

Memoria 1972
IV Congreso Geológico Venezolano
Tomo II.
Publicación Especial N° 5

PALINOLOGIA APLICADA EN LOS ESTUDIOS DE LOS SEDIMENTOS EOCENOS EN LA CUENCA DE MARACAIBO

Por JOHN A. SULEK¹

RESUMEN: Los sedimentos eocenos de la Cuenca de Maracaibo están constituidos por una alternancia de arenas y lutitas de varios miles de pies de espesor. En casi toda la región, los registros eléctricos no son fidedignos para fines de correlación; los sedimentos generalmente carecen de foraminíferos o contienen formas que no son diagnósticas. A lo impreciso de la correlación se añaden las fallas, una superficie de erosión irregular en la discordancia con las capas miocenas y el reducido número de pozos que penetren totalmente el Eoceno. De allí la necesidad de un método adicional de correlación como es la palinología.

La correlación palinológica aparentemente puede aplicarse; en los comienzos los resultados fueron poco favorables por no encontrarse polen con extensiones estratigráficas lo suficientemente cortas para emplearse como índices. No obstante, las variaciones en la frecuencia relativa son muy notables e indudablemente reflejan cambios en la flora dominante de las zonas inmediatamente adyacentes por efectos de factores climáticos y diastróficos. El examen cualitativo produce resultados generales, pero para una correlación precisa se requiere el método estadístico.

La interpretación general deducida indica que la sedimentación del Eoceno tuvo lugar en tres ciclos principales. La parte norte y este de la cuenca puede considerarse como el centro sedimentario. Las evidencias disponibles prueban que la sedimentación fue dirigida hacia ese centro desde el oeste y desde el sur, pero que no fue continua.

El empleo de esta técnica ha producido resultados alentadores hasta la fecha y se considera muy promisoro.

ABSTRACT: Eocene sediments of the Maracaibo Basin consist of several thousand feet of alternating layers of sand and shale. Electric logs, for the most part, proved unreliable for correlative purposes. The sediments are usually barren of foraminifera or contain non-diagnostic forms. The situation is further complicated by faulting, uneven erosional truncation beneath the unconformable cover of Miocene beds, and by the limited number of wells with complete Eocene penetration. Herein lies the need for an additional correlation tool, such as palynology.

Palynologic correlations appeared applicable, but results were at first discouraging as it became obvious that there was no pollen with a range short enough to be used as "index pollen". However, variations in their relative frequency are pronounced and doubtless reflect changes in the dominant flora of adjacent land areas in response to climatic and diastrophic factors. A qualitative examination does give generalized results, but for closer correlation it is necessary to use the statistical approach. The overall picture that has emerged is that Eocene deposition in the Maracaibo Basin took place in three main cycles. The northern and eastern parts of the basin can be regarded as the depositional center. The evidence at hand indicates that deposition was directed towards this center from the west and south, but was not continuous.

¹ Creole Petroleum Corporation, Caracas-Venezuela.

Results thus far have been encouraging and future use of this technique is believed to hold much promise.

INTRODUCCION Y LOCALIZACION

La cuenca del Lago de Maracaibo es la región productora de petróleo más prolífica de Venezuela y por lo tanto las correlaciones estratigráficas precisas son sumamente importantes para el desarrollo de los distintos campos.

El eje principal de la Cordillera de Los Andes se extiende hacia el norte a lo largo de la costa occidental de América del Sur para bifurcarse repentinamente cerca de la frontera colombo-venezolana. Un ramal continúa hacia el norte y forma la Sierra de Perijá; el otro se extiende hacia el noreste y constituye Los Andes Venezolanos (Figura 1). La Cuenca de Maracaibo, orientada de sur a norte, ocupa la depresión en forma de V entre las dos cadenas divergentes; tiene unos 320 kilómetros de longitud, 220 kilómetros de anchura y cubre unos 61.000 Km². La quinta parte de la cuenca está cubierta por el Lago de Maracaibo, un lago somero de aguas salobres de unos 160 kilómetros de longitud por unos 110-kilómetros de anchura. Los campos petrolíferos principales ocupan una zona de unos 160 kilómetros por 80 kilómetros a lo largo de las costas noroccidental y nororiental del lago y se extienden por distancias considerables por debajo del área cubierta por agua. La producción proviene predominantemente de sedimentos miocenos y eocenos, con una recuperación final probada que excede a los 24 mil millones de barriles de petróleo.

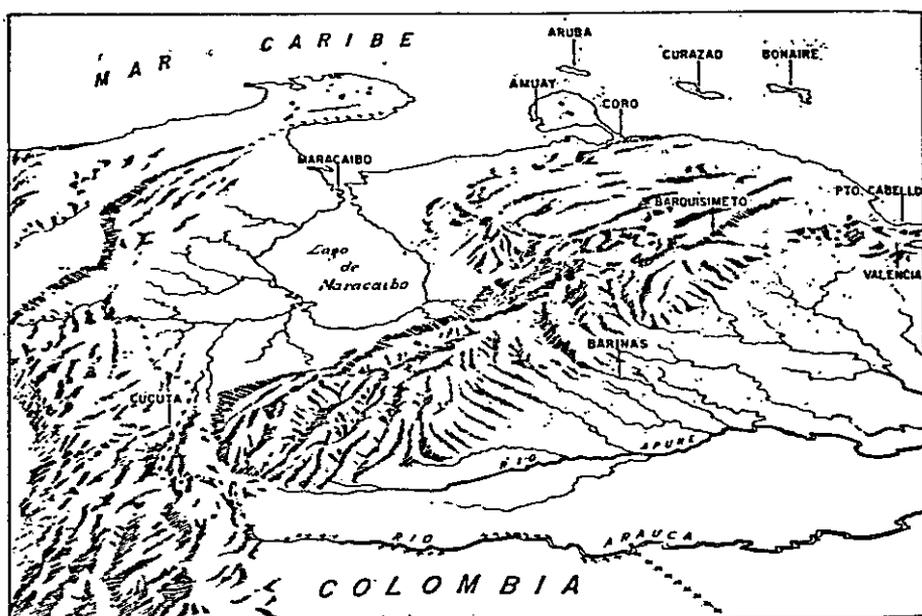


Fig. 1

ESTRATIGRAFIA

Para simplificar el análisis de la estratigrafía se ha insertado la Figura 2, que muestra un registro eléctrico compuesto y una columna geológica representativa de los Campos Costaneros del Distrito Bolívar, área central de producción. Normalmente el complejo del basamento infrayace a unos 900 metros (2.700 pies) de calizas y lutitas marinas del Cretáceo, seguidos por unos 115 metros (350 pies) de sedimentos del Paleoceno.

Los sedimentos eocenos están constituidos por unos 2.800 metros (8.500 pies) de espesor de una repetición monótona de areniscas y lutitas duras, grises a negras, de ambientes de aguas marinas someras, salobres y dulces. La sección eocena se ha subdividido en dos formaciones: Misoa*, compuesta de areniscas y lutitas interestratificadas y la Formación Paují suprayacente, integrada en su totalidad por lutitas con foraminíferos. Estos estratos eocenos infrayacen con marcada discordancia angular a sedimentos oligo-miocenos cuyo espesor aumenta hacia el sur desde pocos metros hasta unos 2.700 metros (8.000 pies). Con excepción de las lutitas marinas de La Rosa, toda la secuencia consiste de arenas, lutitas y arcillas depositadas en ambientes continentales de aguas salobres o dulces.

La producción de petróleo proviene tanto de areniscas eocenas como de arenas miocenas y una técnica precisa de correlación para ambos intervalos es por lo tanto esencial para el desarrollo ordenado de los diversos campos. En lo relativo al Mioceno, la secuencia litológica vertical es razonablemente constante y los cambios laterales son graduales. En consecuencia, los métodos establecidos suministran correlaciones satisfactorias; anteriormente se dependía de las características litológicas y el contenido de foraminíferos, mientras que hoy se confía casi exclusivamente en la correlación de registros eléctricos.

En contraste, las correlaciones precisas en los intervalos productores del Eoceno siempre han presentado muchas dificultades. La Formación Misoa representa sedimentación rápida a través de un cinturón marginal ancho de una cuenca en proceso de hundimiento. Consiste de alternancias e intercalaciones muy irregulares de areniscas y lutitas uniformes, depositadas en ambientes desde fluviales a influenciados por el régimen de mareas. El método establecido de correlación se basa en registros eléctricos y hace uso de una combinación de cuerpos de arena y lutita excepcionalmente persistentes y "marcadores" para subdividir la Formación Misoa en intervalos arbitrarios conocidos, en orden descendente, como B-1 a B-9 y C-1 a C-7. Los intentos de suplementar estas unidades arbitrarias con zonaciones a base de foraminíferos o minerales pesados no han tenido éxito apreciable.

La Figura 3 muestra más claramente la secuencia de estratos eocenos, su relación con la discordancia Mioceno-Eoceno y la estructura asociada. Como se observa en la parte izquierda de la figura, la sección se extiende desde las áreas productivas en tierra unos 35 kilómetros (22 millas) lago adentro. La referencia es el nivel del

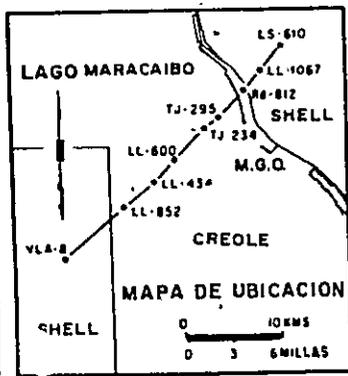
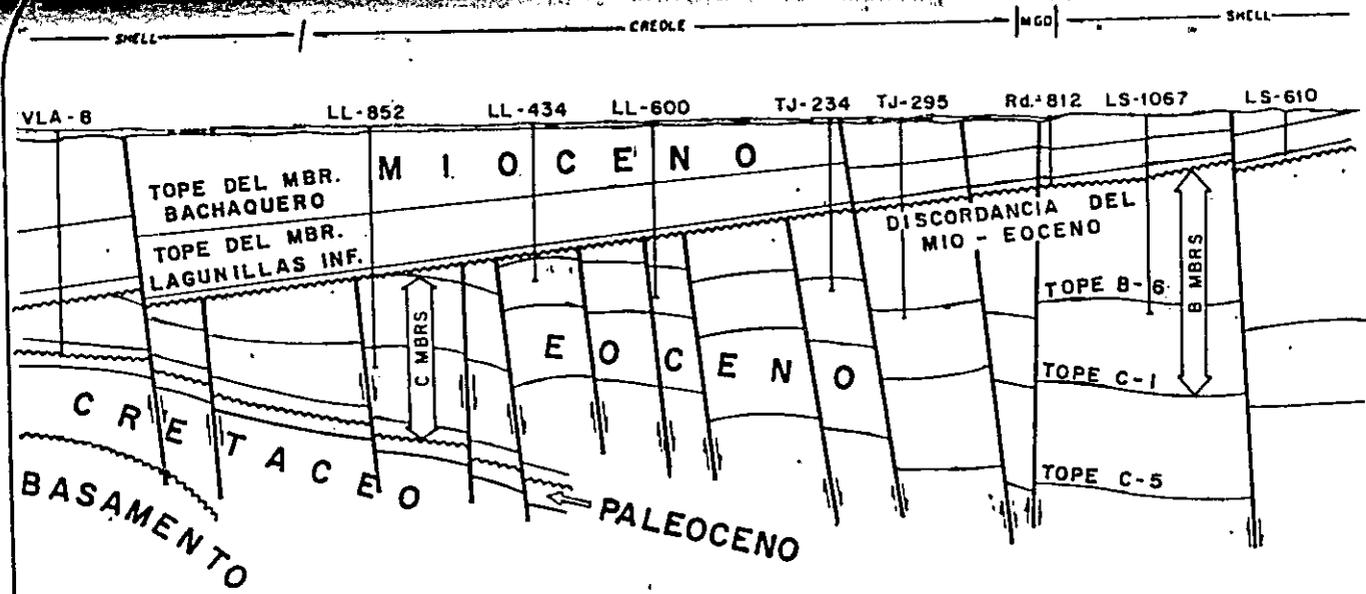
* Convencionalmente, el intervalo productor ha sido dividido en dos formaciones, Trujillo en la parte inferior y Misoa en la parte superior. Esta subdivisión no se justifica desde el punto de vista litoestratigráfico y aquí se emplea solamente Misoa. El nombre de Formación Trujillo se reserva para los depósitos de zonas profundas de la cuenca, principalmente lutitas, que generalmente están ausentes en los Campos Costaneros del Distrito Bolívar.

CAMPO COSTANERO DE BOLIVAR

REGISTRO TIPICO COMPUESTO

EDAD	FORM.		MIEMBRO	EDAD	FORM.	REGIST. TÍPIC.	MIEMBRO		
MIÓCENO	ISNOTU		BACHAQUERO	E O C C E N O	M I S O A		C - 3		
	LAGUNILLAS		LAGUNA				C - 4		
			LAGUNILLAS INF.				C - 5		
	L. ROSA								
OLIGO.	ICOTEA	A - 9							
E O C C E N O	M I S O A		B - 1						C - 6
			B - 2						C - 7
			B - 3						
			B - 4						
			B - 5						
			B - 6						
			B - 7						
			B - 8						
			B - 9						
					C - 1				
			C - 2						
PALEO	GUASARE			CRETACEO	COLON				
	MITO JUAN								
								SOCUY	
BASAMENT.	LUNA								
	COGOLLO								
	APON								

Fig. 2



SO-NE SECCION TRANSVERSAL B. C. F. - AREA TIA JUANA

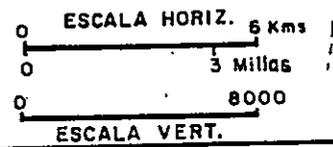


Fig. 3

agua lacustre y la discordancia Mioceno-Eoceno está representada por la línea ondulada que buza al suroeste. Se observa el Mioceno discordante por encima de estratos eocenos desde las series B superiores hasta las C inferiores. También es aparente que en general las unidades eocenas sucesivamente más antiguas infrayacen la discordancia de norte a sur, ya que el truncamiento pre-Mioceno aumenta en esa dirección. Sin embargo, el extenso fallamiento de bloques de las unidades eocenas antes de su erosión parcial complica el cuadro bidimensional del sistema eoceno en contacto con la discordancia.

Puede, pues, visualizarse cómo un pozo podría atravesar cientos de pies de capas eocenas por debajo de la discordancia sin encontrar intervalo alguno correspondiente a la nomenclatura B-C. Las fallas cercanas pueden impedir la correlación con pozos adyacentes y la misma sección perforada también puede estar acortada por fallamiento. La discontinuidad de arenas y guías de registros eléctricos dificulta la aplicación de unidades B-C en regiones de escasa información; por ejemplo, el Eoceno de los campos de Boscán y Mara-La Paz, algo aislados al noroeste del lago, aún no se ha correlacionado en detalle firmemente con el intervalo equivalente en los Campos Costaneros del Distrito Bolívar. Otra dificultad es el hecho de que los estratos de la Formación Misca se hacen progresivamente más arenosos hacia el suroeste hasta que en los campos del Centro del Lago, las areniscas prominentes como la B-6 y la C-4 pierden su identidad en una sección espesa de areniscas macizas.

En resumen, la correlación del Eoceno en la región del Lago de Maracaibo por medio de registros eléctricos adolece de defectos y dificultades. Esta técnica se ha empleado a falta de otra mejor, pero desde hace mucho tiempo se requiere otra más satisfactoria o por lo menos complementaria. En años recientes las zonaciones palinológicas han contribuido a solucionar el problema, como se demuestra en las páginas siguientes.

PALINOLOGIA

En 1945 la Creole Petroleum Corporation inició un estudio paleobotánico con el fin de correlacionar horizontes estratigráficos por medio de microfósiles florales, esencialmente polen y esporas. El proyecto, conducido por el Dr. R. H. TSCHUDY, se completó en 1950. Su informe es uno de los primeros en analizar el contenido de polen en sedimentos distintos de lignitos o turbas.

La aplicación de la palinología a la estratigrafía se basa en el hecho de que durante determinados períodos, usualmente habrá ciertos cambios en la flora terrestre adyacente a una cuenca sedimentaria. Se ha observado que después del retiro de un glaciar, la especie dominante en la región es el polen gramíneo; las gramíneas son las primeras ocupantes de un área erosionada por glaciares. Eventualmente en la historia de la región, los árboles y otras plantas reemplazarán gradualmente a las gramíneas. El grado de reemplazo se refleja en la proporción relativa de polen de gramínea y de árboles determinado en los lodazales de dicha zona. El mismo principio puede aplicarse al Terciario de Venezuela.

La distribución de la vida en la tierra y agua está controlada principalmente por la temperatura. Los arrecifes coralinos se restringen en su casi totalidad a las regiones ecuatoriales, pero otros grupos de organismos se duplican al norte y sur del ecuador. Sobre tierra firme esta zonación climática se refleja también en la

distribución de las plantas y, en menor grado, de los animales. El polen y las esporas, contrariamente a la mayoría de los fósiles comunes, se originan en tierra; llegan desde su punto de origen al sitio de sedimentación por medio de corrientes eólicas, sedimentación directa o transporte acuático, y se presentan en sedimentos continentales, paludales y marinos. Una vez incorporados a la cuenca sedimentaria, su distribución está regida por la acción de las corrientes. Los cambios en la flora pueden producirse de varias maneras: por cambios climáticos, cambios en las condiciones del suelo, cambios diastróficos y finalmente, cambios evolutivos. Se ha comprobado que los cambios climáticos, de alcance ya sea continental o global, ocurren periódicamente. Estos cambios afectarán la flora terrestre, ya que muchas especies florales son extremadamente sensitivas con respecto al clima. Los efectos diastróficos, tales como un ligero levantamiento de un área positiva, pueden resultar en un drenaje mejor que varía el contenido de agua en ciertas zonas y afectaría por lo tanto el contenido floral; en contraste, un leve hundimiento de la tierra puede imponer condiciones pantanosas y cambiar así la abundancia relativa de algunos constituyentes florales.

A veces, estos cambios han sido cíclicos y han permitido el regreso de muchas especies que previamente habían tenido que emigrar. Estos cambios florales se reflejan en la materia vegetal enterrada con los sedimentos de la cuenca. Donde se dispone de suficiente información se observa que los cambios en el contenido floral fósil constituyen excelentes planos de referencia u horizontes guías. Debido a que la palinología se basa en floras terrestres, en contraste con las faunas marinas que constituyen la mayoría de los fósiles, no puede esperarse que las interrupciones florales coincidan siempre con discontinuidades en la fauna; más bien se esperaría un cambio más gradual en los elementos florales que en la fauna. Los métodos aplicables a la palinología son esencialmente idénticos a aquellos que se emplean en cualquier otra rama de la paleontología; existen dos tipos generales: cualitativo y cuantitativo. Los métodos cualitativos son excelentes para distinguir intervalos muy extensos de edades, pero no satisfacen los requerimientos de las subdivisiones más detalladas de las épocas, que sólo se logran por métodos estadísticos o cuantitativos. Por ejemplo, si un ligero levantamiento de la tierra cambia las condiciones edáficas de tal manera que las proporciones relativas de un elemento floral varían con respecto a las de otro, este cambio no se podría determinar por análisis cualitativo, pero se observará claramente con el estudio estadístico o cuantitativo. Durante el Terciario Inferior de Sur América noroccidental la evolución parece haber contribuido poco o nada al origen de las especies guías de polen y esporas. Una especie dada puede aparecer, desaparecer y reaparecer después de gran parte de toda una época. Su utilidad estriba en la combinación de las demás especies asociadas, ya que nunca o muy raramente aparece dos veces la misma combinación de especies. Debido a que los sedimentos estudiados contienen gran número de especies (aproximadamente 450), muchas de ellas raras o sin valor aparente, se ha seleccionado un conjunto limitado de 35 formas persistentes para los contajes y determinación de proporciones. El empleo de "especies claves" ahorra tiempo y esfuerzos. Además, el método permite revisar más material de una sola muestra y contar más granos de especies significativas, lo cual arroja resultados estadísticamente más exactos. El hecho de que los cambios ambientales sean tan persistentes sobre grandes extensiones geográficas indica su relación con los cambios regionales de clima. Por lo tanto es razonable considerar que las zonas de polen basadas en métodos estadísticos son de verdadero valor como líneas de tiempo. Las partes de la cuenca más difíciles de interpretar en base a su contenido floral son aquellas que contienen mucho lignito, donde la flora

se deriva a veces de ambientes muy confinados y carece de los guías presentes en regiones que recibieron asociaciones más cosmopolitas. El extremo opuesto se presenta al cambiar de condiciones de plataforma a ambientes de agua de mar abierto, donde el contenido de polen disminuye abruptamente debido a la mala preservación y lejanía de la fuente.

El método estadístico se ha aplicado con bastante éxito en los sedimentos eocenos de la Cuenca de Maracaibo, y existe el convencimiento de que es el método a seguir en el futuro en Venezuela y en cualquier otra parte.

MÉTODOS USADOS

La gran mayoría de las especies fósiles reconocidas en Venezuela son nuevas para la ciencia. Su clasificación, en base principalmente a su anatomía y los altoprelieves de la exina, se ha agilizado mediante el empleo de un código taquigráfico. A medida que se recopile más información, los ejemplares podrán ser designados formalmente por género y especie.

Las secciones se examinaron por enumeración de todas las "especies claves"; para lograr suficiente exactitud se contaron entre 75 y 100 especies claves por muestra. La información obtenida se pasó a las correspondientes cartas florales, base para el cálculo de los porcentajes, que se ubicaron en un diagrama de polen. La información de la carta floral y el diagrama de polen se usó para obtener parámetros tales como las relaciones de abundancia entre especies, que indican los cambios en la concentración relativa de los dos elementos (usados en la comparación) en la flora terrestre alrededor de la cuenca durante la sedimentación. Finalmente se obtuvo información principalmente de las cartas florales, pero también de los diagramas porcentuales de polen, para establecer la extensión aproximada de especies seleccionadas en relación con los diferentes miembros de las formaciones Misoa y Trujillo. Esta información permite trazar zonas florales que en opinión del suscrito son fidedignas y aplicables a los sedimentos eocenos de los Campos Costaneros del Distrito Bolívar.

ZONACION GENERALIZADA EN EL AREA DE LOS CAMPOS COSTANEROS DEL DISTRITO BOLIVAR

La Figura 4 es un diagrama de polen simplificado que muestra el porcentaje de presencias de sólo 4 de las especies significativas seleccionadas encontradas en la sección de control del Eoceno de los Campos Costaneros del Distrito Bolívar. Las líneas continuas representan unidades del registro eléctrico; las líneas interrumpidas indican las zonaciones mayores de polen. Por ejemplo, la zona II se caracteriza por más de 50% de TcSp-1 y sólo escasos TcR-10. La zona III contiene la especie TcSp-1 en menor abundancia, junto con un marcado incremento en el porcentaje de la especie TcR-10. La zona IV muestra una marcada disminución de TcR-10, un aumento de TcR-109 y ausencia de IR-38. Al entrar en la zona V, IR-38 se hace más abundante que en cualquiera de las zonas anteriores y se asocia consistentemente con TcSp-1, que se mantiene por debajo del 50%. En la práctica, el método se convierte en un proceso de eliminación para obtener la mejor correlación entre la muestra y una de las zonas, y aún en esa forma es a veces difícil.

T_cR-10 *Palearcticalponites crassus*
 T_cR-109 *Retrievitricolpites taraxacoides*

VARIACIONES ESTADÍSTICAS DEL POLEN. EOCENO

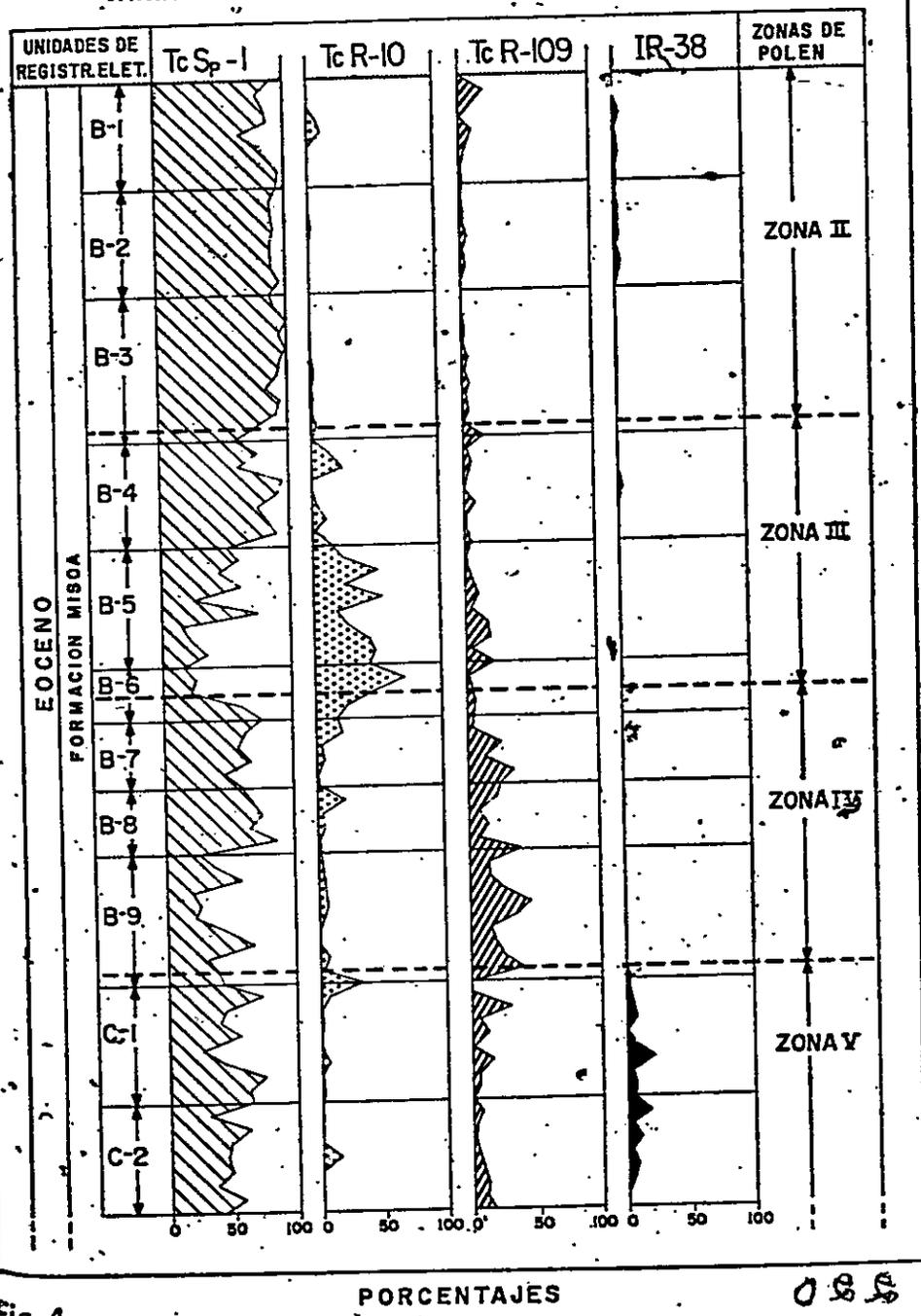


Fig. 4

PORCENTAJES

0 50 100

Debe recordarse siempre que las deducciones palinológicas no pueden ser mejores que las muestras de las cuales se extrae el polen. Los núcleos convencionales y de pared son muy deseables para el trabajo con polen, especialmente si se trata de establecer horizontes que dependen de la disminución o desaparición de especies. Sin embargo, las muestras de canal tomadas con cuidado han dado resultados satisfactorios. Así, los cambios en el contenido de polen y esporas demuestran la utilidad de los métodos estadísticos en el estudio de una cuenca sedimentaria.

APLICACION REGIONAL

Los resultados regionales obtenidos de estudios palinológicos indican que hubo tres ciclos transgresivos principales durante el Eoceno de la Cuenca de Maracaibo. Aparentemente estas transgresiones y regresiones estuvieron acompañadas por una inestabilidad tectónica mínima. Esto se evidencia en la dificultad de encontrar discordancias físicas donde la palinología indica interrupciones zonales, como también en persistencia general de los estratos en una sección dada. Durante cada transgresión del Eoceno, el mar avanzó hacia el sur y el oeste de la cuenca. Si este sector estuvo rodeado de planos costaneros bajos y pantanosos, un leve retiro del mar produciría la emersión de extensas zonas playeras, pero el relieve topográfico sería demasiado bajo para dar lugar a una erosión apreciable. Las fluctuaciones suaves de este tipo producirían una sedimentación discontinua, pero dejarían muy poca evidencia física de las discordancias resultantes. Tales condiciones favorecerían también el desarrollo de ríos cargados de sedimentos en suspensión, que tenderían a construir anchos deltas. Por lo tanto, pueden esperarse complejos deltaicos en los sedimentos marginales al mar. Es bien conocida la existencia en el Eoceno de una provincia de plataforma que pasa a una cuenca profunda. Es interesante mencionar que en las localidades aproximadamente correspondientes al margen de la plataforma decrece la abundancia de polen y aumenta el porcentaje de fósiles marinos. Esto corresponde aproximadamente a una línea a lo largo de la presente costa oriental del Lago de Maracaibo (Cabimas, Lagunillas y Bachaquero). En tiempos post-Misoa hubo una elevación del nivel marino, o un hundimiento de las áreas positivas, mayor que cualquier otra durante el Eoceno. En las secciones orientales del lago y de las costas de esta zona, las lutitas de la Formación Paují son de carácter más marino que los sedimentos de la Formación Misoa infrayacente.

La Figura 5 es un corte generalizado de las relaciones estratigráficas entre el Eoceno de la parte oriental (Campos Costaneros del Distrito Bolívar) y el de la parte occidental (Sierra de Perijá) del lago. La palinología indica que hubo sedimentación regional en tiempos de "C" inferior (C-4 o más antiguo). En tiempos de "C" superior los mares se retiraron, para transgredir nuevamente en época "B". La sedimentación durante el intervalo B fue mucho más restringida que durante el C inferior y no alcanzó su máxima extensión hasta el tiempo B-3. Otra regresión posiblemente tuvo lugar durante el B-superior o el Alfa más antiguo, seguida por la transgresión eocena más extensa de todas en tiempos Alfa. En la parte suroccidental de la cuenca la sedimentación fue continua desde el Eoceno hasta el Oligoceno, mientras que la región nororiental fue elevada y estuvo sujeta a erosión durante ese intervalo.

La regresión de C superior estuvo marcada por la disposición regresiva de los estratos en dirección noreste y culminó con erosión activa en el suroeste. La transgresión B produjo superposición transgresiva de capas hacia el suroeste. El hiato entre las secuencias B y C es, por lo tanto, más pronunciado en el sector suroccidental. Anteriormente, la ausencia de capas observada en las correlaciones de registros eléctricos se interpretaba por fallamiento, pero la recopilación de datos palinológicos ha revelado la situación de cuña regresiva-transgresiva.

APLICACION LOCAL

Ya se ha mencionado que las curvas de los registros eléctricos exhiben características similares a niveles muy separados del Eoceno. La Figura 6 ilustra uno de estos casos. La alineación entre estos dos pozos parece perfecta y la correlación parece mejor aún que muchas establecidas entre pozos más cercanos de esta zona. Se concluiría por lo tanto, que PB-219 fue perforado justamente encima de las excelentes arenas petrolíferas penetradas por TJ-275, que estarían a un nivel estructuralmente más alto en unos 430 metros (1.300 pies). Para confirmar la correlación postulada se estudió el contenido de polen en las muestras de ambos pozos. En TJ-275 las zonaciones de polen concordaron con las correlaciones previas de registros eléctricos; sin embargo, la sección de PB-219 forma parte del intervalo B-2/3 de polen, a un nivel mucho más alto estratigráficamente que el intervalo B-5/6, tan similar en TJ-275. En base a esta correlación revisada, las arenas prospectivas estarían a un nivel unos 200 metros (600 pies) más bajo estructuralmente que las

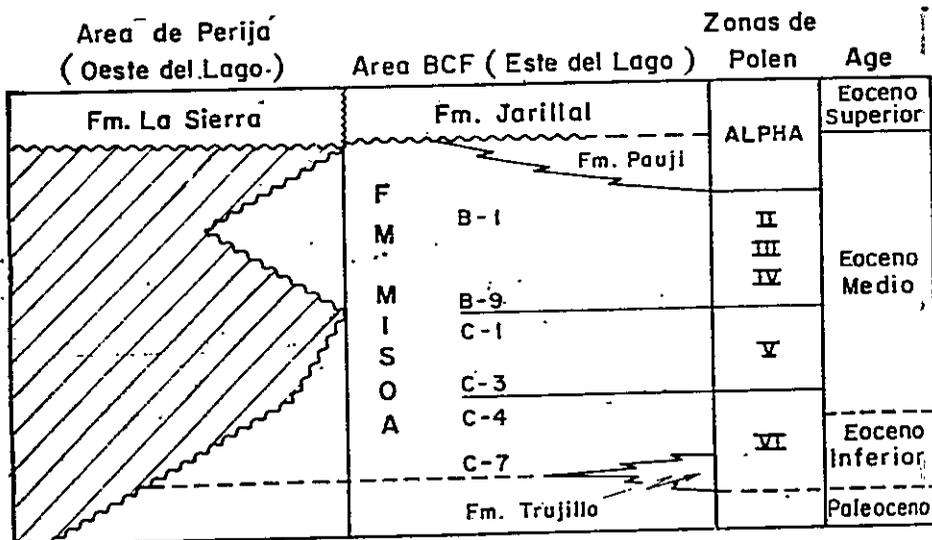


Fig.5

comparables en TJ-275. Mediante la palinología se descubrió un "prospecto favorable" falso antes de la perforación, que se pudo eliminar.

En conclusión, se considera que es posible localizar grandes reservas de petróleo en trampas estratigráficas, difíciles de descubrir por métodos convencionales. La búsqueda de estas trampas por el geólogo debe basarse en estudios estratigráficos mucho más detallados que los del pasado. Será esencial determinar líneas de tiempo precisas, y no límites de facies que se equiparen con líneas de tiempo.

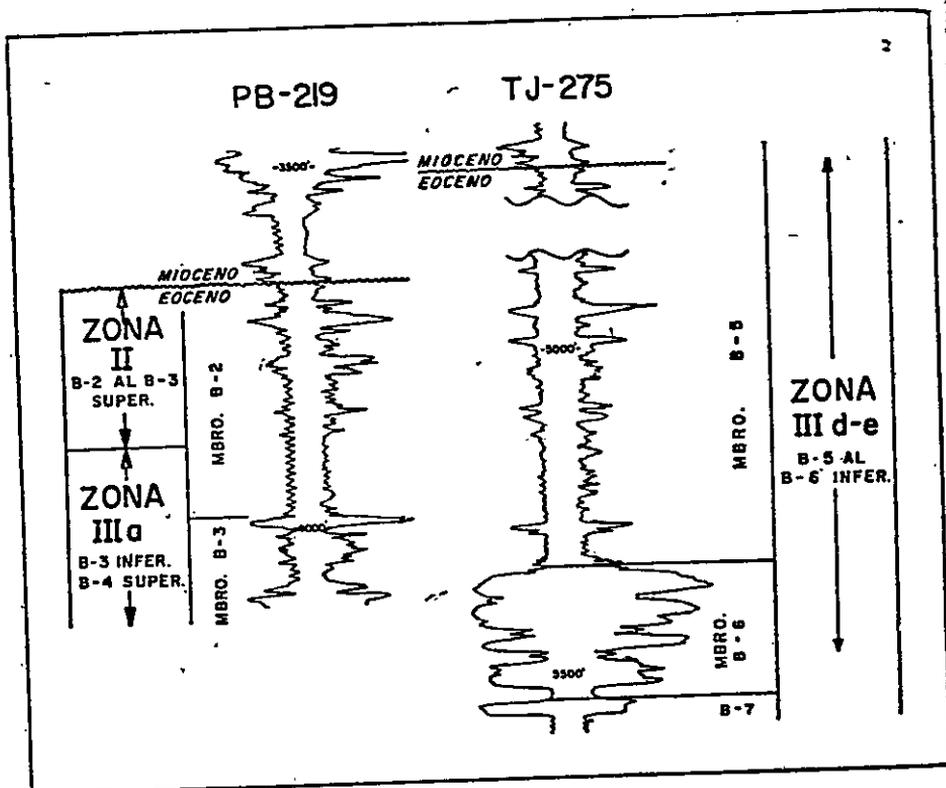


Fig. 6