sección B2 se observa una progradación del sistema de laguna, sobre la barra arenosa. Esta segunda progradación parece haber sido definitiva, con lo cual se deduce un desplazamiento del sistema estuarino hacia el mar. Dicho desplazamiento puede haber sido por uno o varios de los siguientes factores:

- a. cambio en el régimen hidrodinámico costero
- b. la sedimentación no compensó la tasa de subsidencia
- c. un ascenso del nivel del mar o hundimiento tectónico

Considerando los pocos datos disponibles, que presentan los afloramientos de Venado, sobretodo el sistema deposicional 1 de laguna; se puede reconstruir tentativamente el siguiente marco paleogeográfico:

1. Establecimiento de una laguna semi-cerrada que está separada del mar por una barra arenosa. Esta barra es atravesada por canales de marea; orientada hacia el océano Atlántico, con direcciones predominantes SE-NW, de lo cual se deduce un rumbo NE-SW de la barra.
2. Conversión de la laguna semi-cerrada en un estuario abierto.
3. Colmatación del estuario y levantamiento definitivo.

8. CONCLUSIONES

La secuencia de Venado en los afloramientos del río La Muerte y la quebrada El Túnel, representa un estuario lagunar con barra arenosa externa del Mioceno Medio, orientado hacia el Océano Atlántico (Fig. 6). Este estuario tuvo un considerable aporte de material volcánico-clástico, además estuvo sometido a una marcada influencia fluvial que se refleja, en las tendencias paleoecológicas de

la microfauna.

Dicha secuencia está constituida por dos sistemas deposicionales, bien definidos: Sistema Depositional 1 de Laguna o Retrobarra, constituido por tobitas, areniscas fosilíferas y lentes de carbón; y el Sistema Depositional 2 de Barra Arenosa Carbonatada, el cual consta de calizas bioclásticas con detrito de balánidos y moluscos.

La determinación de facies en el sistema 2, se realizó a partir del análisis de microfacies. Estas se correlacionan, con los tipos microfaciales generalizados ("standart microfacies types") SMF: 11 y 12, de la zona de facies FZ-6 según WILSON (1975) y FLÜGEL (1982). Los criterios de microfacies atestiguan un sistema bioclástico carbonatado ubicado en el interlitoral y sublitoral marino, el cual sufrió una emersión temporal.

Las direcciones de paleocorrientes en los canales de marea, indican una dirección de transporte generalizada hacia el SE. Esto permite inferir que la barra estuvo orientada con rumbo NE-SW.

En la base de la secuencia se nota una progradación de la barra arenosa, sobre el sistema de laguna, lo cual documenta una transgresión relativa. Hacia el techo de la secuencia, se evidencia una progradación del sistema lagunar sobre el carbonatado. Esta segunda progradación fue definitiva, con lo cual se deduce un desplazamiento del sistema estuarino hacia el mar; seguido de una colmatación de dicho estuario y un levantamiento definitivo.

Durante el Mioceno Medio, la sedimentación carbonatada ocurre solo localmente y es de carácter efímero, ya que está controlada por sistemas estuarinos fuertemente dominados, por el aporte terrígeno silicoclástico. Los sistemas carbonatados se desarrollaron por medio de corrientes paralelas a la costa, que distribuyeron el material silicoclástico procedente del continente; lo cual permitió en escasos sitios el desarrollo de sustratos duros con pequeños biotomas de ostras y balánidos. En áreas de mínimo aporte, o redistribución del material terrígeno se podrían formar barras arenosas y

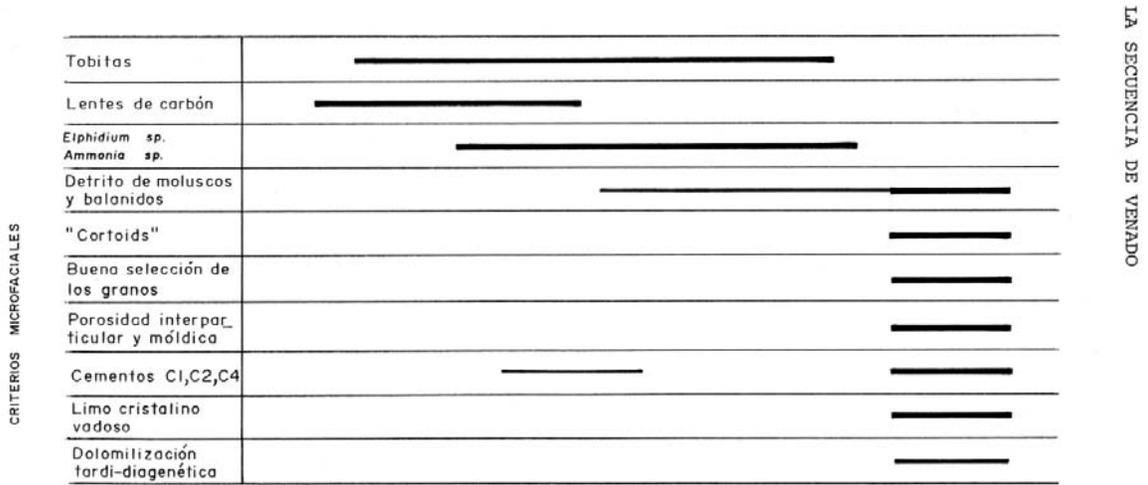
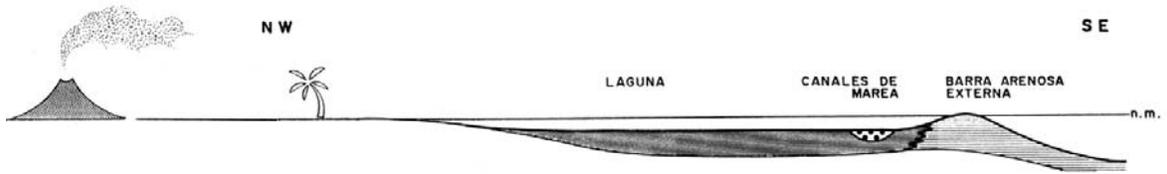


Fig.6 Modelo de sedimentación de estuario lagunar, propuesto para la parte inferior de la secuencia de Venado.

rellenos de canales de marea, constituidos con el detrito procedente de la erosión de los biostromas.

9. AGRADECIMIENTOS

Esta publicación representa un resultado parcial, de las investigaciones efectuadas en el marco del convenio RECOPE-U.C.R., en un programa de colaboración recíproca germano-costarricense. Agradecemos a estas entidades patrocinadoras. Por parte de Recope a los geólogos Guillermo Barboza, Francisco Rojas, Javier Díaz y Geert Jagger por su apoyo e interés en la realización de las investigaciones. Asimismo a Diana Pizarro quién realizó parte de los estudios micropaleontológicos.

De la Universidad de Costa Rica, destacamos nuestro agradecimiento a los Drs. Hartmut Seyfried y Peter Sprechmann quienes impulsaron la realización del convenio, además por su constante asesoramiento y corrección del manuscrito. De igual forma agradecemos a la Lic. Teresita Aguilar por la determinación específica de los moluscos, y a las Brs. Ma. Benita Sánchez y Julieta Báez por los estudios micropaleontológicos.

10. BIBLIOGRAFIA

- BOOTHROYD, J.C., 1985. Tidal inlets and tidal deltas.- En: Davis, Jr., R.A. (Ed.): Coastal sedimentary environments, 2nd. ed.: 445-532; Springer Verlag, New York.
- BRENES, M. & SIRAK, M., 1981. Proyecto de Investigación de Esquistos Bituminosos y Carbón a Nivel Nacional, Primer Inf. de Avance.- Depart. de Geología, Minas y Petrol., Ministerio de Energía.- 57 p. San José, Costa Rica.
- FISCHER, R., 1981. El desarrollo paleogeográfico del Mioceno de Costa Rica.- An. II. Congr. Latino-Americano Paleont., Porto Alegre, 2: 565-579; Porto Alegre.
- FLÜGEL, E., 1982. Microfacies Analysis of Limestone. 633p.; Springer Verlag, Berlin.

- HARRIS, P.M., KENDALL, C.G. & LERCHE, I., 1985. Carbonate Cementation - A Brief Review.- En: SCHNEIDERMAN, N. & HARRIS P.M. (Eds.): Carbonate Cementation, Soc. of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication, 36:79-95.
- KOCH, R. & SCHORR, M., 1986: Diagenesis of Upper Jurassic Sponge-Algal Reefs in SW Germany.- En: SCHROEDER, J.R. & PURSER, B.H. (Eds.): Reef Diagenesis, Springer Verlag, 224-244, Berlin.
- KLEIN, G. de V., 1985. Intertidal flats and intertidal sand bodies.- En: DAVIS, Jr., R.A. (Ed.): Coastal sedimentary environments, 2nd. ed.: 187-224; Springer Verlag, New York.
- KRUMBEIN, W.D. & SLOSS, L.L., 1963: Stratigraphy and Sedimentation.- 2nd. ed., 663p. Freeman, San Francisco, London.
- KUÿPERS, E.P., 1979. Análisis sedimentológico de la Formación Punta Carballo (Mioceno), Costa Rica. - Inf. Semest. Inst. Geogr. Nac., 1980, 2: 77-85; San José, Costa Rica.
- MALAVASSI, E. & MADRIGAL, R., 1970. Reconocimiento geológico de la zona norte de Costa Rica. - Inf. Técnico y Notas Geol., Escuela Centroamericana de Geología, 38: 1-18; San José, Costa Rica.
- NICHOLS, M.M. & BIGGS, R.B., 1985. Estuaries. - En: DAVIS, Jr. R.A. (Ed.): Coastal sedimentary environments, 2nd. ed.: 77-186; Springer Verlag, New York.
- OBANDO, L.G., 1986. Estratigrafía de la Formación Venado y rocas sobreyacentes (Mioceno-Reciente) Provincia de Alajuela, Costa Rica. - Rev. Geol. Amer. Central, 5: 73-104. San José.
- PURSER, B.H., 1973. Aspect de la diagenése carbonatée précore et ses rapports avec le milieu sédimentaires actuels et anciens, Sciences de la Terre, 18: 299-313. París.
- REINSON, G.E., 1984. Barrier-Island and Associate Strand-Plain Systems.- En: WALKER, R.G. (Ed.): Facies Models, 120-141; Publ. Geol. Assoc. Canadá, Toronto.
- SEN GUPTA, B.K., MALAVASSI, L.R., MALAVASSI, E., (en prensa). A late Miocene Shore in Northern Costa Rica: Foraminiferal Record 13 p. (mscr.).
- SEYFRIED, H. & SPRECHMANN, P., 1985. Acerca de la formación del puente-istmo Centroamericano meridional, con énfasis en el desarrollo acaecido desde el Campaniense al Eoceno. - Rev. Geol. Amer. Central, 2: 63-87; San José.

- SEYFRIED, H., SPRECHMANN, P. & AGUILAR, T., 1985. Sedimentología y paleoecología de un estuario del litoral Pacífico del Istmo Centroamericano primordial (Mioceno Medio, Costa Rica). - Rev. Geol. Amer. Central. 3: 1-68; San José.
- WILSON, J.L., 1975. Carbonate Facies in Geological History. - 471 p.; Springer Verlag, New York.
- ZUFFA, G.G., 1985. Optical analysis of arenites: Influence of Methodology on Compositional Results. - En: ZUFFA, G.G. (Ed.): Provenance of Arenites, 165-189, Dordrech, Holland.