

Aplicación del análisis secuencial en los carbonatos del Cretácico de la Cuenca de Maracaibo.

Bruno Murat ¹ e Izaskun Azpirtxaga ²

¹ 5 West Hill Close, Elstead, Surrey GU8 6D2, Inglaterra.

² Gerencia de Producción, Maraven Oficina Principal, Caracas, Venezuela.

Resumen

El estudio del análisis secuencial del Barremiense tardío al Cenomaniense temprano del Grupo Cogollo de la Cuenca de Maracaibo, fue llevado a cabo usando la descripción sedimentológica de núcleos y registros.

Tres ciclos de segundo orden que representan diferentes estados de evolución de la plataforma del Grupo Cogollo fueron identificados.

- El ciclo I (Barremiense tardío al Aptiense temprano) representa la unidad transgresiva del ciclo, limitada en la base por las areniscas de la Formación Rio Negro y en el tope por las lutitas del Miembro Machiques-Guáimaras. Está conformado en Perijá por dos secuencias de tercer orden que se acúñan hacia la parte central del lago.

- El Ciclo II (Aptiense temprano-Albiense) es un ciclo completo regresivo-transgresivo, limitado por dos eventos de máxima inundación, el Miembro Machiques-Guáimaras en la base y al tope por la lutita orgánica de la base de la Formación Lisure. Está conformado por seis secuencias de tercer orden.

- El ciclo III (Albiense-Cenomaniense temprano) es también un ciclo completo de segundo orden limitado por las lutitas orgánicas de la Formación Lisure y en su tope por las margas orgánicas de la parte inferior de la Formación La Luna. Este ciclo lo constituyen ocho secuencias de tercer orden.

Estos ciclos representan tres diferentes tipos de plataforma de carbonatos variando de una rampa a una plataforma carbonática-siliciclástica, pasando por una plataforma bordeada. La evolución de esta plataforma estuvo influenciada por el Arco de Mérida, ubicado al sur-este de la cuenca.

El marco del análisis secuencial permitió identificar que los yacimientos del Grupo Cogollo están mejor desarrollados en la base de los sistemas transgresivos (TST) y los topes de los sistemas de alto nivel (HST), que conforman las secuencias de tercer orden.

Abstract

The sequence stratigraphic framework of the late Barremian to the early Cenomanian of the Cogollo Group was carried out in detail on cores and well logs.

Three second order cycles representing various stages of the evolution of the Cogollo Platform have been identified.

- Cycle I (late Barremian- early Aptian) is a time transgressive unit, bounded at the base by the Rio Negro Formation and the top by the Machiques-Guáimaras Member. At the Perijá range it is composed of two third order sequences that pinch out toward the lake.

- Cycle II (early Aptian-Albian) is a complete second-order cycle limited by two drowning events: the Machiques-Guáimaras Member at the base and the basal organic shale of Lisure Formation at the top. It is made up of six depositional third order sequences.

- Cycle III (Albian- early Cenomanian) is another complete second order cycle made up of eight third order sequences limited by the Lisure organic shale at the base and the basal part of La Luna Formation at the top.

These cycles represent three different carbonate settings from a carbonate ramp evolved to a rimmed shelf and finally, into clastic and carbonate build-ups. This evolution was influenced by the Mérida Arch located to the south-east of the basin.

This sequence stratigraphic framework reveals that carbonate reservoirs of the Cogollo Group are best developed at the base of the transgressive system tracts (TST) and the top of the highstand systems tracts (HST) of the third order sequences.

Introducción

La aplicación de la metodología del análisis secuencial del Cretácico Temprano en la Cuenca de Maracaibo permitió :

- Predecir la ubicación y la extensión de la megasecuencia. Además de establecer las relaciones entre los yacimientos, las discontinuidades, los sistemas encadenados y sus etapas genéticas.
- Utilizar una nueva herramienta de correlación y de predicción de facies en las regiones de Perijá, Costa Occidental y Centro Lago.
- Establecer el tipo de plataforma carbonática de cada una de las megasecuencias del Cretácico Temprano.

La sección estudiada comprende el Grupo Cogollo y base de la Formación La Luna (Barremiense tardío al Cenomaniense temprano) en las áreas de lago y tierra de la Cuenca del Lago de Maracaibo (Fig.1). Las columnas estratigráficas del Cretácico Temprano muestran algunas variaciones de nomenclatura y cambios litológicos del oeste al este en términos de unidades litoestratigráficas y tipos de facies sedimentarias, como lo ilustra la figura 2. Las diferencias principales de nomenclatura se concentran en la Formación Apón: el Miembro Machiques (Perijá) es conocido como Miembro Guáimaras en el centro del lago. Los cambios litológicos son más comunes en la Formación Lisure, con la ocurrencia de intervalos más siliciclásticos hacia el lago. También, hacia el sur de la cuenca, la base de la Formación La Luna pasa lateralmente a la Formación Capacho, de litología más calcárea.

En este trabajo, se muestra la metodología, alcance y aplicación de esta disciplina en los yacimientos cretácicos de la parte occidental de Venezuela (Fig. 1), basado en el análisis secuencial detallado de núcleos y registros (sedimentología y bioestratigrafía).

Terminología de Análisis Secuencial

Definición de Ciclos de Segundo Orden y Etapas Genéticas

Los ciclos de segundo orden resultan de cambios globales del nivel del mar que duran entre 3 y 50 millones de años, los cuales son consecuencia de cambios en la tasa de subsidencia tectónica y/o cambios en la tasa del tectonostatismo global (Vail et al. 1977; Jacquin et al. 1991). La respuesta estratigráfica correspondiente a estos cambios son ciclos completos regresivo-

vo-transgresivos (Fig. 3), los cuales se encuentran limitados por picos de máxima inundación.

En 1992, Jacquin et al. introdujeron el término de "secuencias depositacionales" dentro de un ciclo completo regresivo-transgresivo para definir varias etapas de sedimentación en relación con la respuesta morfológica de los cuerpos sedimentarios. Para evitar confusiones con la terminología ya existente de "secuencias depositacionales" utilizada por Vail et al. (1977), y Van Wagoner et al. (1990), y correspondiente a los sedimentos depositados durante un ciclo de descensos y ascensos relativos del nivel del mar (ciclo de tercer orden), preferimos utilizar en este trabajo el término de etapas genéticas.

Estas etapas genéticas son cuatro y se caracterizan por su patrón estratigráfico y asociación de litofacies (Fig. 4), y son la respuesta a la relación: tasa de producción de carbonatos versus variaciones del nivel del mar. En la fase regresiva son: etapas de relleno y progradación, y en la etapa transgresiva, agradación y retrogradación.

1.- Etapa de relleno ("infilling"): Se desarrolla durante la etapa temprana de la regresión sobre una plataforma inundada, por lo cual los carbonatos tienden a crecer rápidamente para alcanzar la posición del nivel del mar ("catch up").

2.- Etapa de progradación ("forestepping"): Se desarrolla durante la etapa tardía de la regresión, sobre una plataforma reducida por la etapa de relleno, tendiendo los carbonatos a progradar hacia la cuenca. Se desarrollan principalmente abanicos submarinos, mientras que hacia la plataforma, aparecen secuencias muy delgadas ó ausentes, debido a la falta de espacio disponible en la misma.

3.- Etapa de agradación ("aggrading"): Tiene lugar en la primera fase de la transgresión. Los carbonatos crecen al mismo ritmo de la subida lenta del nivel del mar.

4.- Etapa de retrogradación ("backstepping"): Se desarrolla en la última fase de la transgresión. Durante esta fase, la generación de carbonatos no es suficiente para rellenar el espacio disponible y las secuencias retrogradan en dirección del continente.

Definición de Secuencias de Tercer Orden y Sistemas Encadenados ("Systems Tracts")

Las secuencias de tercer orden reflejan cambios relativos del nivel del mar a corto plazo (entre 0,5 y 5 Ma), que conforman los ciclos de segundo orden regresivo- transgresivo (Fig. 3).

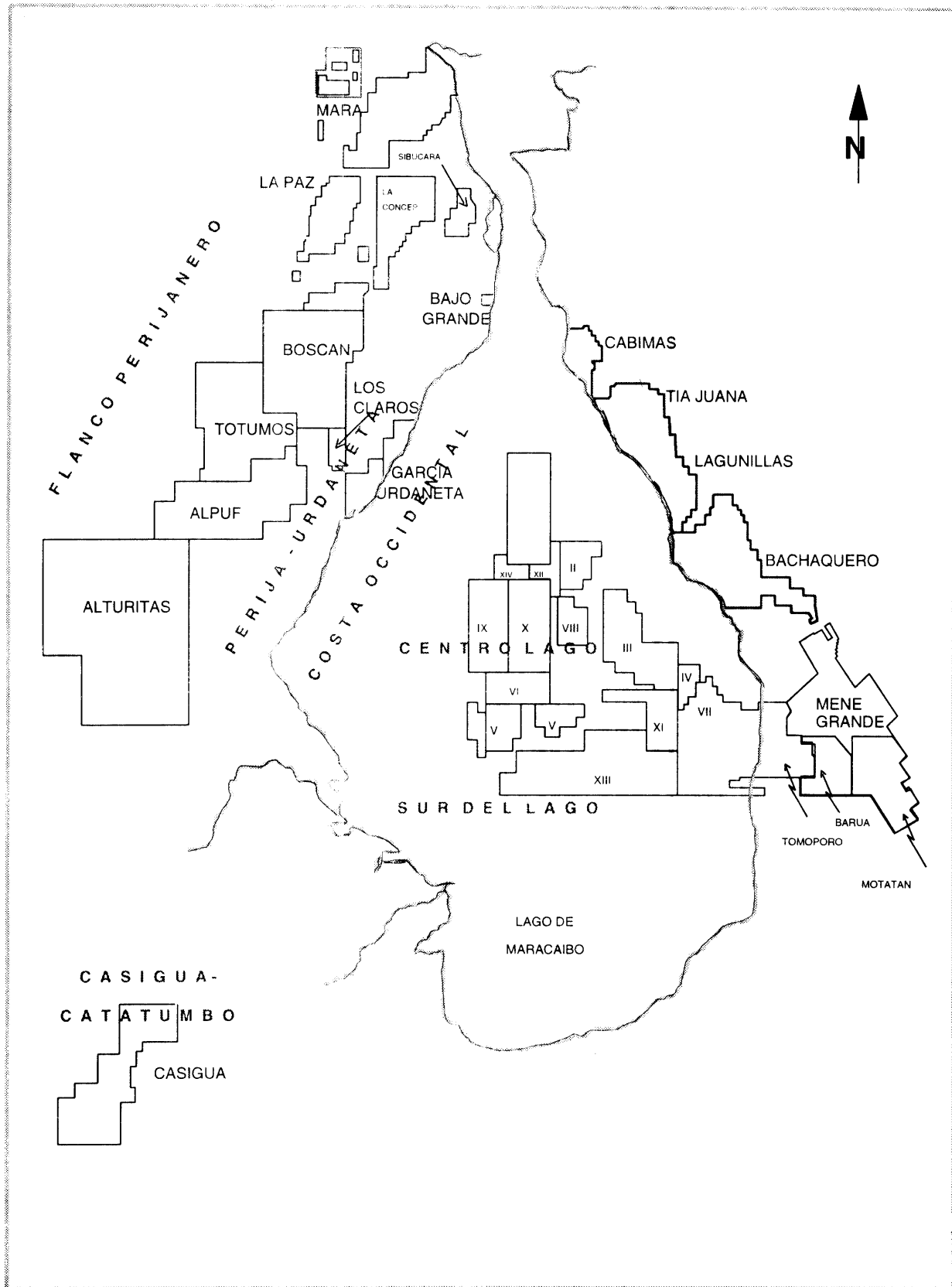


Figura 1
Mapa de ubicación de las áreas de estudio

PERIJA

LAGO

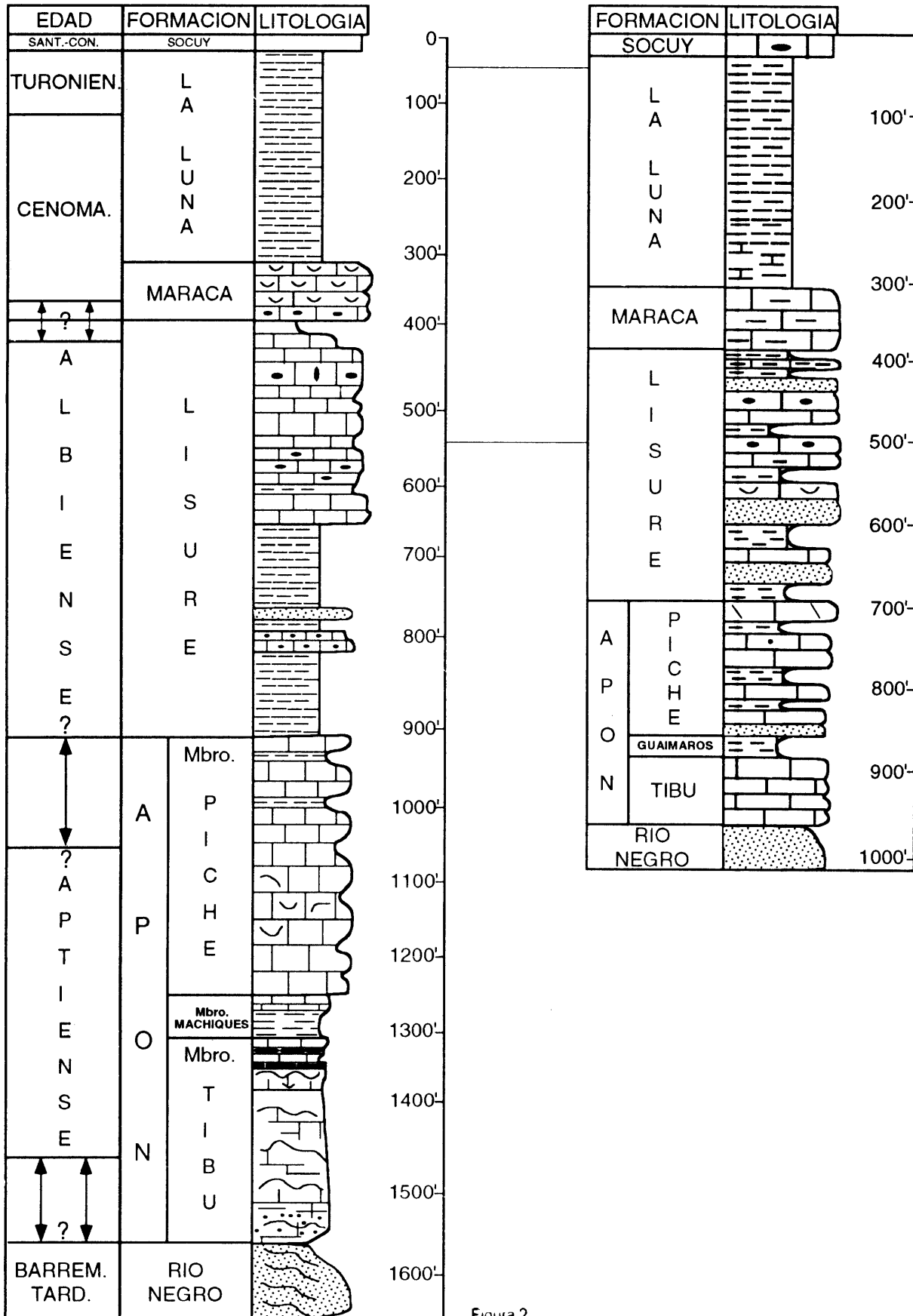


Figura 2

Columna generalizada del Cretácico Temprano en Perijá y en el Lago de Maracaibo

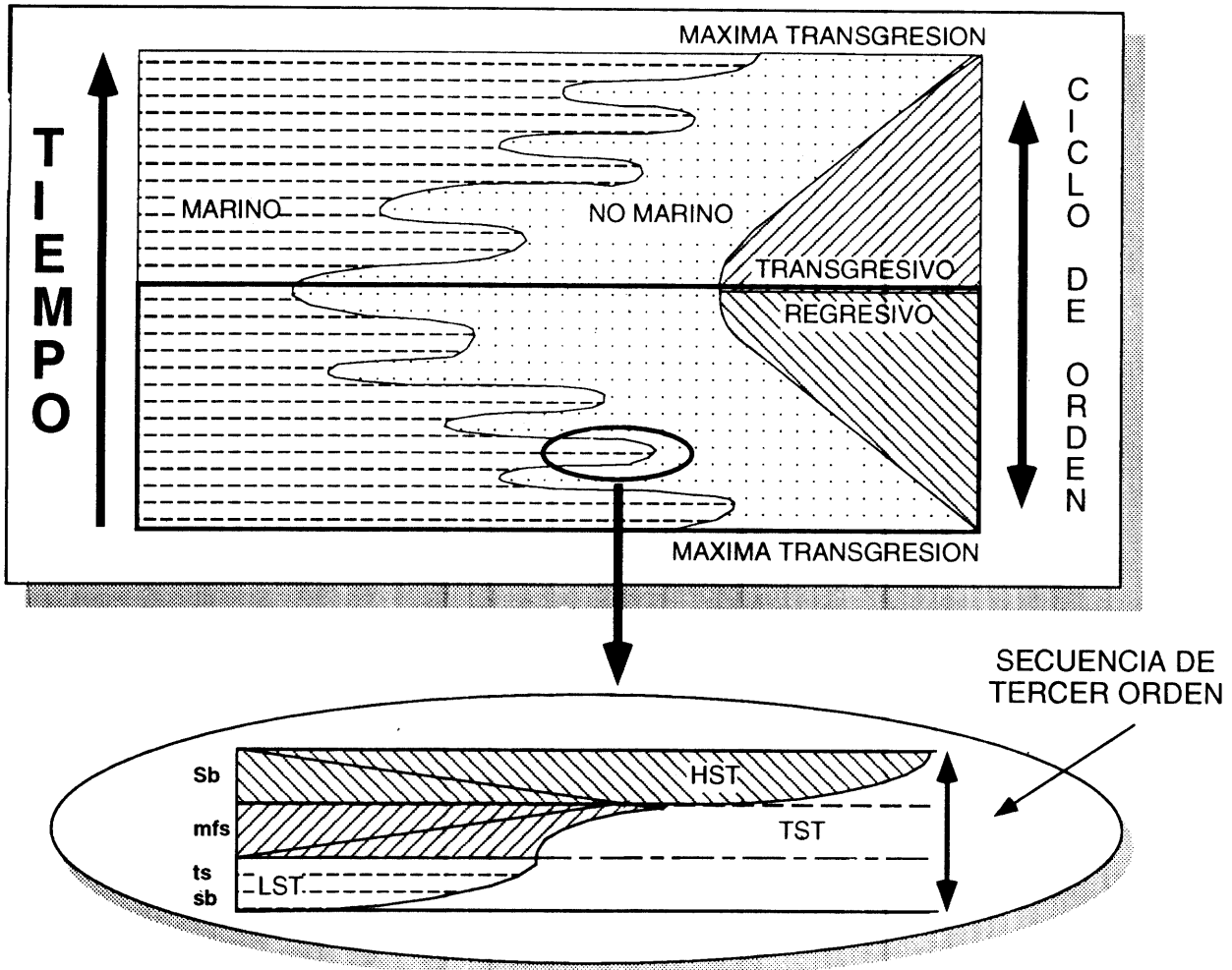


Figura 3
Identificación de cambios relativos del nivel del mar de segundo y tercer orden (Jacquin et al. 1991)

Las secuencias son inducidas por fluctuaciones eustáticas del nivel mar. Estas secuencias están caracterizadas por su geometría y la asociación sucesiva de los sistemas de depositación, conocidos como sistemas encadenados ("systems tract").

Las secuencias son la unidad fundamental de la estratigrafía secuencial, están limitadas por discordancias y su conformidades correlativas (Van Wagoner et al. 1988).

Los sistemas encadenados ("systems tract") (Van Wagoner et al. 1988) son:

- Sistemas encadenados de bajo nivel ("Lowstand Systems Tract"). El nivel del mar cae por debajo del borde de la plataforma. Está caracterizado por un patrón progradante, e incluye tres unidades: "basin floor, slope fan and lowstand wedge".
- Sistemas encadenados transgresivos ("Transgressive Systems Tract"), caracterizados por un patrón retrogradacional, son depositados durante un rápido ascenso del nivel del mar.
- Sistemas encadenados de alto nivel ("Highstand

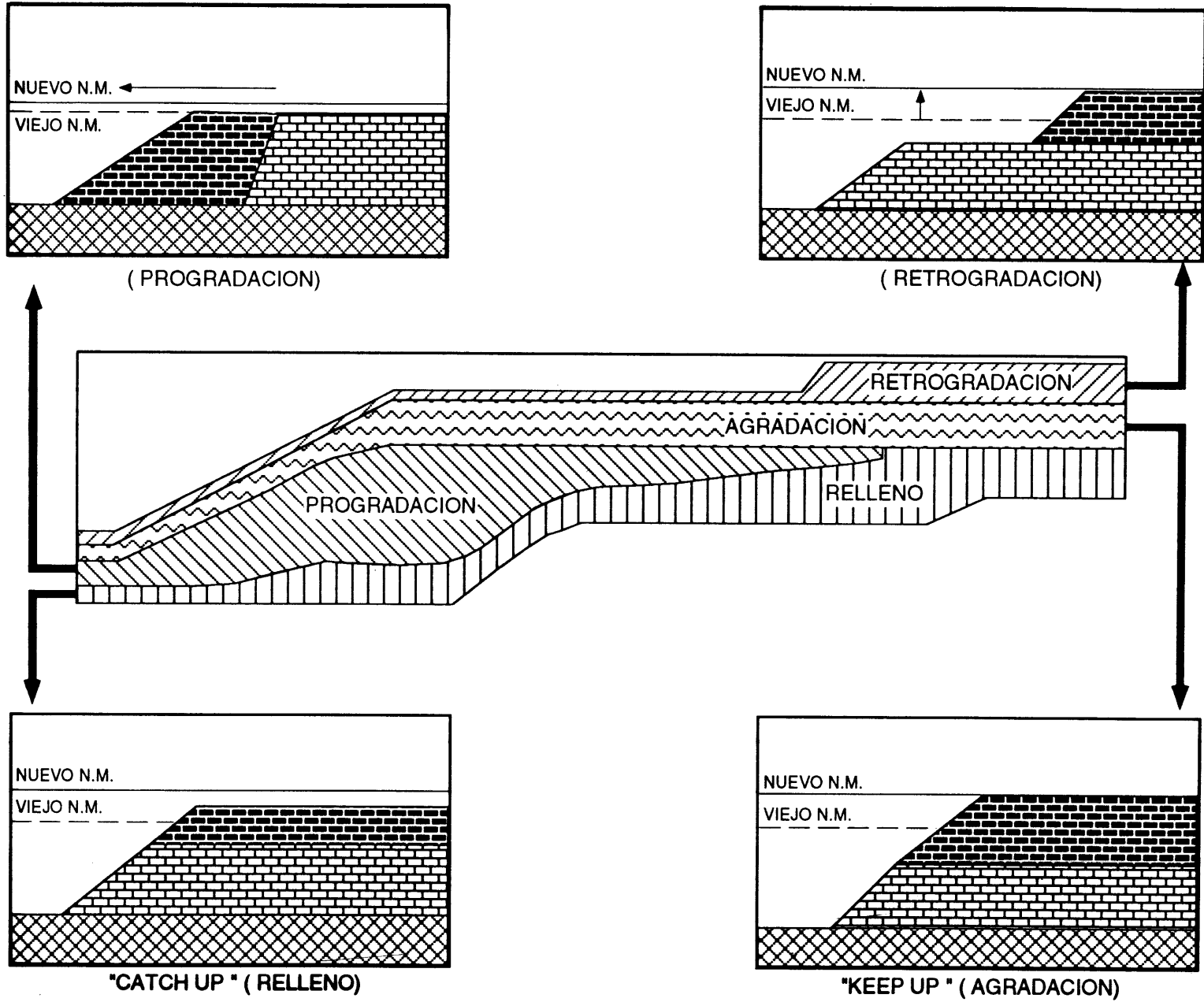


Figura 4
Etapas genéticas

Systems Tract"), caracterizados por un patrón agradante a progradante, son depositados durante la última parte del ascenso del nivel del mar, un período estable del nivel del mar y cuando comienza el descenso del nivel del mar.

Los ciclos regresivo-transgresivos están compuestos de varias etapas : relleno y progradación para la parte regresiva, y agradación y retrogradación para la parte transgresiva. Cada etapa puede contener una o varias secuencias de tercer orden, dependiendo de la posición en la plataforma o en la cuenca. Cada secuencia de tercer orden contiene varios sistemas encadenados.

La culminación de cada ciclo (2do orden) es el pico de máxima inundación, en el tope del último sistema transgresivo. Varias secuencias pueden unirse en una sección condensada, debido a la escasez de sedimentos ("sediment starvation"). Esta sección condensada constituye a su vez el pico de transgresión máxima que limita los ciclos de segundo orden.

En contraposición a los límites de los ciclos, las secuencias (3er orden) están limitadas por discontinuidades ("sequence boundaries"), que corresponden a los descensos relativos del nivel del mar.

Identificación de secuencias y sus límites

Los ciclos de segundo orden están limitados por picos de máxima inundación ("maximum flooding surface") ó MFS. Este nuevo concepto, elaborado por Jacquin et al. (1992) y aplicado en la Cuenca de Maracaibo, se utiliza más que todo en los ambientes carbonáticos, por la facilidad de identificar las superficies de máxima inundación. Estas son reconocidas por la discontinuidad en el crecimiento de la plataforma (debajo del hundimiento), y el cambio radical en los ambientes sedimentarios y la fauna.

En registros, los MFS (los ciclos de segundo orden y las secuencias de tercer orden) se reconocen clásicamente por picos de baja resistividad, y picos más altos de radioactividad (Gamma-Ray) y de Densidad Neutron (Fig. 5). En los núcleos, se reconocen por la presencia de minerales autigénicos tales como: glauconita, minerales fosfatizados y dolomita y niveles ricos en materia orgánica.

Las secuencias de tercer orden están limitadas por los descensos del nivel del mar, que se traducen en discontinuidades ("sequence boundaries"), ó SB. En los núcleos, la SB se

manifiesta por la presencia de superficies endurecidas ("hard- grounds"), con perforaciones de organismos y madrigueras, cementos calcíticos meteóricos, desarrollo de evaporitas, brechas .

En registros estas se reconocen por una respuesta baja de las curvas de Gamma-Ray, Neutrón y Densidad, y una respuesta alta de Resistividad. Sin embargo, observamos en muchos casos que estas discordancias pueden también tener una respuesta de Gamma-Ray opuesta, debido a la presencia de elementos radioactivos concentrados en superficies endurecidas ("hard-grounds").

Metodología

Análisis de núcleos

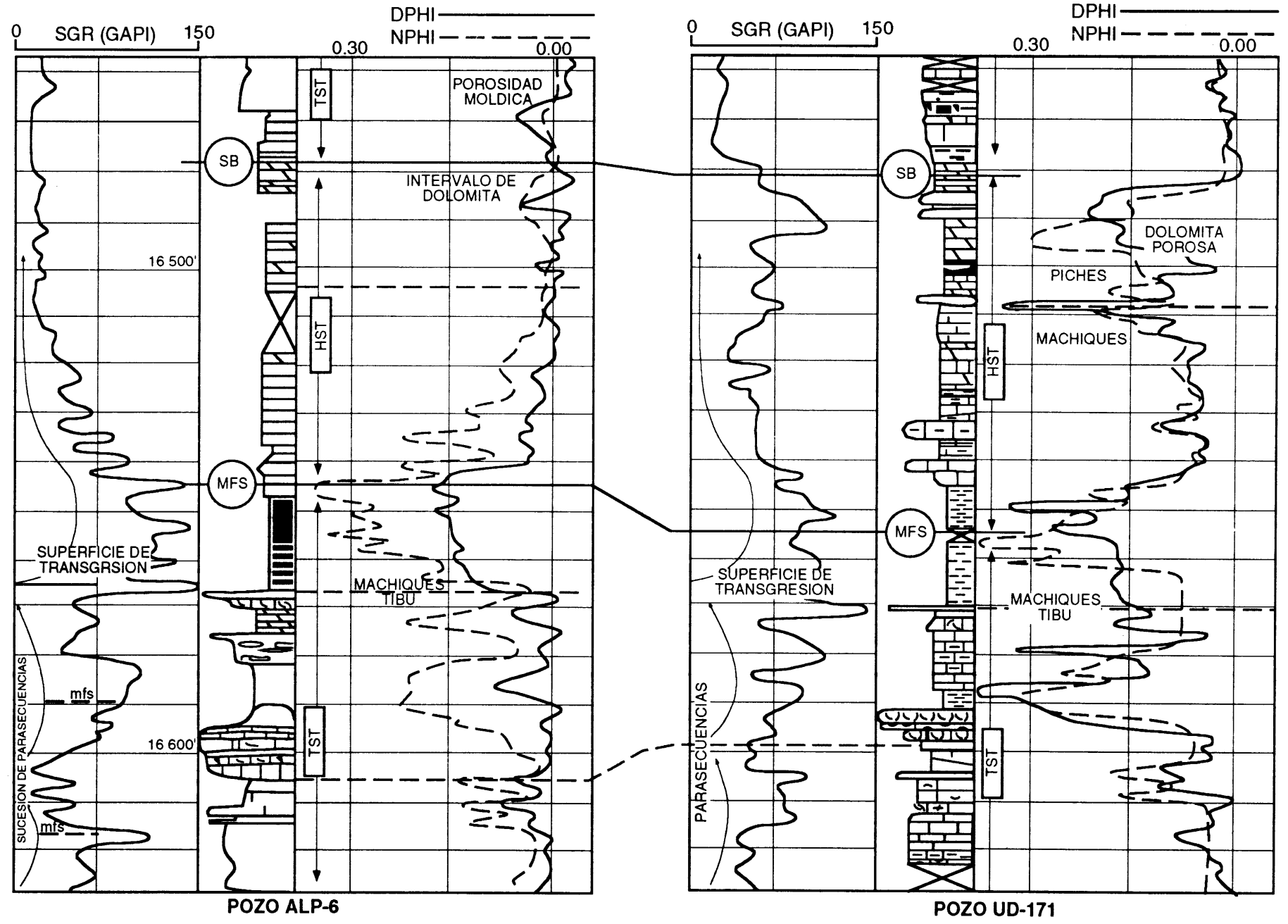
El análisis secuencial de los sedimentos de edad Cretácico Temprano de la Cuenca de Maracaibo se hizo en primer lugar a partir de la descripción detallada de aproximadamente 2000' de núcleos. La figura 6 muestra la distribución de los pozos cuyos núcleos han sido estudiados en Venezuela occidental por los autores. El listado es el siguiente :

- Perijá, Flanco Perijanero y Casigua-Catatumbo: pozos P-201, TOT-3, Z-26D-2, ALP-6, ALT-19, CR-5.
- Costa Occidental del Lago : pozos UD-171, SOL-6
- Lago de Maracaibo: pozos VLA-711, VLA-978, VLA-722, VLA-712, VLB-704, SVS-225, SVS-229, CLA-111, VLE-707, VLE-714, VLE-738, VLE-747.

En todos los casos, el trabajo primordial de descripción de núcleos empieza con una buena calibración de núcleo y perfiles eléctricos. La descripción se realiza chequeando con los registros de Gamma-Ray, Resistividad y Neutrón/Densidad, dado que la mayoría de los núcleos no poseen perfiles de rayos gamma del núcleo.

Las descripciones de núcleos se concentran en la observación: textura, fábrica, tipos de granos y de cementos/matriz. Adicionalmente, se establece la evolución secuencial (granodecrecientes ó crecientes, estratocrecientes ó decrecientes) y se reconocen los límites de secuencias (MFS y SB): límites erosionales, hard-grounds, presencia de brechas de disolución y de minerales precipitados, concentración de material orgánico. Esta información se plasma en los registros a fin de obtener los criterios de identificación de SB y MFS en ellos y extrapolarlos a pozos

Figura 5
Identificación de secuencias, mfs y sb en registros



sin núcleos. La descripción original se efectúa a una escala 1:50, y se redibuja a la escala 1:200 a fin de permitir el ploteo con los registros eléctricos.

Transecto de correlación

En este trabajo, se presenta un transecto norte-oeste a sur-este, que incluye cuatro pozos claves (pozos ALP-6, UD-171, SVS-225 y CLA-111, ver Fig. 6). En este transecto, se pueden observar cambios laterales de facies y de espesor entre el Flanco Perijanero y el Lago de Maracaibo. Los resultados se discutirán más adelante.

Bioestratigrafía

En la figura 6, se ilustran los pozos sobre los cuales se efectuaron análisis bioestratigráficos:

- Perijá, Flanco Perijanero y Casigua-Catatumbo: pozos P-201, TOT-3, Z 26 D-2, ALP-6, ALT-19 y CR-5
- Costa Occidental del Lago: pozo SOL-6
- Lago de Maracaibo: pozo CLA-111

Peralta (1993a,b) realizó un estudio micropaleontológico integrado del Cretácico Temprano en la Costa Occidental y Sierra de Perijá y estableció una serie de zonas, las cuales tienen una utilidad cronoestratigráfica de moderada resolución en el Grupo Cogollo. Las más importantes según Peralta (1993 a,b) :

- Zona de *Choffatella decipiens* (Schlumberger), de rango Barremiense a Aptiense temprano
- Zona de *Orbitolina texana* (Shroeder), de rango Aptiense tardío a Albiense temprano
- Zona de *Cribatina (Haplostiche) texana* (Sample), de rango Albiense medio-tardío

En palinología, se siguió el esquema siguiente según Gonzalez (1993 a,b,c,d).

- Zona de *Florentinia mantelli*, *F. cooksoniae* y *F. laciniata*, en asociación con *Palaeohystrichopora infusorioides* y *Xenascus ceratioides*, indicando una edad Albiense tardío.
- Zona de *Subtilisphaera pirnaensis* y *S. perlucida*, indicando una edad Aptiense

En algas calcáreas, se utilizaron los taxa siguientes (Bayliss 1993):

- *Neomeris cretacea* (Steinmann), de rango común del Albiense a Cenomaniense
- *Cylindroporella sugdeni* (Elliot), de rango hasta Aptiense
- *Salpingoporella dinarica* (Radoicic), de rango Barremiense a Aptiense

Sin embargo, esta definición bioestratigráfica no es suficiente para datar las secuencias de tercer orden reconocidas. Esto significa que no tenemos una buena escala cronoestratigráfica en el Cretácico del subsuelo de Venezuela occidental a nivel de secuencias de tercer orden. Los ciclos de segundo orden, si pudieron ser datados con los análisis bioestratigráficos. Gedler (1986) reporta en la Sierra de Perijá la presencia de amonites (*Deshayesites deshayesi*) en el Miembro Machiques, de edad Aptiense temprano (zona a Desahyesi). Esta información se llevó a los pozos más cercanos (Z-26-D2), y se corroboró la edad de Aptiense temprano para el Miembro Machiques.

En resumen, se pudo asignar de una manera tentativa las edades de las secuencias principales de la manera siguiente :

- Tope Río Negro/Base de Apón: 115 a 117,5 Ma (Base diacrónica dentro del Hauteriviense? a Barremiense)
- Tope Tibú/Base de Machiques : 112 Ma (Aptiense temprano)
- Intra-Machiques (tope 1er ciclo): 111 Ma (Aptiense temprano)
- Tope Apón/Base Lisure: 103? - 107,5 Ma (Discontinuidad del Albiense temprano)
- Tope Lisure/Base de Maraca: 98 Ma
- Tope Maraca/Base La Luna: 94 a 95,5 Ma (Cenomaniense)

Extrapolación regional

Después del estudio del material de núcleos, de secciones delgadas y de bioestratigrafía, se efectuaron correlaciones con varios pozos sin núcleos. Se trabajó con la misma metodología de reconocimiento de secuencias de tercer orden y ciclos de segundo orden en registros eléctricos. Los 51 pozos cuyo análisis secuencial ha sido efectuado, están representados en la figura 7.

Resultados y discusión de la aplicación del análisis secuencial en la Cuenca de Maracaibo

Identificación de los ciclos de 2do orden y secuencias de 3er orden

Tres ciclos de segundo orden fueron identificados en los sedimentos del Grupo Cogollo-base de la Formación La Luna en la Cuenca de Maracaibo. La figura 8 muestra un ejemplo de este corte secuencial en el pozo TOT-3. Los ciclos tienen las siguientes edades:

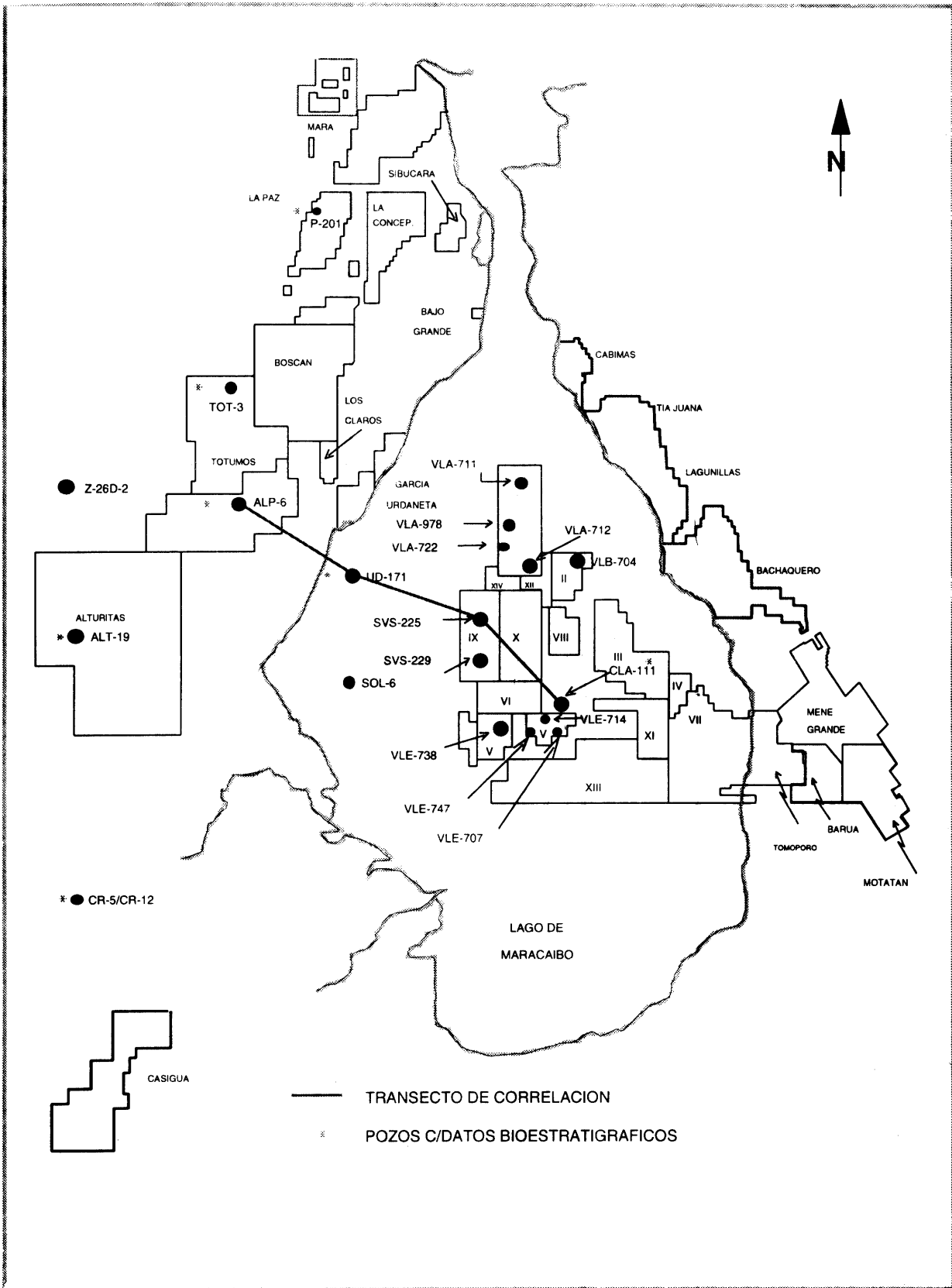


Figura 6
 Mapa de ubicación de los pozos con núcleos analizados

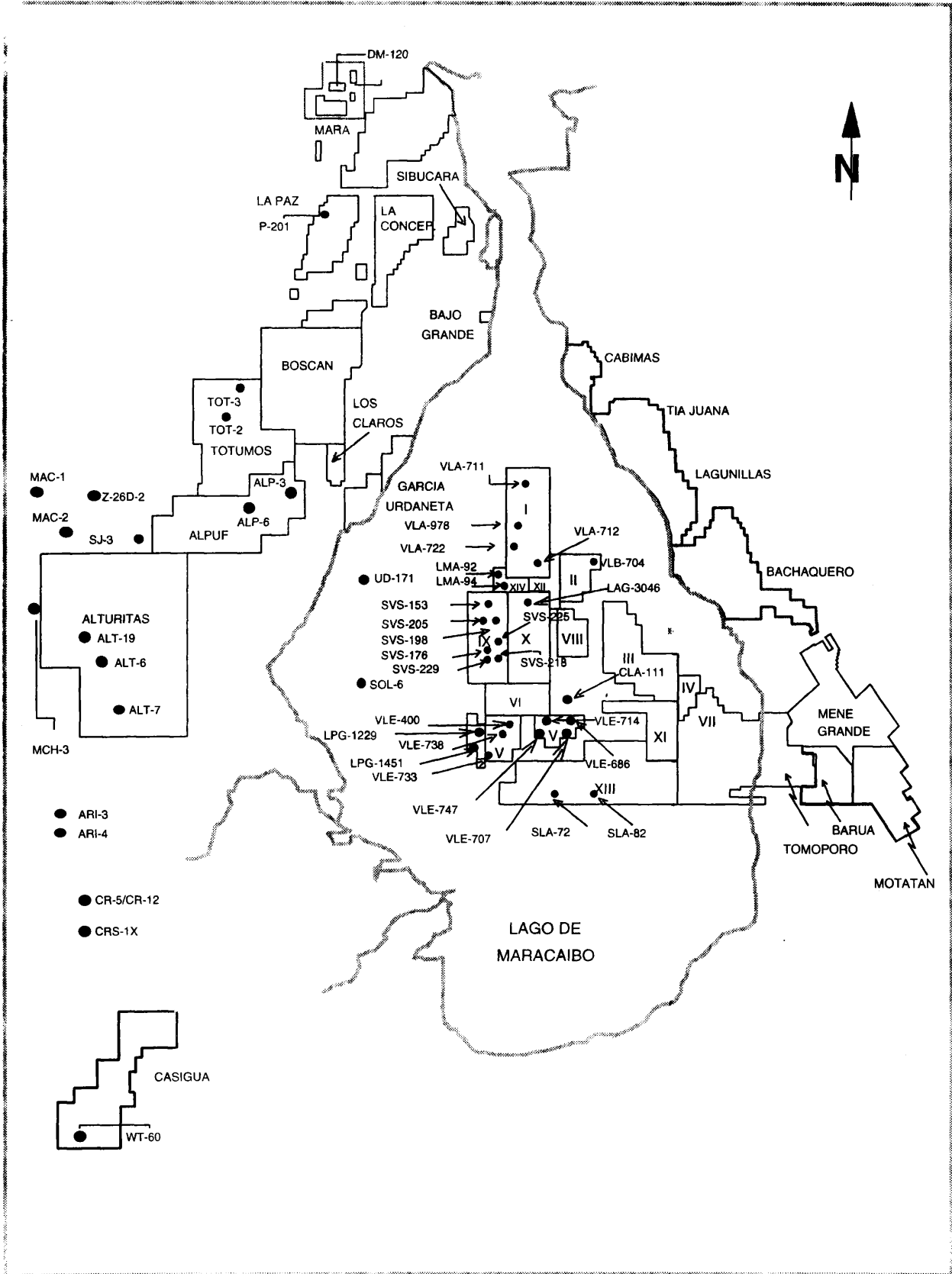


Figura 7
Mapa de ubicación de los pozos con análisis secuencial

- Ciclo I : Barremiense tardío a Aptiense temprano.
- Ciclo II : Aptiense temprano a Albiense.
- Ciclo III : Albiense a Cenomaniense temprano.

El primer ciclo está incompleto, y corresponde a una fase transgresiva. Los otros dos ciclos están completos, y están constituidos por una evolución regresiva-transgresiva. Los límites de estos ciclos están representados por picos de transgresión máxima, y se ubican dentro del Miembro Machiques (111 Ma), la Formación Lisure (lutita intra Lisure, 107 Ma?) y Formación La Luna (base de La Luna, 93,5 Ma).

La figura 9 muestra la correlación utilizada a fin de ilustrar los cambios de espesores de los ciclos de segundo orden, las secuencias de tercer orden y las variaciones en número de estas secuencias. La figura 10 muestra la correlación de las facies que se encuentran en estas secuencias.

Diez y seis secuencias de tercer orden han sido identificadas en el pozo ALP-6 (Fig. 9), ubicado en la parte más occidental de la correlación. El ciclo I incluye dos secuencias de tercer orden, y los ciclos II y III incluyen respectivamente 6 y 8 secuencias. Se lograron reconocer dos secuencias más en el ciclo basal de los pozos MCH-3 y MAC-2, ubicados más hacia el oeste (Fig. 7), hacia donde se espesa el Grupo Cogollo.

Etapas genéticas

Los patrones depositacionales en la Cuenca de Maracaibo se desarrollan dentro de una plataforma carbonática y su margen. Esto significa que las etapas genéticas más importantes son las de relleno, agradación y retrogradación. Únicamente hacia la parte oeste de la cuenca, se nota la presencia de etapas de progradación, como se ilustra en la figura 8.

La figura 11 ilustra las etapas genéticas identificadas en nuestro transecto. Se apilan etapas de relleno (regresivas), agradación y retrogradación (transgresivas), con un adelgazamiento pronunciado de estas hacia la zona central del Lago de Maracaibo.

Las etapas de relleno se caracterizan por su litología arcillosa típica de ambiente pelágicos en sus bases, y por facies dolomíticas hacia los topes de secuencias tipo "shallowing-upward".

Las etapas de agradación consisten en un desarrollo importante de carbonatos típicos de plataforma interna y externa (bancos y lagunas), generalmente de aguas someras. Las etapas de retrogradación se caracterizan por un adelgazamiento y profundización de las secuen-

cias hacia sus topes, hasta llegar a la superficie de máxima inundación en los topes de los sistemas transgresivos.

Ciclo I (Barremiense tardío- Aptiense temprano)

El ciclo I (Fig. 12) está limitado en su base por las areniscas de la Formación Río Negro, y en su tope por las lutitas del Miembro Machiques (o su equivalente lateral el Miembro Guáimaras en el lago), representando el pico de la transgresión. Este ciclo se caracteriza por la naturaleza lodosa de sus sedimentos en la parte oeste (Miembro Tibú de la Formación Apón, pozo ALP-6), culminando con secuencias más profundas transgresivas sobre el substrato de la Formación Río Negro hacia el este (CLA-111). Dos secuencias de tercer orden presentes en la zona de Perijá adelgazan hacia el este, estas están constituidas por sedimentos de alta energía, tipo "grainstone/packstone".

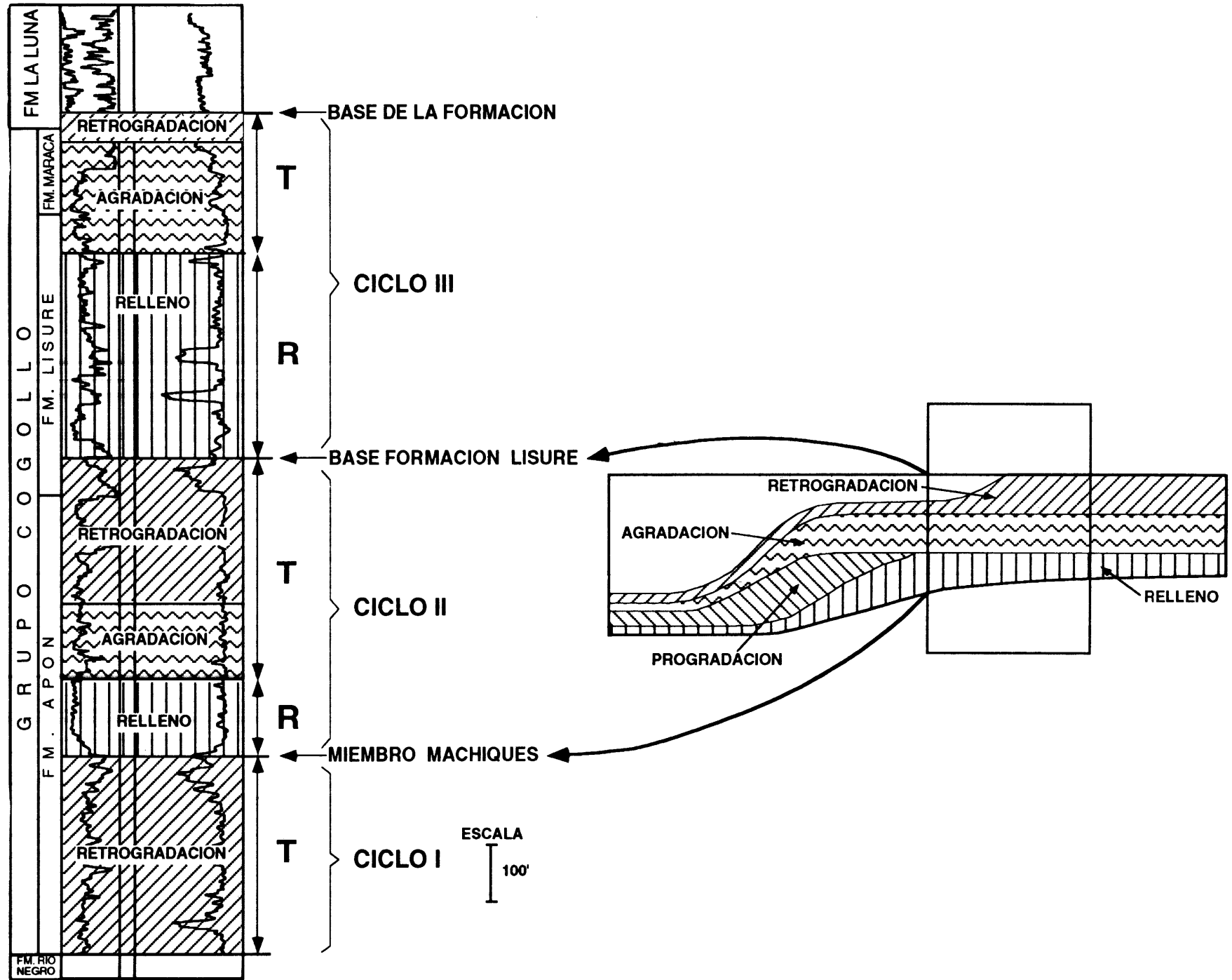
Ciclo II (Aptiense temprano - Albiense)

El ciclo II (Fig. 13) es un ciclo completo regresivo - transgresivo que contiene seis secuencias de tercer orden. Su base coincide con las lutitas del Miembro Machiques/Guáimaras, y su tope culmina en las lutitas orgánicas de la parte inferior de la Formación Lisure. La gran parte de este ciclo está constituida por las calizas del Miembro Piché de la Formación Apón, con un importante fase de agradación donde se acumulan sedimentos de plataforma interna a media. Hacia la parte superior del ciclo, aparecen secuencias más espesas que incluyen sistemas de bajo nivel del mar "lowstand systems tract", abiertos hacia Perijá y Colombia, que desaparecen hacia el Lago de Maracaibo. Al igual que el ciclo I, se nota un adelgazamiento general de las secuencias en dirección del lago; este fenómeno es debido a la presencia de un palaeoalto activo durante el Aptiense y el Albiense (Arco de Mérida).

Ciclo III (Albiense - Cenomaniense temprano)

El ciclo III (Fig. 14) es el otro ciclo completo regresivo-transgresivo, limitado en su base por las lutitas de la Formación Lisure, y en su tope, por las lutitas de la parte inferior de la Formación La Luna. Está formado por ocho secuencias de tercer orden, que se pueden trazar de Perijá (oeste) hacia el lago (este). El espesor de las secuencias (especialmente las de la Formación Maraca) se mantiene a través de la región estudiada, y no se reconoce la presencia del palaeoalto identificado en los dos ciclos previos. Las litologías que predo-

Figura 8
Ejemplo de un corte secuencial y etapas genéticas. Pozo TOT-3



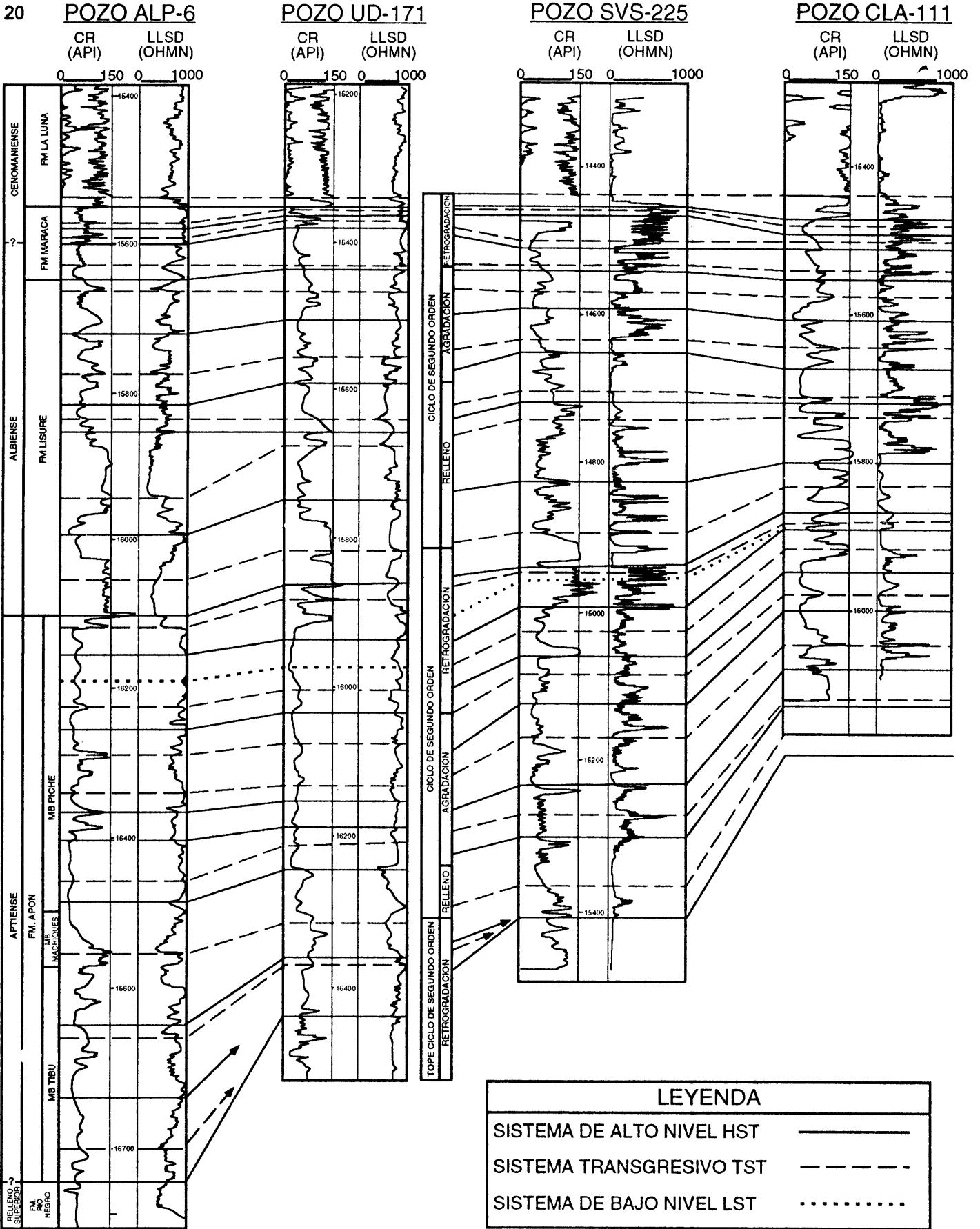


Figura 9
Ejemplo de marco estratigráfico secuencial de la Cuenca de Maracaibo

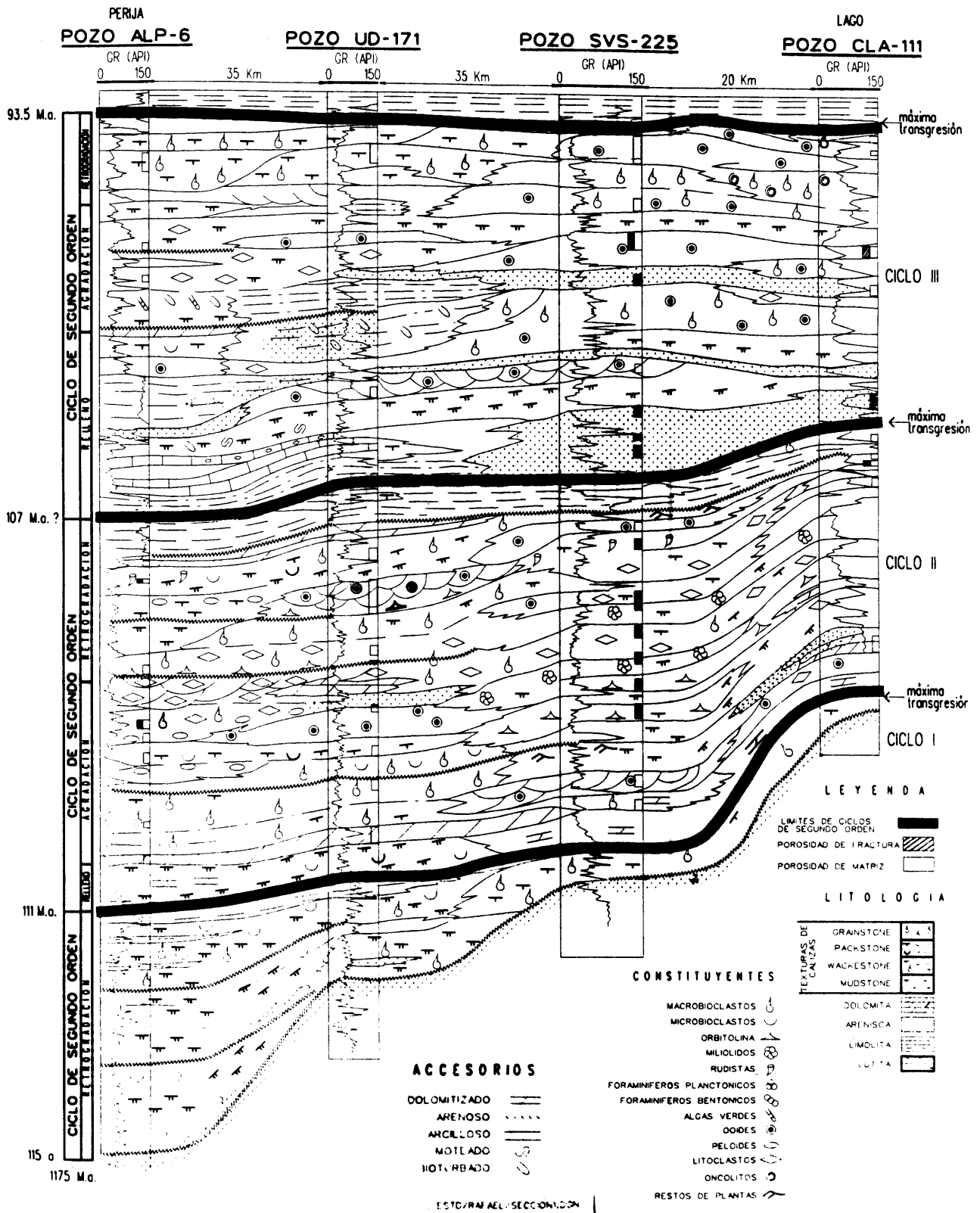


Figura 10
Correlación de facies de la Cuenca de Maracaibo

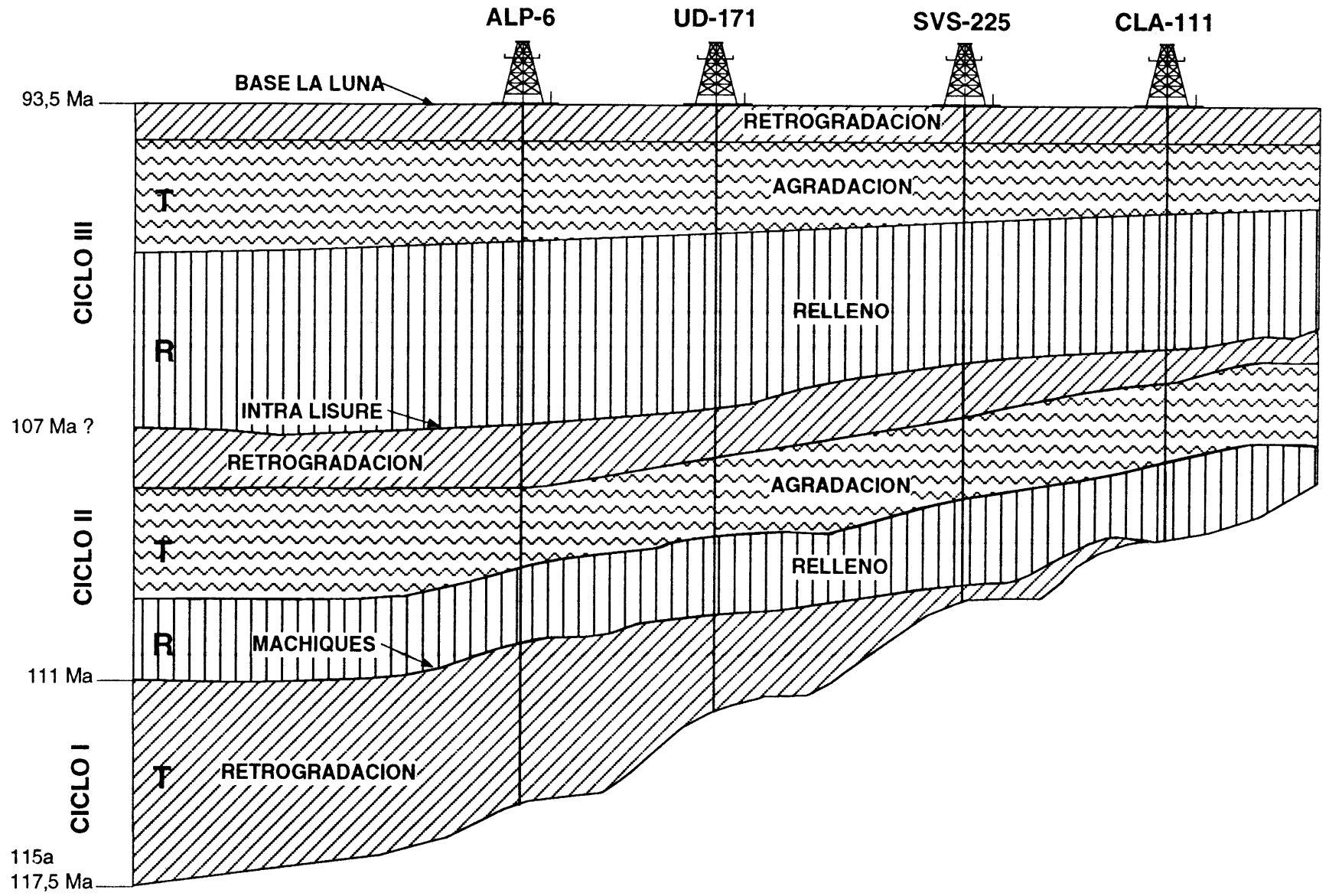


Figura 11
Etapas genéticas identificadas en la Cuenca de Maracaibo

minan son lutitas, areniscas glauconizadas y calizas.

Evolución de plataformas

Los tres ciclos de segundo orden representan varias etapas en la evolución del Grupo Cogollo, desde el Barremiense al Cenomaniense temprano (Azpirixaga y Murat 1993; Piccoli 1993). La figura 15 muestra de una manera esquematizada las tres etapas, que evolucionan de una rampa carbonática (ciclo I), a una plataforma carbonática "bordeada" ("rimmed shelf", ciclo II), a una plataforma mixta de carbonatos y clásticos (ciclo III):

- El ciclo I corresponde a una rampa carbonática con secuencias "fining-upward" (regresivas) y "coarsening-upward" (transgresivas, de bancos y rampa interna), predominantemente lodosas y abiertas en dirección del oeste; las secuencias del Lago de Maracaibo están constituidas por sedimentos carbonáticos de alta energía.

- El ciclo II corresponde a una plataforma carbonática "bordeada" ("rimmed shelf"), caracterizada por cuerpos calcareníticos alternando con limos calcáreos. Se puede definir una sucesión de bancos formando un margen hacia el oeste, mientras que sobre la mayor parte de la plataforma, se desarrollan pequeños bancos irregulares (biostromos, "grainstones" de moluscos, algas verdes y oolitos) y lagunas aisladas.

- El ciclo III corresponde a una plataforma mixta de carbonatos y siliciclásticos, y contiene areniscas glauconíticas y calizas litoclasticas (interdigitación de facies carbonáticas y siliciclásticos en dirección de la línea de costa hacia el sureste) que infrayacen a barras calcareníticas bioclasticas y oolíticas de la Formación Maraca, que representa la etapa transgresiva de "backstepping" previa al evento del hundimiento ("drowning event") representado por la Formación La Luna.

Conclusiones y Recomendaciones

La interpretación secuencial en los sedimentos del Cretácico Temprano (Grupo Cogollo y parte basal de la Formación La Luna) de la Cuenca de Maracaibo está basada en el análisis de núcleos y registros de las áreas de Perijá y del Lago de Maracaibo. Los sedimentos son predominantemente carbonáticos (lagunas lodosas, barras de "grainstones" de oolitas, litoclastos o bioclastos, biostromos de pelecípodos, intrabarras, etc), con un influjo clástico ocasional (areniscas de líneas costeras, "tidal flats").

Tres ciclos de segundo orden fueron identificados, los cuales representan varias etapas de la evolución de la plataforma del Grupo Cogollo, que fueron controlados por las variaciones relativas del nivel del mar y la paleomorfología de la cuenca. Estos ciclos están limitados por los picos de máxima transgresión:

- Ciclo I, de edad Barremiense tardío - Aptiense temprano, limitado por las areniscas de la Formación Río Negro en su base, y las lutitas del Miembro Machiques/Guáimaras en su tope, que constituyen un evento de hundimiento de los carbonatos. Este ciclo contiene al oeste dos secuencias de tercer orden, que se acuñan en dirección al lago. Una rampa carbonática abierta en dirección oeste representa el modelo de este primer ciclo.

- Ciclo II, de edad Aptiense temprano - Albiense, limitado por las superficies de hundimiento del Miembro Machiques en la base y de la Formación Lisure al tope. Está constituido por seis secuencias de tercer orden, distribuidas en etapas de relleno durante la regresión, y etapas de agradación y retrogradación durante la transgresión. Este ciclo representa el desarrollo de una plataforma carbonática interna a media "bordeada".

- Ciclo III, de edad Albiense - Cenomaniense temprano, limitado por las lutitas basales de la Formación Lisure en su base, y la base de la Formación La Luna en su tope. Este ciclo, que representa el desarrollo de una plataforma mixta carbonática-siliciclástica, contiene ocho secuencias de tercer orden.

El análisis secuencial en los sedimentos de edad Cretácico Temprano de la Cuenca de Maracaibo ha permitido establecer una correlación en secuencias de tercer orden y ciclos de segundo orden la cual se puede aplicar como base de una correlación cronoestratigráfica más detallada que la existente. Además puede ser utilizada para la predicción de las facies y de los yacimientos. Aunque no existen facies características de cada sistema encadenado, ni de las etapas genéticas, existen conjuntos depositacionales suficientemente típicos que permiten predecir la ubicación de las facies porosas (Murat y Azpirixaga 1993). La mayoría de la base de los sistemas transgresivos (TST) está caracterizada por contener sedimentos de alta energía propicios al desarrollo de una porosidad primaria alta, al contrario de los sedimentos de la base de los sistemas de alto nivel que son más lodosos. Otros yacimientos se desarrollan también al tope de los sistemas de

OESTE

ESTE

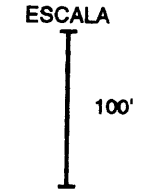
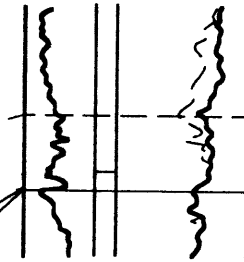
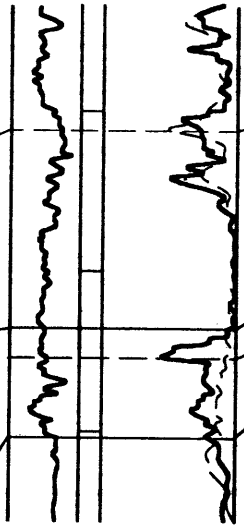
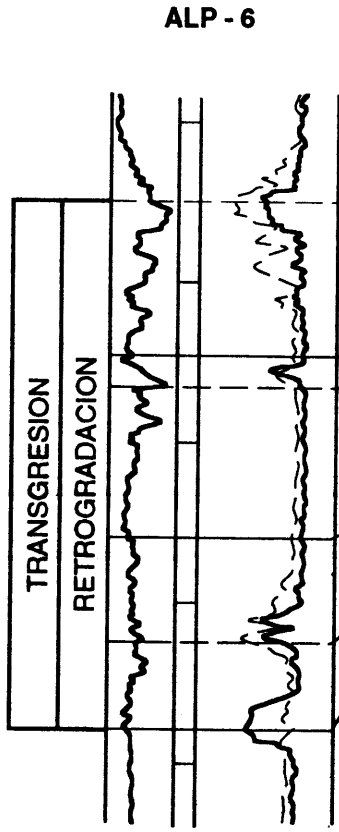
CLA - 111

MACHQUES
|
RIO NEGRO

SVS - 225

UD - 171

ALP - 6



LEYENDA:

- HST
- - - TST

Figura 12
Ciclo I (Barremiense-Aptiense temprano)

OESTE

ESTE

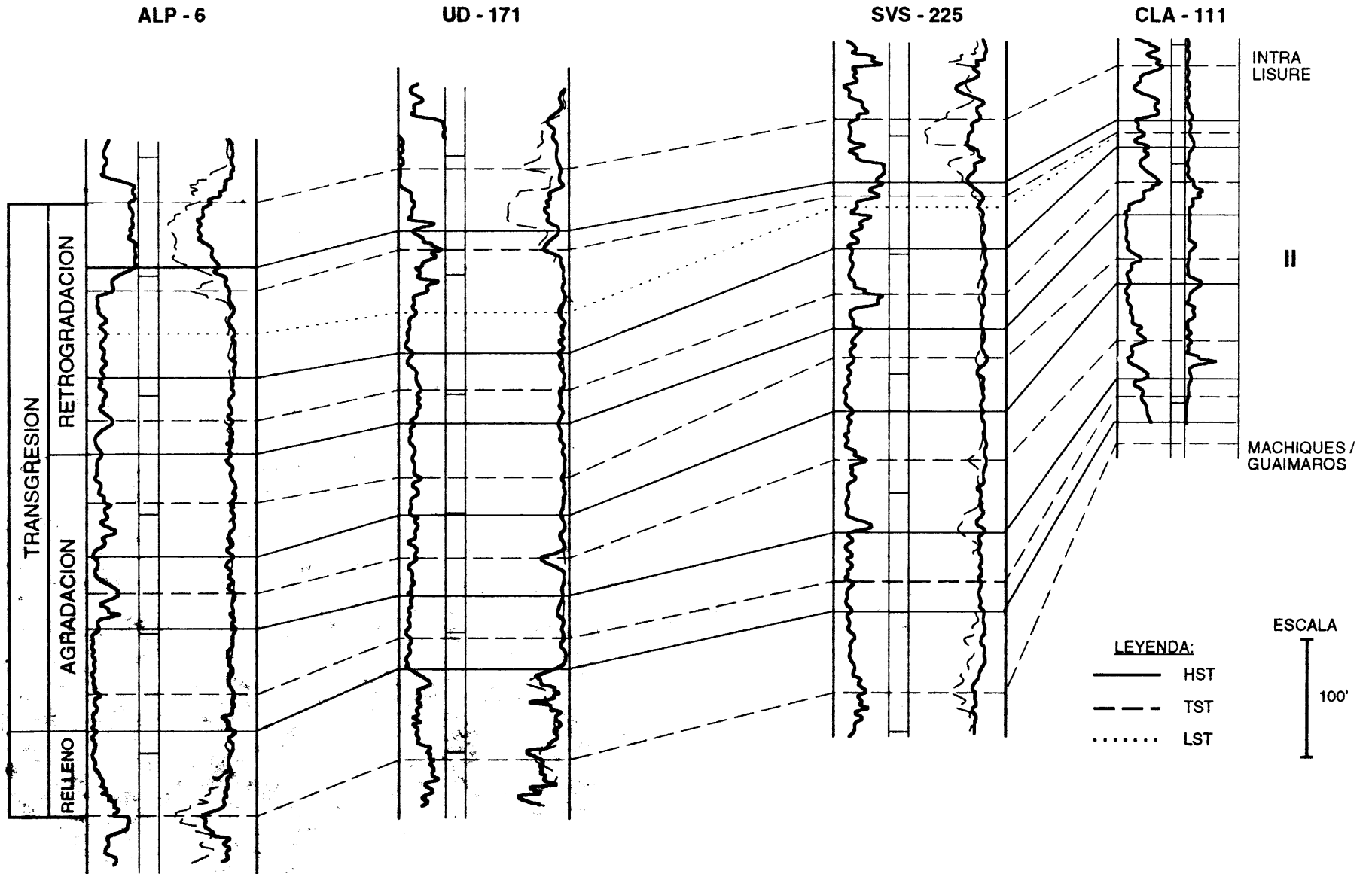


Figura 13
Ciclo II (Aptiense temprano-Albiense)

alto nivel (HST), con la ocurrencia de intervalos dolomitizados y "packstones" con calidad de yacimiento moderada.

En término de etapas genéticas, el tope de las fases de relleno están asociadas con porosidad intercrystalina en las dolomitas masivas (base del Miembro Piché). Las etapas de agradación, siendo mas lodosas, se caracterizan por tener porosidad de fracturas (parte intermedia del Miembro Piché). Las etapas de retrogradación están asociadas con porosidad móldica dentro de calizas granulares (Formación Maraca).

En cuanto a la calibración con los datos sísmicos, las secciones estudiadas son muy profundas (en general, más de 15000' de profundidad) y la resolución sísmica es limitada, solo se pudieron identificar tres marcadores que podrían corresponder a los topes de ciclos de segundo orden (máximo de la transgresión).

Limitaciones

La limitación de aplicar el análisis secuencial en los carbonatos de la Cuenca de Maracaibo es debida a la escasez relativa de datos bioestratigráficos. Lo que no permitió establecer con certeza, modificar o rechazar el paralelismo entre las secuencias definidas en este trabajo y las secuencias de tercer orden que aparecen en la carta de los cambios eustáticos de Haq et al. (1987). Las zonaciones faunales y florales establecidas en los análisis realizados son más amplias que los límites de secuencias definidas. Por lo tanto, esto no permite datar con precisión las discontinuidades y no permite una correlación cronoestratigráfica de las secuencias. El trabajo de correlación debe empezar con los ciclos de segundo orden, y afinarse con las secuencias de tercer orden, tomando en cuenta las respuestas de los registros y las discontinuidades observadas en núcleos. Adicionalmente, la resolución sísmica es limitada, sólo se pueden identificar tres marcadores que podrían corresponder a los topes de ciclos de segundo orden (máximo de transgresión).

Recomendaciones

Se recomienda estudiar en detalle todo el material de núcleo tomado y a ser tomado en el Cretácico de la Cuenca de Maracaibo, con énfasis en :

- El reconocimiento de las secuencias y de sus límites
- La calibración con los registros
- La determinación de las asociaciones entre yacimientos, rocas madres y sistemas encadenados.

También, es necesario seguir empleando el máximo de disciplinas bioestratigráficas con la finalidad de datar las secuencias y la utilización de técnicas de determinación de edades absolutas.

Referencias

- Azpirixaga, I. and Murat, B. 1993 . Types of Cretaceous Carbonate platforms in Western Venezuela . A.A.P.G. International Convention Abstract, New Orleans.
- Bayliss, D.D. 1993. Calcareous algae of the Cogollo Group from eight wells in the Maracaibo Basin, Venezuela. Prepared by S.S.I., England, for Maraven. Project No. B0384. EPC-13.137.13 p. Unpublished.
- Gedler, G.M. 1986. Estratigrafía, diagénesis y determinación de microfácies del Grupo Cogollo, Sierra de Perijá (Estado Zulia). Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela., 500 p. Inédito.
- Gonzalez, E. 1993 a. Palinoestratigrafía del Pozo ALP-6. Proyecto Flanco Perijanero. Informe Maraven No. EPC-13.177. 59 p. Inédito.
- Gonzalez, E. 1993 b. Palinoestratigrafía del Pozo UD-171. Proyecto Flanco Perijanero. Informe Maraven No. EPC-13.175. 20 p. Inédito.
- Gonzalez, E. 1993 c. Palinoestratigrafía del Pozo ALT-19. Proyecto Flanco Perijanero. Informe Maraven No. EPC- 13.176. 18 p. Inédito.
- Gonzalez, E. 1993 d. Palinoestratigrafía del Pozo La Paz-201. Proyecto Flanco Perijanero. Informe Maraven No. EPC-13.173. 14 p. Inédito
- Haq, B.V., Hardenbol, V. and Vail, P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea level since Triassic (250 millions years ago to present) Science: V. 235, p.1156-1167.
- Jacquin, T., Arnald-Varmean, A., Arnand, H., Ravenne, C., an Vail, P.R. 1991. System Tracts and depositional sequences in a carbonate setting : a study of continuous outcrops from platform to basin at the scale of seismic lines : marine and geology. C.R. Acad. Sci Paris. T. 315, Serie II, p.353-362.
- Jacquin, T., Garcia, J.P., Pensot, C., Thierry, J., and Vail, P. 1992: Séquences de dépôt et cycles régressif/transgressifs en domaine marin carbonaté : exemple du Dogger du Bassin de Paris. C.R. Acad.Sci, Paris, t. 315, Série II, p.353-362.
- Jones, B. and Desrochers, A.V. 1992. Shallow platform carbonates. L Walker R. and James N. In: Facies models response to sea level changes

- : Geological Association of Canada, p. 277-301.
- Moore, C.H. 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity. *Developments in sedimentology*: Amsterdam, Elsevier Sci. Pub., 338 p.
- Murat, B. and Azpirixaga, I. 1993. Application of Sequence Stratigraphy to reservoir and hydrocarbon source rock prediction in the Cretaceous Carbonate platforms of Maracaibo Basin. Venezuela A.A.P.G./S.V.G. International Congress Abstract.
- Peralta, J. 1993. a Descripción petrográfica y bioestratigráfica en el Grupo Cogollo y la Formación La Luna en el Pozo Alturitas-19. Nota técnica Maraven No EPC-7825-30. 13 p. Inédito.
- Peralta, J. 1993. b Estudio integrado del Cretácico Inferior y Medio en la Costa Occidental y Sierra de Perijá. *Compilación final. Nota Técnica Maraven*, No. EPC-7825.60. 5 p. Inédito.
- Piccoli, L. 1993. Microfacies y Ambientes Sedimentarios en el Cretácico Inferior de la Costa Occidental del Lago de Maracaibo. *Informe Técnico Maraven*, No.EPC-13.066. 13 p. Inédito.
- Vail, P.R., Mitchum, R.M., Todd, R.G., Widmer, J.M., Thompson, S., Sangree, J.B., Bubb, J.N. and Hatledlid, W.G. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level., In: C.E. Payton (ed), *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*. A.A.P.G. Mem., V.26, p.49-212.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S and Hardenbol, J. 1988. An overview of sequence stratigraphy and key definitions, In C.W. Wilgus et al., eds., *Sea level changes an integrated approach* :Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 42, p 39-45.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Campion, K.M. and Rahmanian, V.D., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops : concepts for high-resolution correlation of time and facies : A.A.P.G., *Methods in Exploration # 47*, 55p.

OESTE

ESTE

ALP - 6

UD - 171

SVS - 225

CLA - 111

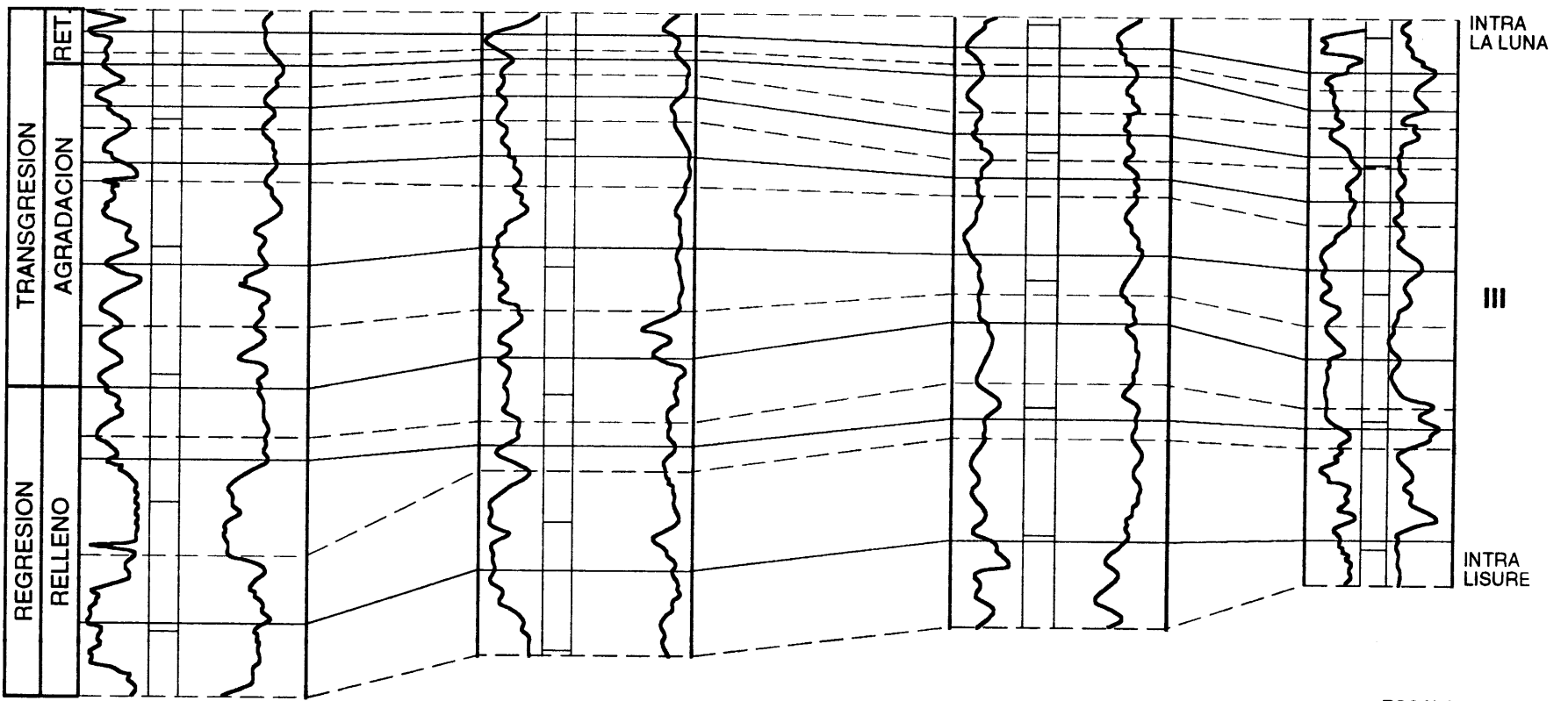


Figura 14
Ciclo III (Albense-Cenomanense temprano)

LEYENDA:
 ——— HST
 - - - TST

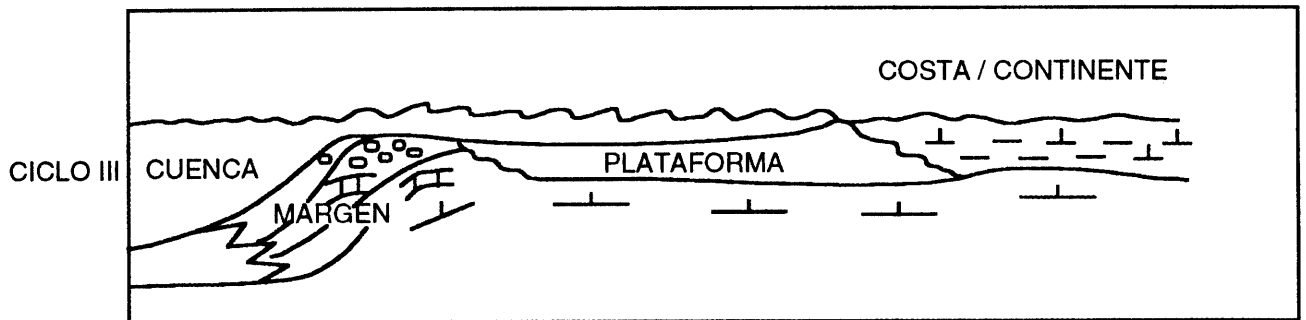
ESCALA
 100'

O

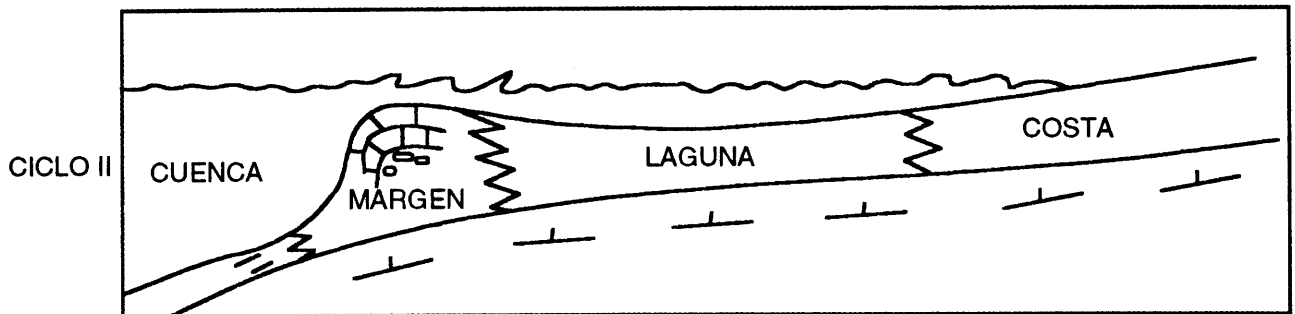
E

PERIJA ————— LAGO

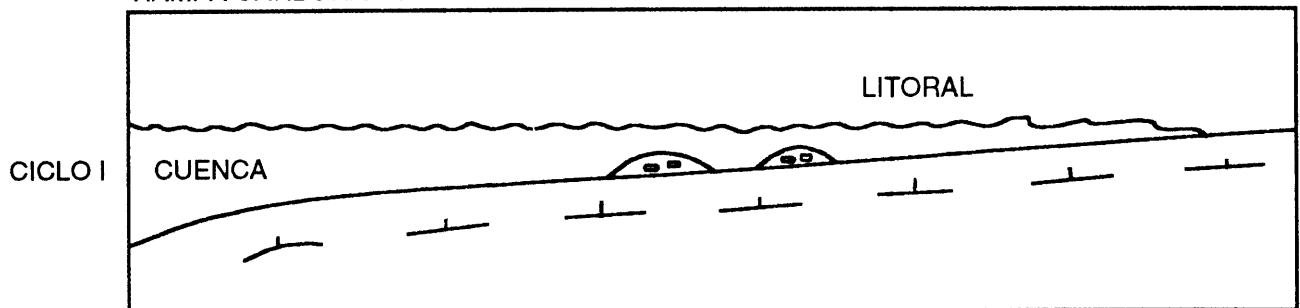
PLATAFORMA MIXTA DE CARBONATOS Y SILICICLASTICOS.



PLATAFORMA CARBONATICA " RIMMED "



RAMPA CARBONATICA



ESCALA HORIZONTAL APROX. 100 Km

Figura 15
Evolución de la plataforma carbonática en el Grupo Cogollo