

**PERIODICIDAD CLIMATICA Y EVOLUCION DE FLORAS SURAMERICANAS  
DEL MAESTRICHTIANO Y DEL Terciario**

**(UN ESTUDIO BASADO SOBRE ANALISIS DE POLEN EN COLOMBIA)**

(con 1 plancha y 9 figuras)

**POR**

**THOMAS VAN DER HAMMEN**

**PALEOBOTANICO - JEFE**

## CONTENIDO

RESUMEN .....	9
INTRODUCCIÓN .....	11
DATOS ANALÍTICOS DE POLEN .....	13
a) Correlación con base en cambios de vegetación y de clima .....	13
b) Métodos de trabajo .....	15
c) Descripción del diagrama de polen (Maestrichtiano-Mioceno Inferior) .....	18
d) Evolución y migración de especies .....	26
INTERPRETACIÓN ADICIONAL DE LOS DATOS ANALÍTICOS DE POLEN .....	29
e) Periodicidad de los cambios de vegetación .....	29
f) Naturaleza y causas de los cambios periódicos de la vegetación .....	32
g) Relación entre los cambios periódicos de la vegetación y evolución .....	38
h) Relación entre los cambios periódicos de vegetación, transgresiones y movimientos tectónicos .....	39
i) Un nuevo criterio estratigráfico .....	42
j) Conclusiones .....	44
Addendum .....	46
REFERENCIAS .....	48

## INDICE DE ILUSTRACIONES

- Plancha I. Diagrama palinológico compuesto (Maestrichtiano-Mioceno Inferior).
- Figura 1. Algunos representantes de los diferentes grupos de polen usados en los diagramas.
- ” 2. Algunos representantes de los diferentes grupos de esporas usados en los diagramas.
- ” 3. Origen y migración del género de palmas *Astrocaryum*.
- ” 4. Mapas areales de los géneros de palmas *Mauritia* y *Lepidocarium* (Mauritiaeae), con líneas que conectan sitios con igual número de especies.
- ” 5. Subdivisión del Maestrichtiano y del Terciario sobre la base de períodos de 6 y de 2 millones de años.
- ” 6. Curva de temperatura basada en plantas microfósiles de los Estados Unidos, comparada con una curva basada en la frecuencia del grupo de *Monocolpites medius* en Colombia.
- ” 7. Subdivisión del Mioceno con base en investigaciones paleontológicas y estratigráficas hechas por BUERGL c. s. (1955) en el Departamento del Atlántico (Colombia), correlacionada con los ciclos de 6 y de 2 millones de años.
- ” 8. Esquema de la supuesta correlación de los cambios cuantitativos de la vegetación, de fluctuaciones de temperatura y de radiación cósmica, transgresiones climáticamente determinadas, movimientos tectónicos y tipogénesis.
- ” 9. Los límites del Oligoceno-Mioceno y Mioceno-Plioceno en relación con los períodos de 6 millones de años y distintas escalas de tiempo “absoluto”.

## RESUMEN

El presente artículo trata (capítulo I) sobre datos de análisis de polen en Colombia, Suramérica, e incluye un diagrama completo que se extiende desde la base del Maestrichtiano hasta el inicio del Mioceno. Para la construcción se usaron principios especiales. El diagrama demuestra cambios periódicos en la composición numérica de la flora, asociados con la aparición de nuevas especies y la extinción de otras. Se pueden distinguir ciclos de 2 y de 6 millones de años, de los cuales los de 6 millones de años corresponden a *épocas* o *edades* (Paleoceno, Eoceno Inferior, etc.). El problema de evolución y migración se trata a la luz de estos y otros datos de análisis de polen.

En el capítulo II se aporta una interpretación adicional de los datos de análisis de polen, considerando las causas de los cambios de la vegetación (cambios de temperatura) y de la evolución. También se discute la relación entre estos cambios y los movimientos tectónicos y las transgresiones, y se muestra que estos movimientos pueden tener en parte una periodicidad comparable a la de los cambios de vegetación y de evolución, pero en estos casos ellos siempre son algo retardados. El registro de cambios periódicos de temperatura por medio de estadísticas de polen se propone como un posible nuevo criterio estratigráfico que sería independiente de fósiles índices, migración de especies, etc.

## INTRODUCCION

*En el transcurso de las investigaciones sobre análisis de polen y estratigrafía que hemos llevado a cabo durante los últimos cinco años en Colombia, Suramérica, con respecto a unidades sedimentarias del Cretáceo más Superior y del Terciario, han salido a luz algunos datos interesantes que, en opinión de nosotros, no sólo son de importancia local sino que tienen un significado mundial y que nos condujeron a formar el marco de una teoría de periodicidad. Con el fin de separar claramente los datos palinológicos exactos de la teoría, trataremos primero los resultados reales y enseguida nos referiremos a la interpretación, teórica en parte.*

*Estoy muy agradecido de muchos amigos y colegas que me asistieron con su ayuda, discutiendo los diferentes problemas expuestos en este artículo y dando sugerencias. Entre ellos deseo mencionar en primer lugar al doctor Enrique Hubach, Director del Instituto Geológico Nacional, quien estimuló el progreso de mi trabajo con el continuo interés personal, y quien me ayudó con su conocimiento detenido de la geología de Colombia.*

*También expreso mi gratitud al doctor Hans Bürgl, al Profesor doctor F. Florschütz y al doctor Johs Iversen, por sus consejos útiles y por su ayuda.*

*La Colombian Petroleum Company puso a mi disposición su extensa colección de muestras corazonadas de perforación en la Concesión Barco (región del Catatumbo, Norte de Santander), que sirvieron como base importante para el establecimiento de una parte del diagrama de polen. Desde este lugar quiero expresar mi sincera gratitud al Gerente de esta Compañía y a los geólogos de la Concesión Barco.*

*La colaboración sin interrupción de todo el personal del Departamento de Paleobotánica del Instituto Geológico Nacional fue de importancia decisiva para la realización de este estudio: la señorita Cecilia García Barriga y el señor Enrique González fueron los asistentes científicos; la señorita Irma Cortés hizo los gráficos, y el señor Juan B. Perico preparó todas las muestras en el laboratorio y fue mi ayudante durante el trabajo de campo en las diferentes regiones del país.*

## CAPITULO I

### DATOS DE ANALISIS DE POLEN

#### a) *Correlación con base en cambios de vegetación y de clima*

La mayor parte del trabajo analítico de polen hasta ahora ha sido hecho con respecto a cambios de vegetación del Pleistoceno y del Holoceno, que fueron producidos por variaciones climáticas, mientras que la evolución de especies es de poca importancia. En esta relación es decisivo, para la comprensión de nuestros puntos de vista, dar en la introducción una corta ojeada sobre los problemas.

En vastas regiones de Europa y de Norteamérica, la vegetación cuaternaria de selva fue removida y reemplazada, debido a la influencia de períodos sucesivos de clima frío y templado. En consecuencia, la inmigración y la emigración de especies existentes con dirección general Norte-Sur y Sur-Norte, fue un factor importante. Mas, la migración de ciertas especies de árboles embarga tiempo, y las especies, en el caso de un clima que va mejorando, llegarán, más tarde o más temprano, a su sitio, según sea la latitud de éste. Así, el primer arribo de una especie tratada en los diagramas de polen de varios sitios de diversas latitudes no será sincrónico. Este problema ha sido tratado anteriormente (VAN DER HAMMEN, 1951), cuando se adelantó la opinión de que en estos casos los límites exactos de tiempo solamente pueden trazarse sobre la base de la frecuencia de cambios de especies ya presentes.

La "conditio sine qua non" para esta clase de correlaciones consiste en que los cambios climáticos generales que originan los cambios de vegetación, sean exactamente simultáneos sobre vastas regiones o sobre todo el mundo. Hasta hace poco, esto sólo fue una materia de suposición. Pero desde que el fechamiento con  $C_{14}$  probó que el interestadial de Alleröd del Tardiglacial era contemporáneo en toda Europa y en Norteamérica y que, además, el último avance importante de hielo a continuación de este interestadial, no solamente es contemporáneo en el Hemisferio Norte sino probablemente también en el Hemisferio Sur, podemos considerar como un hecho que los grandes cambios climáticos del Cuaternario fueron simultáneos a través de toda la Tierra y que no fueron causados por movimientos polares sino por influencias provenientes directamente de fuera de la Tierra.

Dirigiendo nuestra vista hacia el Terciario, hallamos que uno de los pocos aspectos conocidos y reconocidos en general se refiere a que el clima, en el decurso de este período, iba volviéndose gradualmente más frío, simultáneamente, sobre todo el Hemisferio Norte. De mucho interés es en

esta relación un artículo de GERTH (1941), porque muestra, sobre la base de la distribución de la flora fósil de *Nothofagus*, de Suramérica, que el clima de la parte Sur del Hemisferio Occidental se volvió más frío durante el Terciario, justamente lo mismo como en el Hemisferio Norte. Esta tendencia general de desmejoramiento del clima dio por resultado una clara separación, en fajas latitudinales, de clima y vegetación tal como las conocemos hoy día.

Un traslado de la vegetación en fajas latitudinales también acontece sobre todo el mundo durante el Paleozoico Superior, en parte acompañado de glaciación. De estos hechos podemos concluir que algunos factores, que obran simultáneamente en toda la Tierra, causaron cambios sincrónicos en la vegetación, cualquiera que fuese la composición específica de esta vegetación.

Si nos fuera dable registrar estos cambios de la vegetación de un modo detallado, ellos serían una base excelente para correlaciones exactas de tiempo, de dimensiones mundiales. Por varias razones, el análisis de polen parece ser la ciencia más adecuada para resolver el problema de registro. Labora con un material que está presente doquiera y se halla abundantemente en muchos sedimentos, terrestres o marinos, y por lo tanto las investigaciones estadísticas se pueden verificar normalmente. Además, la Palinología ya ha mostrado su valor en cuanto a la correlación de las edades de glaciación del Pleistoceno.

Ahora, como una materia de facto, la evolución desempeña un papel sobresaliente en la historia de la flora precuaternaria. Pero, desde que, durante el período terciario, la vegetación estaba dividida en regiones de flora distintas, una diferencia profunda de especies de polen se presenta, por ejemplo, entre el Eoceno de Suramérica y el Eoceno de Europa. Además, según se observará adelante, aun dentro de un área de flora, una especie nueva requiere un lapso considerable para migrar de su lugar de origen a otras regiones. Empero, las asociaciones de polen son bastante constantes dentro de partes mayores de un área de flora.

De estos hechos podemos deducir las siguientes conclusiones:

1. Correlaciones dentro de sectores grandes de un área de flora se pueden ejecutar sobre la base de asociaciones de tipos de polen, pero jamás sobre la base de una o unas pocas especies.
2. Correlaciones dentro de un área completa de flora y correlaciones mundiales pueden llevarse a cabo con base en investigaciones cuantitativas de polen, registrando cambios importantes de vegetación (excluyendo fenómenos locales). La base de estas correlaciones es el concepto de que, cualquiera que sea el contenido específico de la flora, estos cambios profundos de vegetación, estadísticamente registrados, son la respuesta a cambios grandes y mundiales.

Sobre la base de estas consideraciones hemos tratado de adaptar el método estadístico de polen para satisfacer el registro de los cambios importantes de vegetación que acabamos de mencionar. Este método de trabajo se explica en el párrafo siguiente.

## b) *Métodos de trabajo*

Ante todo deseamos atraer la atención hacia el hecho de que nuestros métodos polen-analíticos de trabajo son diferentes de los que generalmente se usan. Los principios básicos de nuestro método de trabajo fueron publicados hace algún tiempo (VAN DER HAMMEN, 1954 a), en un estudio sobre el desarrollo de la flora y de la vegetación del Maestrichtiano, pero los hemos extendido en algunos aspectos, para ajustar las floras de polen del Terciario (VAN DER HAMMEN, 1957). Así, los diagramas (véase plancha I) fueron elaborados del siguiente modo:

1. De cada manto de carbón o de lignito se analiza una serie de muestras, y el porcentaje promedio para cada especie o grupo se calcula de la suma de estos análisis; o se hace un análisis de una muestra mixta de toda esa serie.
2. Se cuentan unos 200 a 300 granos de polen en cada muestra, y el porcentaje se calcula sobre la base de la suma de todos los granos de polen y de esporas de Pteridophytas.
3. Los espectros compuestos de una serie de sedimentos se reparten en un diagrama cuyo eje horizontal representa los porcentajes de diferentes grupos de polen y de esporas, agregados uno encima de otro, mientras que el eje vertical corresponde a la separación de los espectros en la columna estratigráfica. Los mejores resultados, en nuestro caso, se obtuvieron con una escala de 1:2.000 para la columna estratigráfica, y de 10 centímetros para el 100% de la suma del polen y de las esporas. Sin embargo, la escala puede cambiarse, de acuerdo con el espesor relativo de los sedimentos.
4. Los grupos de polen y de esporas (las especies mencionadas han sido descritas en VAN DER HAMMEN, 1954 a y 1956 b) se emplazan uno encima de otro, y se disponen de la siguiente manera (véase plancha I, figs. 1 y 2):

a) De izquierda, los porcentajes de los diferentes grupos de polen de palmas (fig. 1), en el orden:

Grupo de *Monocolpites medius* (incluyendo *M. minutus*, *medius*, *huer-tasi*, *grandis* y formas cercanamente relacionadas, todas relacionadas con algunos géneros recientes de palmas).

Grupo de *Monocolpites franciscoi* (incluyendo todos los granos de polen de las Mauritiaceae).

Grupo de *Proxapertites operculatus* (incluyendo todas las variedades de esta especie y formas cercanamente relacionadas, todas estas cercanamente relacionadas con la especie reciente de *Astrocaryum acaule*).

b) De derecha, los porcentajes de los diferentes grupos de esporas (fig. 2), en el orden:

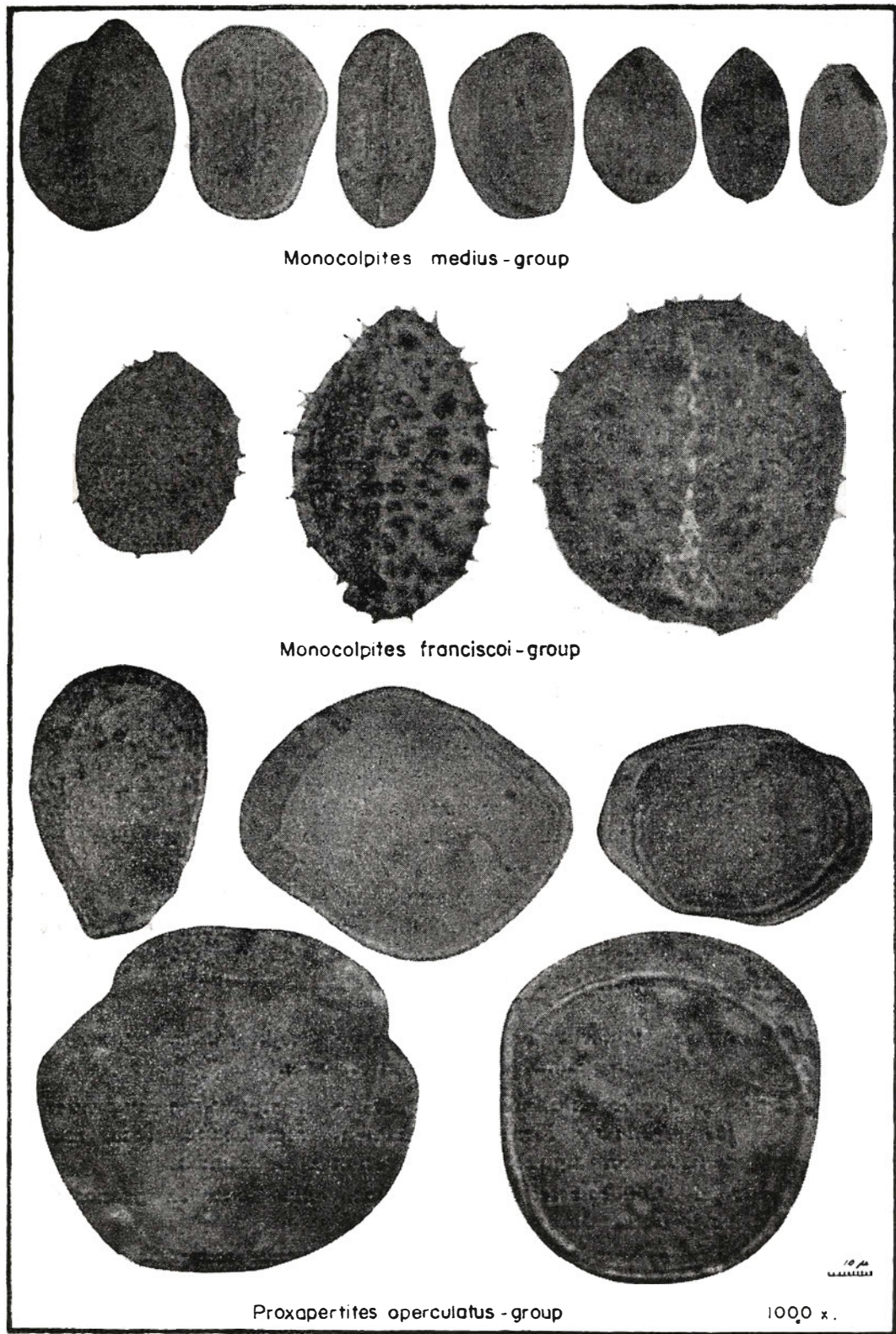


Fig. 1

ALGUNOS REPRESENTANTES DE LOS DISTINTOS GRUPOS DE POLEN DE PALMAS USADOS EN LOS DIAGRAMAS

SOME REPRESENTATIVES OF THE DIFFERENT PALM-POLLEN GROUPS USED IN THE DIAGRAMS



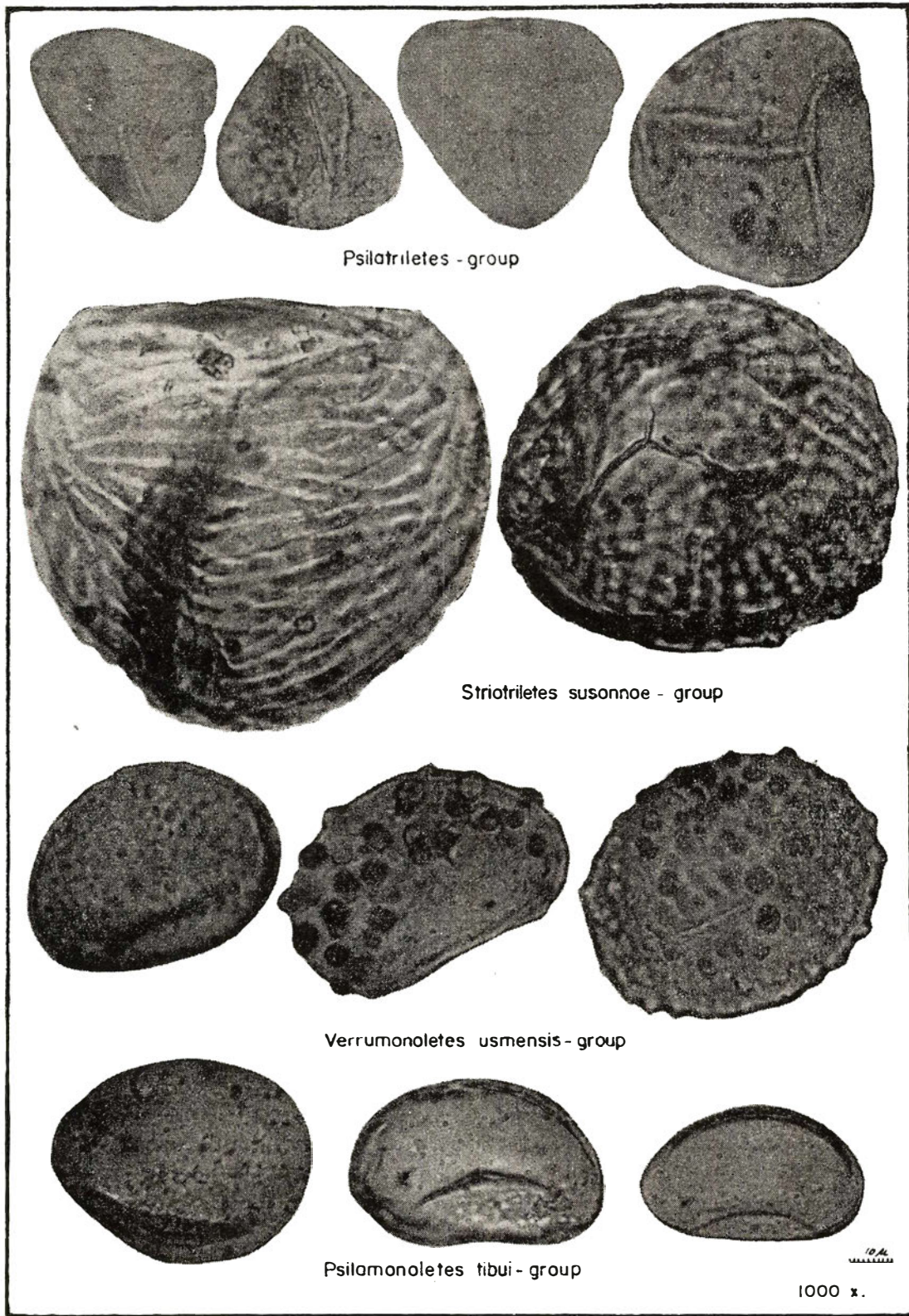


Fig. 2

ALGUNOS REPRESENTANTES DE LOS DISTINTOS GRUPOS DE ESPORAS USADOS EN LOS DIAGRAMAS  
 SOME REPRESENTATIVES OF THE DIFFERENT SPORE-GROUPS USED IN THE DIAGRAMS

- Grupo de *Psilatriteles* (incluyendo todas las esporas triletes, principalmente psiladas, excluyendo el grupo *Striatriteles susannae*).
- Grupo de *Striatriteles susannae* (incluyendo esta especie y formas relacionadas de esporas, que pertenecen en parte, o son cercanos parientes, al género reciente *Aneimia*).
- Grupo de *Verrumonoletes usmensis* (incluyendo las esporas mono-lete-verrucadas *V. usmensis* y *V. usmensoides*, y las formas cercanamente relacionadas, que probablemente pertenecen principalmente a las Polypodiaceae).
- Grupo de *Psilamonoletes tibui* (incluyendo todas las esporas mono-lete-psiladas: en parte de este grupo se hallan especies que no tienen abertura clara y que, conforme a eso, más bien habría que clasificar como "alete", pero siendo en lo demás idénticas con especies monoletes, se han referido aquí a este grupo).
- c) En la mitad, entre los grupos de polen de palmas (izquierda) y los grupos de esporas (derecha), están los porcentajes de la suma de todos aquellos granos de polen de Angiospermas (principalmente Dicotiledóneas) que no están incluidos en los grupos de polen de palmas. Llamaremos este grupo sencillamente "Grupo de Angiospermas".

Este tipo de diagrama se referirá como Diagrama PAF (Palmas, Angiospermas-Helechos = Ferns), entendiéndose, desde luego, que estos grupos son considerados en cuanto a la parte tropical de Suramérica, y habrá que cambiarlos para otras áreas de flora.

Además de este diagrama principal, se pueden trazar curvas en la forma usual para las especies separadas de Angiospermas, etc., y de los grupos mencionados.

Este tipo de espectros y de diagrama se ha escogido, después de muchos experimentos con otros tipos, porque refleja mejor los cambios importantes, numéricos, del total de la flora (de polen) y excluye cambios menores que pueden ser de origen local, como también cambios en las sucesiones de vegetación local. Estas sucesiones últimas, expuestas en diagramas basados en una serie de muestras superpuestas provenientes de un manto de carbón, pueden ser importantes para la correlación de mantos de carbón en una localidad minera, pero son de poco valor para correlaciones estratigráficas sobre distancias mayores.

Aun cuando solamente se han usado mantos de carbón para los espectros que componen nuestro diagrama, necesitamos acentuar que se han obtenido resultados similares del análisis de muestras de arcillas, en que cada espectro compuesto estuvo fundado en varios análisis de muestras, tomadas a distancias relativamente cortas entre sí.

### c) *Descripción del diagrama de polen (Maestrichtiano-Mioceno Inferior)*

La parte maestrichtiana del diagrama (plancha I) está compuesta de dos secciones combinadas de la Sabana de Bogotá (VAN DER HAMMEN, 1957); además, comprende el Paleoceno de secciones de Tibú (Catatum-

bo) y de Lebrija (VAN DER HAMMEN, 1957), el Eoceno Inferior y Medio de secciones combinadas de Tibú, el Eoceno Superior y el Oligoceno Inferior y Medio de secciones combinadas de Tibú y de Timba (al sur de Cali), y el Oligoceno Superior y el Mioceno más Inferior de secciones combinadas de Timba y de Antioquia. La combinación de las diferentes secciones y de las partes correspondientes del diagrama se elaboró muy cuidadosamente y se realizó únicamente cuando se cumplían las siguientes condiciones:

1. En el caso de haber existido una superposición de al menos dos zonas de polen.
2. Que las partes superpuestas del diagrama se correspondían completamente en el curso de sus curvas diferentes o en el porcentaje relativo de espectros separados y en su contenido específico.
3. Que la sucesión estratigráfica de las diferentes secciones además correspondía una con otra.

Las diferencias de espesor relativo de las distintas secciones, si las había, fueron eliminadas mediante reducción proporcional o ampliación. Como una base para reducción adoptamos la escala 1:2.000, de las secciones de Tibú, Timba y Antioquia, las cuales tienen el mismo espesor en sus partes correspondientes. Como se enunció ya antes, todos los "espectros compuestos" han sido derivados de mantos de carbón, si bien obtuvimos resultados comparables —no incluídos aquí— con series de muestras de arcilla. Aquellas partes del diagrama que han sido reducidas sobre la base arriba aludida, están mencionadas en la plancha I.

Como todos estos espectros fueron obtenidos de mantos más bien gruesos de carbón, podemos estar seguros que todos ellos representan vegetación tropical de terrenos bajos, próximos al nivel del mar, de modo que no es necesario tener en consideración diferencias de altitud al comparar los diferentes espectros.

Podemos iniciar ahora la descripción del diagrama, comenzando con la parte más inferior (véase plancha I).

### *Maestrichtiano*

La parte más inferior del diagrama equivale al Maestrichtiano, y los resultados se publican en este mismo número con más detalles (VAN DER HAMMEN, 1957). El Maestrichtiano, con base palinológica, puede dividirse en tres zonas. Estas zonas, que son A, B y C, son idénticas con aquellas descritas hace tres años (VAN DER HAMMEN, 1954 a), con la única diferencia de que ahora preferimos colocar el límite entre las zonas B y C algo más alto, en donde comienza el máximo del grupo de *Monocolpites medius*, próximo al de la base de la zona B. La determinación de la edad ha sido comprobada suficientemente con los siguientes datos: 1º foraminíferos del Maestrichtiano y amonitas se hallan en toda la base de la zona A. 2º foraminíferos del Maestrichtiano todavía se hallan en la zona C del área del Catatumbo.

La parte maestrichtiana del diagrama solamente se compone de tres grupos: el grupo de *Monocolpites medius*, el de los demás tipos de Angios-

permas y el grupo de *Psilatrilletes* (principalmente *Psilatrilletes guaduen-sis*). Como la parte más inferior del Maestrichtiano es marina doquiera en Colombia, no se obtuvieron muestras de carbón de ese intervalo relativamente delgado, pero los mantos de carbón que siguen inmediatamente encima de esta parte muestran porcentajes, relativamente altos, del grupo de *Monocolpites medius*, y bajos porcentajes del grupo de *Psilatrilletes*. Luego la curva de *M. Medius* desciende, a medida que la del grupo de *Psilatrilletes* asciende. Una segunda cresta del grupo de *Monocolpites medius* viene en seguida, flanqueada por dos máximos de *Psilatrilletes*. A continuación, después de una caída, tenemos un tercer máximo del grupo de *Monocolpites medius*, otra vez flanqueado por máximos relativos del grupo de *Psilatrilletes*.

Inmediatamente después de cada una de las últimas dos crestas del grupo de *Monocolpites medius* aparece un número relativamente grande de nuevas especies (sobre este fenómeno, justamente después de la segunda cresta, véase el diagrama de las planchas II y III en VAN DER HAMMEN, 1954a). El máximo de la primera cresta del grupo de *Monocolpites medius* debe estar todavía algo debajo de la arenisca superior del Guadalupe, o en el hiato que puede existir entre esta arenisca y la formación de Guaduas.

Las tres zonas tienen aproximadamente el mismo espesor; solamente la zona C suele ser algo más delgada en algunos casos. Las tres zonas pudieron distinguirse sobre la base de máximos del grupo de *Monocolpites medius* y del grupo de *Psilatrilletes* (y sobre la base de asociaciones típicas de las demás Angiospermas), en todos los diagramas que hicimos del Maestrichtiano y en sitios que se hallan hasta 1.500 kms. de distancia entre uno y otro (longitud Norte-Sur de la Cordillera Oriental).

### *Paleoceno*

El Paleoceno se inicia con una cresta muy alta del grupo de *Monocolpites medius*, la mayor de todo el diagrama. Inmediatamente después de esta cresta, la composición específica (y cuantitativa) de la flora de polen cambia profundamente. *Proxapertites operculatus* constituye una parte importante del total, desde el inicio hasta el final del Paleoceno. El grupo de *Monocolpites franciscoi* (Mauritiaeae) aparece por primera vez en la base del Paleoceno, y también muchos tipos nuevos como *Tricolporites annae* (Bombacaceae), etc.

Una segunda cresta en el grupo de *Monocolpites medius*, y una tercera (pequeña, pero combinada con una cresta del grupo *Monocolpites franciscoi*), que se hallan a intervalos iguales, introducen algún cambio en la composición cuantitativa de la flora. Además unas pocas especies nuevas aparecen después de cada una de las crestas, pero el cuadro general no cambió de manera importante, hasta que después de la siguiente y muy alta cresta del grupo de *Monocolpites medius*, la vegetación vuelve a cambiar profundamente (al comenzar el Eoceno).

La edad paleocena de esta parte está probada por las siguientes investigaciones. La asociación típica de polen de esta sección del diagrama la encontramos también en el área de Cerrejón (Guajira), dentro de la formación de Hato Nuevo (Guajira occidental), que reposa sobre el Maes-

trichtiano fosilífero y debajo de la formación carbonífera del Eoceno. En el equivalente de la formación de Hato Nuevo, del lado venezolano de la frontera, la edad paleocena puede probarse por medio de foraminíferos.

### *Eoceno Inferior*

El Eoceno Inferior comienza con una cresta alta del grupo de *Monocolpites medius*, y poco debajo de ella está una cresta del grupo *Monocolpites franciscoi*. Inmediatamente después entran a figurar dos nuevos grupos, el de *Verrumonoletes usmensis* y el de *Psilamonoletes tibui*. Un número de nuevas especies de dicotiledóneas aparece después de la cresta de *Monocolpites medius*. Dos crestas mucho más bajas del grupo de *Monocolpites medius* vienen a continuación, cada una combinada con una cresta de los grupos de *Monocolpites franciscoi* y de *Psilamonoletes tibui*, en el siguiente orden: cresta de *Monocolpites franciscoi*, cresta de *Psilamonoletes tibui*, cresta de *Monocolpites medius*. Es de anotar que estas crestas, en la zona B, que es algo más gruesa, también están más espaciadas. La curva de *Monocolpites medius*, sin tener en cuenta las crestas mencionadas, es muy baja en la mayor parte del Eoceno Inferior, es decir, revela solamente uno o pocos por cientos.

La siguiente cresta vuelve a ser relativamente alta, y con su vértice se inicia el Eoceno Medio.

La edad de la sección descrita del diagrama se estableció como Eoceno Inferior por medio de correlación de polen de la parte más superior de la formación Los Cuervos y de la parte principal de la arenisca del Mirador (Catatumbo), sobre las cuales está fundada esta sección del diagrama, con formaciones que contienen foraminíferos en Venezuela (KUYL c. s., 1955).

### *Eoceno Medio*

El Eoceno Medio comienza con una cresta muy alta del grupo de *Monocolpites medius*, otra vez combinada con la cresta de otros grupos que van en el orden de: grupo de *Monocolpites franciscoi*, grupo de *Psilamonoletes tibui*, grupo de *Monocolpites medius*. Inmediatamente después de esta cresta se presentan unas pocas especies nuevas. Siguen dos crestas más bajas, a distancias cortas, combinadas con crestas del grupo de *Psilamonoletes tibui*. Tanto la del grupo de *Monocolpites medius* como la de *Psilamonoletes tibui* son relativamente altas a través de la mayor parte del Eoceno Medio, en cambio la del grupo de *Monocolpites franciscoi* es baja.

Con la cresta subsiguiente, que esta vez se combina con crestas tanto del grupo de *Psilamonoletes tibui* como del de *Monocolpites franciscoi*, se inicia la vegetación relativamente distinta del Eoceno Superior, que muestra el descenso brusco de todos los grupos de palmas y de esporas.

El Eoceno Medio es relativamente delgado, probablemente a causa de movimientos orogénicos que son generales en Colombia y Suramérica.

La edad de la sección descrita del diagrama se estableció como Eoceno Medio, correlacionando el polen de la parte más alta de la Arenisca

del Mirador (que sirve de base a esta sección del diagrama) con formaciones que contienen foraminíferos en Venezuela (KUYL c. s., 1955). Además, esta parte se puede correlacionar litológicamente con una serie de conglomerados y de calizas en el Departamento de Bolívar (Colombia), que contiene foraminíferos del Eoceno Medio (H. Bürgl, información verbal), encima de la cual se encontró una flora de polen del Eoceno Superior.

### *Eoceno Superior*

El Eoceno Superior comienza con una cresta del grupo de *Monocolpites medius*, precedido por importantes crestas del grupo de *Monocolpites franciscoi* y del grupo de *Psilamonoletes tibui*. Luego la vegetación cambia considerablemente, introduciéndose nuevas especies. Una segunda y tercera crestas del grupo de *Monocolpites medius* se presentan en seguida, a distancias casi iguales. Durante todo el Eoceno Superior, los grupos de palmas y de esporas son muy bajos, dominando completamente el grupo de Angiospermas. El Oligoceno Inferior se inicia con una cresta relativamente alta del grupo de *Monocolpites medius* y con un cambio profundo en la composición cuantitativa de la flora.

A partir del Eoceno Superior disponemos de diagramas, tanto del geosinclinal occidental como del geosinclinal oriental, que se corresponden perfectamente, aun en los detalles.

La edad del Eoceno Superior de esta sección del diagrama se pudo establecer por medio de correlación de polen con la parte media de la formación de Concentración de Paz del Río (Boyacá), donde hay dos horizontes fosilíferos. Estos fósiles fueron estudiados por ROYO Y GÓMEZ (informe inédito del Instituto Geológico Nacional). El horizonte inferior es del Eoceno Medio-Superior, y el superior, del Eoceno Superior-Oligoceno Inferior. Además, en otros sitios (Catatumbo, Valle del Cauca, etc.), estas zonas de polen se encuentran en el techo del Eoceno Medio y debajo de una formación con fósiles que probablemente corresponden al Oligoceno Inferior. Palinológicamente estas zonas de polen corresponden a la mayor parte de la formación Esmeraldas (al W. de Bucaramanga), que contiene un horizonte fosilífero del Eoceno Superior.

En el área del Catatumbo hay correspondencia con la parte inferior de la formación Carbonera que se correlacionó palinológicamente con formaciones del Eoceno Superior de Venezuela Occidental, que contienen foraminíferos (KUYL c. s., 1955).

### *Oligoceno Inferior*

Según vimos, el Oligoceno Inferior comienza con una cresta relativamente alta del grupo de *Monocolpites medius*, a la cual sigue inmediatamente un cambio sustancial de la composición cuantitativa de la flora de polen. Todos los grupos de esporas muestran valores relativamente altos, a igual que el grupo de *Monocolpites franciscoi*; el grupo de Angiospermas es muy bajo en la primera parte. Un hecho también importante es la presencia de la primera y pequeña cresta del grupo de *Striatriletes susannae* cerca de la base del Oligoceno Inferior.

La zona A del Oligoceno Inferior es más gruesa que las zonas B y C, y corresponde a un tiempo de ingresiones marinas, vastamente distribuidas y, probablemente, de mayor subsidencia y sedimentación.

Dos crestas del grupo de *Monocolpites medius*, algo más bajas que la primera, siguen a continuación. Están precedidas por crestas de varios otros grupos o van combinadas con ellos. Debe anotarse especialmente que el grupo de Angiospermas muestra porcentajes altos justamente antes de las crestas del grupo de *Monocolpites medius*. La cresta del grupo *Monocolpites medius* en la base de la zona B, está combinada con una cresta del grupo de *Proxapertites operculatus*, la primera cresta perceptible de este grupo que vuelve a presentarse después del final del Paleoceno. Esta cresta está presente tanto en el geosinclinal occidental como en el oriental.

Una cresta alta del grupo de *Monocolpites medius* indica el inicio del Oligoceno Medio.

La edad equivalente al Oligoceno Inferior de esta parte del diagrama se pudo establecer de la siguiente manera. Hay horizontes fosilíferos de más o menos esta edad en varias secciones (Catatumbo, Valle del Cauca, etc.), que pueden correlacionarse palinológicamente con la parte respectiva del diagrama. Además, la edad de la parte superior de la formación Carbonera del Catatumbo, de la cual se ha derivado este diagrama, se pudo establecer por correlaciones palinológicas con formaciones que contienen foraminíferos en Venezuela Occidental (KUYL c. s., 1955).

### *Oligoceno Medio*

El Oligoceno Medio se inicia con una cresta más bien alta del grupo de *Monocolpites medius*, precedido por un máximo del grupo de Angiospermas, además por un máximo del grupo de *Monocolpites franciscoi* y por una cresta relativamente alta del grupo de *Striatriletes susannae*; poco después entra a figurar cierto número de nuevas especies de Angiospermas. Dos crestas menores siguen a distancias casi iguales. La siguiente cresta otra vez es alta, y con ella comienza el Oligoceno Superior.

La edad equivalente al Oligoceno Medio de esta parte del diagrama pudo establecerse indirectamente. Esta edad es muy probable, en vista de la posición estratigráfica inmediatamente encima del techo del Oligoceno Inferior, sin hiato en la sucesión estratigráfica. Además, la sucesión estratigráfica respectiva del interior del país se puede comparar con la sucesión marina de la costa donde los estratos comparables contienen fósiles del Oligoceno Medio, según información verbal de H. BUERGL. La flora correspondiente también se encontró en el sinclinal de Usme, al sur de Bogotá, y BUERGL (1955) halló un foraminífero, *Globorotalia fohsi*, que se halla desde la parte alta del Oligoceno Medio hasta la parte baja del Oligoceno Superior, en un nivel estratigráfico algo más alto del mismo sinclinal, según muestra obtenida de una perforación en el predio de la Cervecería Andina, de Bogotá.

La mayor parte de las Arcillas de León (Catatumbo), a la cual corresponde palinológicamente esta parte alta del diagrama, se correlacionó palinológicamente con formaciones que contienen en el occidente de Venezuela foraminíferos del Oligoceno Medio (KUYL c. s., 1955).

### *Oligoceno Superior*

El Oligoceno Superior se inicia con una cresta relativamente alta del grupo de *Monocolpites medius*. Algo más arriba, el grupo de *Striatriletes susannae* presenta la cresta más alta de todo el diagrama. Dos crestas más bajas del grupo de *Monocolpites medius* siguen a distancias iguales. Después de la tercera cresta, a saber, desde la base de la zona C para arriba, comienza una subsidencia y sedimentación muy rápida que prosigue durante todo el Mioceno. Esta parte del diagrama (desde la base de la zona C hacia arriba) está representada a la mitad de la escala original, o sea a 1:4.000 en vez de la de 1:2.000 de las secciones del Catatumbo y Valle-Antioquia. Con una cresta relativamente alta del grupo de *Monocolpites medius* comienza el Mioceno Inferior. La edad de esta sección del diagrama pudo establecerse por medio de correlaciones de análisis de polen con la parte inferior de la formación La Cira, cerca de La Dorada, al norte de Honda (río Magdalena). Su edad corresponde, según el contenido en vertebrados fósiles, al Oligoceno Tardío (STIRTON, 1953). La formación La Cira también se considera equivalente del Oligoceno Superior, con base en comparación con otros horizontes fosilíferos. Esta sección del diagrama, además se puede correlacionar por medio de análisis de polen con la parte inferior de la formación Guayabo del área del Catatumbo, que por su parte se puede correlacionar con formaciones que contienen foraminíferos en Venezuela Occidental (KUYL c. s., 1955).

### *Mioceno Inferior*

El Mioceno Inferior comienza con una cresta relativamente alta del grupo de *Monocolpites medius*. Una segunda cresta se presenta en nuestro diagrama, pero el resto del Mioceno todavía no ha sido analizado.

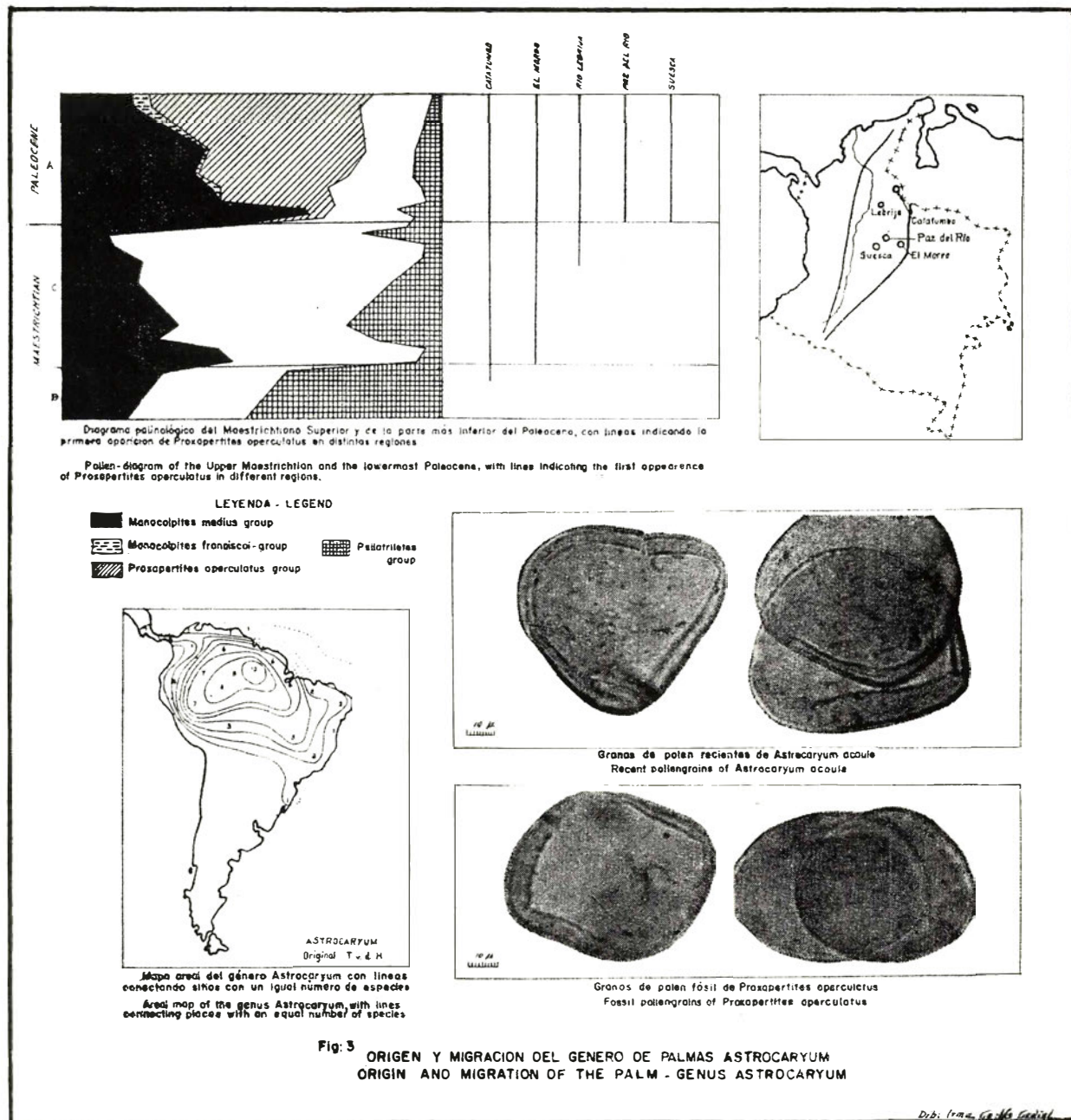
La edad miocena de la flora de polen, característica para esta parte del diagrama, pudo establecerse por medio de correlación con la formación de Honda (valle del Magdalena). Esta formación contiene fósiles vertebrados del Mioceno (STIRTON, 1953), y en su parte superior hay foraminíferos del Mioceno Superior (BUERGL, información verbal).

### *Conclusiones*

Ahora, considerando el diagrama en conjunto, vemos que los cambios en la composición cuantitativa de la flora de polen se presentan en intervalos, particularmente indicados por las crestas del grupo de *Monocolpites medius* al comenzar las épocas o edades<sup>1</sup>, y seguidos por dos crestas que son más bajas. Esta regla no tiene excepciones, y es sorprendente que las crestas del diagrama sean tan regulares en el conjunto. Las cres-

<sup>1</sup> Cuando usamos esos términos en el sentido restringido de la "American Commission on Stratigraphic Nomenclature", son escritos en bastardilla. Consideramos como épocas: Paleoceno, Eoceno, etc., y como edades: Eoceno Inferior, Eoceno Medio, etc. No obstante, se desprende de lo siguiente que el Paleoceno, el Eoceno Inferior, el Eoceno Medio, el Plioceno, etc., son unidades de igual duración de tiempo.





tas del grupo de *Monocolpites medius* van acompañadas frecuentemente o van precedidas por crestas de otros grupos, especialmente de *Monocolpites franciscoi*, y de diferentes grupos de esporas, que manifiestan a menudo un cierto orden constante.

#### d) *Evolución y migración de especies*

Según vimos en el párrafo anterior, cada *época* o *edad* (Paleoceno, Eoceno Inferior, etc.) comienza con un cambio fuerte en la composición cuantitativa de la vegetación, especialmente marcado por una cresta en la curva del grupo de *Monocolpites medius*. Con este cambio, un número de especies presentes en la fase anterior desaparece, e inmediatamente o poco después otras nuevas aparecen. Lo mismo, pero en menor grado, es el caso en los cambios secundarios de vegetación dentro de cada *época* o *edad*.

No puede haber duda de que un gran porcentaje de estas nuevas especies (que también pueden representar nuevos géneros naturales, etc.) ha sido formado por un proceso evolutivo intenso, que tuvo lugar al mismo tiempo que se realizaron los mencionados cambios cuantitativos de la vegetación.

Sin embargo hemos de tener en mente el factor tiempo de migración. La inmigración de árboles de selva a un terreno estéril en árboles al finalizar un período glacial o estadal, se realizó con relativa rapidez; pero no podemos comparar esto con la distribución de nuevas especies en un área tropical densamente selvática que representa lo que debería haberse llamado hoy día una "vegetación-clímax".

Si, en contraposición a este hecho, observamos que muchas especies aparecen, en el diagrama de una región, casi repentinamente, inmediatamente o poco después del cambio cuantitativo grande en la vegetación, lo podemos atribuir a uno o más de los siguientes factores:

1. Debemos tener presente que la distancia de los espectros en los puntos críticos del diagrama presenta un lapso considerable, y bien puede ser del orden de cien mil años.
2. La distribución puede haber sido facilitada por la perturbación o desequilibrio de la vegetación-clímax original.
3. Las especies tuvieron su origen en una región relativamente vecina, o en la región misma.

Sin duda, el primer punto es el más importante. Empero, hay muchos casos en que la migración de especies evidentemente se produjo con extrema lentitud.

Un ejemplo al respecto es un representante del género de palmas *Astrocaryum*, o sea la especie de polen *Proxapertites operculatus* (fig. 3). Esta especie tuvo su mayor distribución en el Paleoceno, y altos porcentajes de ella son, hasta cierto punto, característicos para esta época, si bien sigue subsistiendo en edades posteriores (en un caso hallamos hasta un 10% en el Oligoceno). La especie reciente *Astrocaryum acaule* tiene un tipo de polen muy similar.



Fig. 4

MAPAS AREALES DE LOS GENEROS DE PALMAS: MAURITIA Y LEPIDOCARYUM (MAURITIACEAE), CON LINEAS CONECTANDO SITIOS CON UN IGUAL NUMERO DE ESPECIES

AREAL MAPS OF THE PALM-GENERA MAURITIA AND LEPIDOCARYUM (MAURITIACEAE), WITH LINES CONNECTING PLACES WITH AN EQUAL NUMBER OF SPECIES

En la región del Catatumbo, esta especie aparece ya en el límite de las zonas B y C del Maestrichtiano, pero en el área del Lebrija (al W. de Bucaramanga), en la zona C y en el área de Suesca y Lenguazaque (Cundinamarca), al iniciarse el Paleoceno. También en la región del Morro (río Cravo Sur, piedemonte oriental de la Cordillera Oriental), *Prozapertites operculatus* aparece en el límite de las zonas B y C del Maestrichtiano, pero más al Oeste, en la región de Paz del Río, mucho más tarde. Así podemos sacar la conclusión de que la migración de *Prozapertites operculatus* tuvo lugar de Este a Oeste, y que su migración de la presente margen occidental de los Llanos Orientales hacia la parte interior de la Cordillera Oriental embargó el tiempo casi completo de la zona C del Maestrichtiano, o sean unos dos millones de años (véase capítulo segundo de este artículo).

Si ahora observamos en el mapa del área la distribución y la frecuencia de las especies del género *Astrocaryum* (fig. 3), nos damos cuenta de que este género tuvo su centro teórico de origen y de distribución en el escudo de La Guayana, cerca del límite de la Guayana Francesa con el Brasil. Así, estos datos teóricos coinciden bastante bien con los datos sobre la dirección de la migración obtenidos por medio de la palinología.

Luego hay varios géneros importantes, de los cuales sabemos que tenían su centro teórico de origen y radiación en la misma región guayanense, y aun muy cerca del mismo punto.

Un ejemplo es dado por los dos más importantes géneros de Mauritiaceae: *Mauritia* y *Lepidocaryum* (fig. 4), estando representado el tercer género, *Raphia*, sólo con una especie en Suramérica. Granos de polen de las Mauritiaceae aparecen en Colombia por primera vez en la base del Paleoceno.

De modo que podemos llegar a la conclusión de que —hasta donde nuestro conocimiento, todavía pobre, sobre la distribución de plantas tropicales de Suramérica, puede suministrarnos datos— varios (y probablemente muchos) géneros importantes tenían su origen en la región del antiguo núcleo del Continente y radiaban desde ahí.

Según lo explicado, los datos palinológicos se ciñen a esta conclusión y la confirman.

Al terminar este manuscrito conocimos el estudio de CROIZAT (1952); uno de sus "portones de Angiospermia" es el centro de Roraima, que corresponde a lo que nosotros llamamos el centro geológico del escudo de La Guayana. Así, su punto de vista a este respecto concuerda perfectamente con el nuestro. El hecho de que este centro de Roraima forma también un centro geológico (mayor espesor) de la formación de Roraima, probablemente mesozoica (GANSSE, 1954), y el otro hecho de que en los remanentes de erosión ("mesas") de esta formación (VAN DER HAMMEN, 1954) se haya encontrado en la Amazonia Colombiana una flora muy primitiva (R. E. SCHULTES, información verbal), hace supremamente interesante toda la cuestión de los puntos de vista sobre evolución y distribución (véase también párrafo g).

## CAPITULO II

### INTERPRETACION ADICIONAL DE LOS DATOS DE ANALISIS DE POLEN

#### e) *Periodicidad de los cambios de vegetación*

En el capítulo anterior se ha visto que cada *época* o *edad* comienza con un cambio fuerte, en general temporal, de la composición cuantitativa de la vegetación, seguido por dos o más cambios del mismo carácter, pero por lo general menos fuertes. Estos tres cambios dividen cada uno de estos tres períodos en tres zonas que llamamos A, B y C.

En aquellos casos cuando la subsidencia y la sedimentación avanzaban a una rata igual durante toda una *época* o *edad*, las tres zonas son aproximadamente del mismo espesor (véase: Maestrichtiano, Paleoceno, Eoceno Superior y Oligoceno Medio) y, por consiguiente, el tiempo respectivo debe haber sido de igual duración. En otros casos, los espesores de las zonas varían hasta cierto punto, pero todavía hay siempre tres zonas en cada una de las mencionadas unidades. Podemos asumir que todas las zonas son de la misma duración de tiempo, pero que las irregularidades de la subsidencia y de la sedimentación causaron la diferencia de espesor. La prueba de que esta aserción es correcta la encontramos en las siguientes experiencias:

1. En el caso de que cierta zona es más gruesa que las demás, las tres crestas (grupo de *Monocolpites franciscoi*, grupos de esporas y grupo de *Monocolpites medius*, y en veces el grupo de Angiospermas) que indican el cambio de vegetación se hallan más expandidas en la zona gruesa que en las zonas delgadas, proporcionalmente al espesor (véase especialmente la zona B del Eoceno Inferior).
2. Las zonas delgadas casi siempre van acompañadas de indicaciones de movimientos tectónicos.
3. En un caso (zona A del Oligoceno Inferior), una zona relativamente muy gruesa es contemporánea con una subsidencia fuerte que promueve una transgresión marina sobre todo el país.
4. En un caso, tres zonas muy delgadas —las del Eoceno Medio— corresponden a una época de movimientos tectónicos muy fuertes (con inconformidades), reconocidos en vastas regiones de Suramérica.
5. Zonas delgadas frecuentemente están provistas de un número de mantos de carbón mucho mayor que las gruesas, anunciando que la sedimentación minerógena y la subsidencia fueron más lentas.

6. Cada *edad* que se investigó (o *época* equivalente) tiene tres zonas.
7. En un caso, una zona relativamente gruesa (zona C del Oligoceno Superior) muestra las características litológicas de una sedimentación muy rápida y monótona, y lo mismo vale para las zonas gruesas del Mioceno.

Por lo tanto podemos concluir que desde la base del Maestrichtiano hasta el inicio del Mioceno hay establecida una periodicidad de cambios temporales en la composición cuantitativa de la vegetación, la cual subdivide cada una de las siguientes unidades en tres zonas de aparente duración igual de tiempo: Maestrichtiano (? Superior), Paleoceno, Eoceno Inferior, Eoceno Medio, Eoceno Superior, Oligoceno Inferior, Oligoceno Medio y Oligoceno Superior. El cambio en la composición cuantitativa de la vegetación es más fuerte en la base de cada una de estas unidades, siendo menos fuerte el de las otras dos.

Basándonos en los conocidos valores de las determinaciones de edad según los métodos de radio-plomo, etc., podemos calcular ahora la duración aproximada del tiempo correspondiente de cada zona (fig. 5). Desde la base del Terciario hasta la base del Mioceno, tenemos:  $3 + 9 + 9 = 21$  zonas. Si consideramos la edad de la base del Terciario como de 60 millones de años y la de la base del Mioceno de 18 millones de años, la duración del mismo lapso fue de  $60 - 18 = 42$  millones de años<sup>2</sup>.

Por consiguiente, la duración de cada zona fue aproximadamente de  $42:21 = 2$  millones de años, y la de cada unidad de tres zonas, de  $3 \times 2 = 6$  millones de años.

Desde que el Mioceno tuvo una duración de 12 millones de años, podemos calcular que esta época tiene teóricamente dos unidades, con tres zonas cada una. Todavía no hemos elaborado un diagrama completo del Mioceno, pero los datos palinológicos, hasta donde son obtenibles, parecen sustentar esta conclusión.

Del mismo modo, el Plioceno, con una duración de 6 millones de años, tendrá una unidad con tres zonas.

Si bien no tenemos datos disponibles de la edad del Maestrichtiano, podemos asumir, sobre la base de sus tres zonas, presentes en la parte analizada, que estas tres zonas tuvieron una duración de 6 millones de años.

De modo similar podemos calcular que el Paleoceno tuvo una duración de 6 millones de años, el Eoceno, de 18 millones de años, y el Oligoceno, también 18 millones de años. Estos números se conforman bastante bien con las determinaciones de edad por otros métodos.

La conclusión que podemos extraer de todo lo anteriormente dicho es que por medio de la interpretación de los diagramas de polen del Cretáceo más Superior y del Terciario de Colombia, aparenta haber una periodicidad en los cambios cuantitativos de la vegetación, con fases menores, de 2 millones de años, y fases mayores, de 6 millones de años (fig. 5). Si bien pueden aparecer posteriormente correcciones de edad por radium, etc., en cuanto al Terciario, las cifras dadas para las fases apenas cambiarán en lo esencial.

<sup>2</sup> Según la escala B, de HOLMES, la edad de la base del Mioceno es de 26 millones de años, y según la interpretación paleontológica de varios autores, nuestro Oligoceno Superior puede ser Mioceno Superior (véanse addendum y fig. 9).

Curva de cambios de vegetacion y de temperatura  
 Curve showing changes in vegetation and temperature

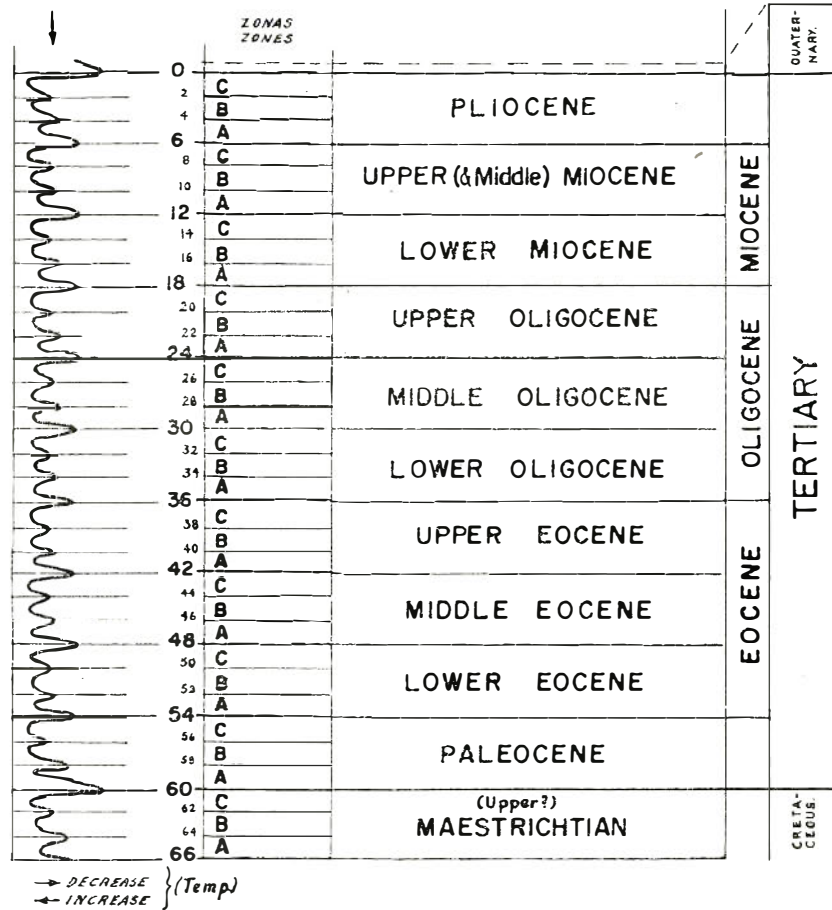


Fig. 5

SUBDIVISION DEL MAESTRICHTIANO Y DEL TERCIARIO BASADO SOBRE PERIODOS DE 6 Y 2 MILLONES DE AÑOS

SUBDIVISION OF THE MAESTRICHTIAN AND THE TERTIARY ON THE BASIS OF 6-AND 2-MILLION YEAR PERIODS

Dib: Irma Cortés Lediel

Vamos a finalizar este párrafo expresando que es probable que las influencias ejercidas sobre la vegetación sean de dimensiones mundiales y contemporáneas sobre toda la Tierra. Es verdad que no se conocen datos similares de otros Continentes, pero la palinología pre-cuaternaria es una ciencia muy joven, y resultados comparables podrán obtenerse en el futuro aplicando métodos de trabajo semejantes a los nuestros.

Como evidencia fuerte de la envergadura mundial de este fenómeno, podemos tener en cuenta los siguientes datos:

1. La periodicidad es continua en todos los lapsos investigados (unos 50 millones de años).
2. Las fases mayores de la periodicidad, es decir las de 6 millones de años, corresponden, en todos los casos que pudimos chequear, con las edades (o épocas) internacionales que pueden reconocerse sobre toda la Tierra con base en la Paleontología.
3. La periodicidad está íntimamente relacionada con la evolución, un proceso que muestra aceleraciones intermitentes que, por su parte, son contemporáneas sobre todo el mundo.

f) *Naturaleza y causa de los cambios periódicos de vegetación*

Según se vio en el párrafo c, los cambios periódicos de vegetación se manifiestan por crestas de diferentes grupos de polen y de esporas que obedecen a cierto orden y cierta configuración, que va siendo más compleja a medida que los cambios corresponden a un período más reciente.

El grupo índice más constante y mejor definido es el del grupo de palmas de *Monocolpites medius* que ya existía en el Cretáceo Superior y prosigue por todo el Terciario hasta la actualidad. El contenido específico de este grupo permanece extraordinariamente sostenido. De ahí que lleguemos a la conclusión de que se trata de un grupo muy resistente cuyas especies se afectan poco por influencias exógenas, y que por la misma razón muestran poca evolución.

A la luz de estos hechos, estamos ahora en condiciones de explicar por qué este grupo ofrece, a intervalos periódicos, crestas tan regulares, bien marcadas y frecuentemente altas.

Alguna influencia debe haber actuado periódicamente sobre la vegetación, a la cual muchas plantas no podían resistir. Varias plantas se extinguieron, otras desarrollaron nuevos caracteres por evolución, que las capacitaron para resistir. Mientras tanto, aquel grupo resistente (o grupos) que no sufrió esa influencia, aventajaba a los de menor resistencia. Las mismas condiciones óptimas de vida que rigieron para determinadas plantas (y que aún podían mejorar) fueron menos favorables para otras. De acuerdo con esto, las especies más resistentes comenzaron a dominar en la vegetación, o al menos aumentaron considerablemente, y esta situación perduró hasta que se restauraron condiciones normales, o hasta que se formaron, de otros grupos, especies nuevas y más resistentes.

Lo mismo debe ser el caso para los demás grupos que ofrecen crestas periódicas, concurrentes con las crestas del grupo de *Monocolpites medius*. Estos otros grupos también se hallan entre los constantes, así el



grupo de *Monocolpites franciscoi* (Mauritiaceae), el grupo de *Psilamonoletes tibui*, etc.; todos estos grupos, después de su primera aparición, persistieron sin cambios específicos, o con cambios muy leves hasta hoy día.

Cuando las crestas de los diferentes grupos están suficientemente espaciadas, un cierto orden puede notarse. En nuestro diagrama, este es el caso, por ejemplo, con respecto a la cresta que indica el cambio cuantitativo de vegetación en la base del Eoceno Medio. Mientras que aquí la curva del grupo de *Monocolpites medius* comienza a levantarse, el grupo de *Monocolpites franciscoi* llega a un máximo, y muy poco después lo mismo vale para el grupo de *Psilamonoletes tibui*; la curva ascendente del grupo de *Monocolpites medius* llega luego a su máximo, inmediatamente después del máximo de *Psilamonoletes tibui*. Esta configuración la encontramos repetidas veces en varios sitios del diagrama (plancha I), en forma más espaciada o más reducida.

Es posible encontrar en esta configuración la resistencia relativa de estos grupos contra la influencia creciente de afuera, a juzgar porque la tercera cresta (del grupo de *Monocolpites medius*) es la más resistente y constante. Pero también puede ser posible que efectos secundarios de clima, de influencia creciente (variaciones en densidad de lluvias, etc.) fuesen la causa de una o varias de las demás crestas.

En veces una repetición de una o varias de estas crestas puede estar presente encima del máximo del grupo de *Monocolpites medius*, lo cual puede indicar un proceso reversivo de disminución de la influencia exterior. Esto es claramente visible en la base tanto de la zona B como de la zona C del Maestrichtiano; aquí la cresta del grupo de *Monocolpites medius* está flanqueada en ambos casos por crestas del grupo de *Psilamonoletes* que están inmediatamente debajo y encima de aquélla.

Sin embargo, las crestas últimamente mencionadas (aquellas que están encima del máximo del grupo de *Monocolpites medius*) son mucho menos frecuentes, lo cual indica que el incremento de las influencias exteriores fue más lento que su decremento, o que la influencia no decreció a la medida del incremento, vale decir, que la influencia fue más o menos escalonada.

También podemos deducir que la cresta del grupo más resistente será más alta o más baja conforme a la fortaleza de la influencia. En general podemos decir que la influencia actuó más intensamente en la base de cada unidad de tres zonas. La influencia más fuerte (correspondiente a la cresta más alta del diagrama) tuvo lugar en la base del Paleoceno, pero también la de la base del Eoceno fue considerable. Ahora podemos resumir así:

Alguna influencia periódica actuó sobre la vegetación; con el incremento de esta influencia, diferentes grupos resistentes alcanzaron un máximo, posiblemente según el orden de su grado de resistibilidad, u originado en parte por efectos climáticos secundarios; el grupo más resistente alcanzó máximos más altos cuando las influencias actuaron con más intensidad.

Si dirigimos ahora la atención a las causas de la influencia periódica que es ejercida sobre la vegetación, parece a primera vista que muy poco de cierto se puede decir alrededor de este problema. Teóricamente hemos de considerar varias posibilidades: que la influencia puede haber venido de afuera o de adentro de la Tierra; o que la influencia puede

haber actuado sobre la vegetación, directa o indirectamente. Mas, es posible que haya tenido lugar una combinación de todas estas posibilidades, si bien una de ellas debe ser la primera causa. Vamos a postergar la discusión de este problema, pero adelantamos al respecto algunos aspectos de importancia.

Según veremos en el párrafo h, ni los movimientos tectónicos y orogénicos, ni las transgresiones u otras causas semejantes pueden ser el móvil (directo o indirecto) de los cambios de vegetación; con esto, la posibilidad de que la influencia primordial venía de adentro de la Tierra queda casi suprimida. Si la causa primaria está situada fuera de la Tierra, entonces parece ser lo más probable que la influencia fue climática y directa.

Nosotros consideramos muy probable que la influencia periódica causó cambios climáticos periódicos (¿en parte escalonada?), manifiestos en la disminución de la temperatura. Hay varias razones que favorecen fuertemente esta posibilidad, y ellas nos parecen concluyentes.

1. De acuerdo con UMBGROVE (1942) hemos de aceptar una disminución de la temperatura en el preciso inicio de cada *período* (Terciario, Cretáceo, etc.), que estriba en la formación de glaciares de montaña. Ahora, como hemos visto antes en nuestras investigaciones, la influencia más fuerte la hallamos ejercida en el comienzo del Terciario (Paleoceno), conforme al precepto de UMBGROVE.

2. Investigaciones analíticas de polen de reciente data, que estamos llevando a cabo en sedimentos cuaternarios del valle tropical del Bajo Magdalena, demuestran que los mismos grupos que indican los cambios de vegetación en nuestros diagramas pre-cuaternarios desempeñan un papel importante en la revelación de cambios climáticos del Cuaternario, que se deben primariamente a cambios de temperatura.

3. Hay una similitud sorprendente entre la curva de temperatura basada en macrofósiles de plantas de los Estados Unidos (DORF, 1955, y NOREM, 1956) y una curva basada en la frecuencia del grupo de *Monocolpites medius* de Colombia (fig. 6), que solamente se puede explicar por el caso de que las fluctuaciones del grupo de *Monocolpites medius* también dependen de temperatura.

4. Curvas isotópicas de temperatura para agua de superficie de océano, determinadas por EMILIANI (1956) en secciones del Oligoceno y del Mioceno tomando corazones de sondeo de mar profundo, demuestran que, aun cuando no se presentan cambios de temperatura comparables a las del Pleistoceno, varios decrementos interesantes de temperatura se sitúan a intervalos más o menos regulares. Podemos hacer la siguiente observación interesante: un corazón del Mioceno Inferior-Medio (profundidad 410-730 cms.) muestra los siguientes mínimos, empezando con temperaturas de más o menos 25 hasta 26°C: a saber, 22.75°C a 440 cms. de profundidad, y 22.5°C a 550 cms.; un mínimo muy poco pronunciado de 24.25°C se presenta a 640 cms., y uno igual a 720 cms. Un corazón del Oligoceno Medio (50-250 cms. de profundidad) muestra los siguientes mínimos, empezando con una temperatura de 29-29.5°C: 28°C a 105 cms., y 28°C a 205 cms. Otro corazón del Mioceno Inferior-Medio (700-1.500 cms. de profundidad) revela los siguientes mínimos, empezando con una temperatura de más o menos 23-25°C: 21°C a 702 cms. de profundidad (y a 765 cms.), 21°C a 860 cms., 21.5°C a 1.022 cms., 22°C a 1.202-1.235 cms.,

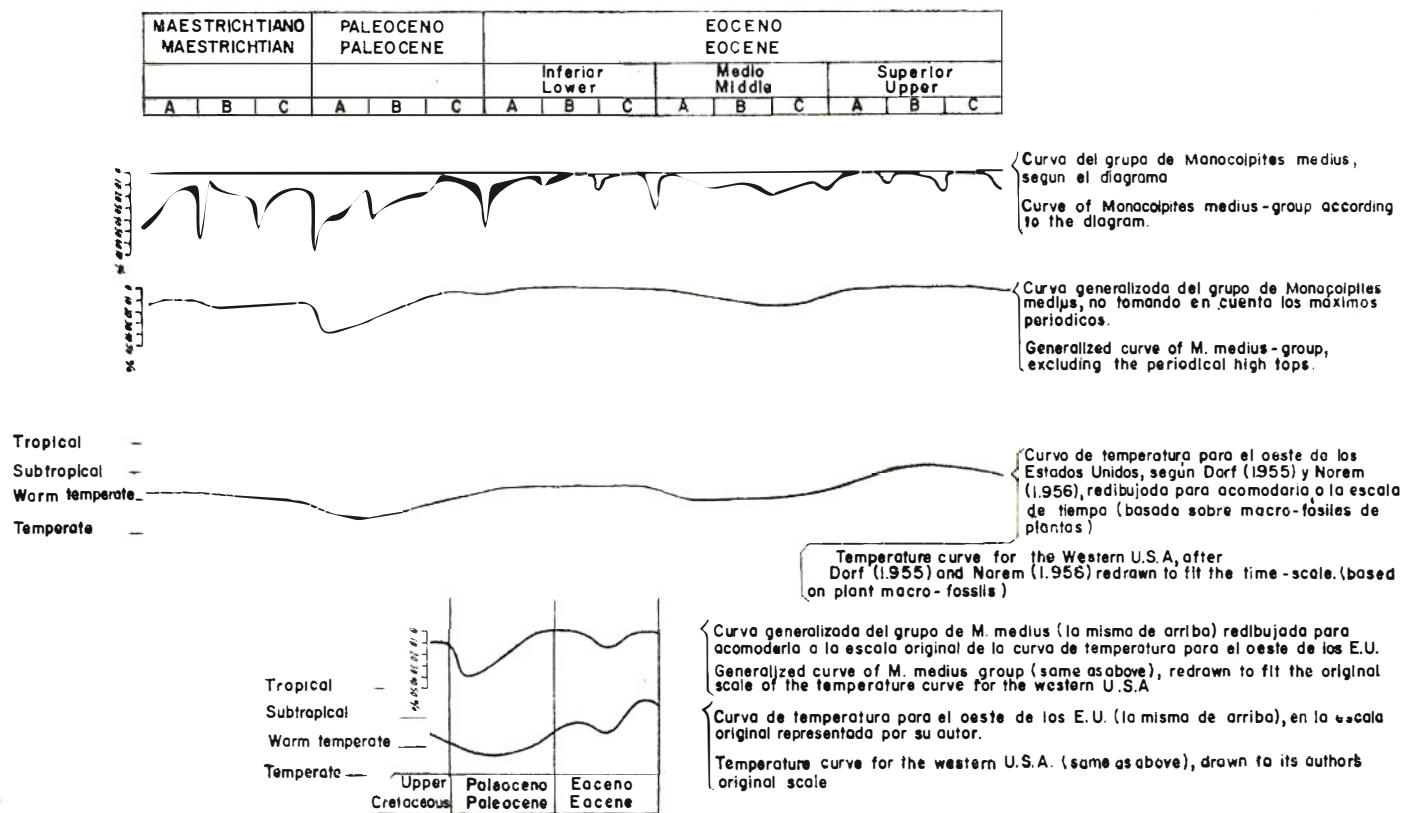


Fig. 6

CURVA DE TEMPERATURA PARA EL OESTE DE LOS ESTADOS UNIDOS, BASADA SOBRE MACRO-FOSILES DE PLANTAS, COMPARADA CON UNA CURVA PARA COLOMBIA (SURAMERICA) BASADA SOBRE LA FRECUENCIA DEL GRUPO DE MONCOLPITES MEDIUS

TEMPERATURE CURVE FOR THE WESTERN U.S, BASED ON PLANT MACRO-FOSSILS, COMPARED WITH A CURVE BASED ON THE FREQUENCY OF THE MONOCOLPITES MEDIUS -GROUP IN COLOMBIA (SOUTH AMERICA) - MAINLY BASED ON A POLLEN DIAGRAM FROM TIBU, CATATUMBO.-

21.75°C a 1.462 cms. Así, las curvas isotópicas de temperatura muestran mínimos en un intervalo de más o menos 100 cms. en los dos corazones mencionados primero, y un intervalo de más o menos 150 hasta 200 cms., en el tercer corazón. Las diferencias máximas de temperatura de agua oceánica son de 3°C para ambos corazones del Mioceno Inferior-Medio, y de 1.5°C para el pequeño corazón del Oligoceno Medio.

Ahora surge la cuestión de si, entre lo conocido respecto de las condiciones ecológicas de las especies que constituyen los diferentes grupos resistentes que indiquen las influencias periódicas por su máximo, hay datos directos, y de si, desde este punto de vista, esas especies realmente pueden ser más resistentes contra una disminución de la temperatura que la mayoría de la demás especies (que principalmente son Dicotiledóneas).

No obstante el hecho de que hay probadamente otros factores climáticos que varían con una caída de temperatura, como el monto de lluvias, y que tienen cierta repercusión en la vegetación, vamos a considerar inicialmente el factor primario de temperatura, que parece ser proporcionalmente el más importante y constante.

Hemos de entender, ante todo, que mientras no conozcamos la posición sistemática exacta de la mayoría de las dicotiledóneas fósiles, muy poco se puede decir sobre sus condiciones óptimas y mínimas de vida. Además, nuestro conocimiento de la ecología de las plantas tropicales de Suramérica todavía es muy escaso, y las familias reconocidas hasta ahora entre las dicotiledóneas fósiles (Bombacaceae, Malvaceae, Malpighiaceae, Moraceae, Acanthaceae, etc.) incluyen géneros y especies recientes, de condiciones ecológicas más bien diferentes, y también de distribución más bien diferentes. Sin embargo, podemos decir que muchas dicotiledóneas recientes del trópico están bastante restringidas en su distribución latitudinal.

Si ahora nos dirigimos hacia las palmas del grupo de *Monocolpites medius*, vemos que varios géneros de palmas tienen granos de polen cercanamente relacionados a los de aquel grupo. Parece ser un hecho que dichas palmas tienen, en total, una distribución latitudinal bastante grande. Ejemplos al respecto son:

<i>Geonoma</i> .....	desde 20° lat. N.	hasta 25° lat. S.
<i>Sabal</i> .....	" 35° lat. N.	" 2° lat. N.
<i>Attalea</i> .....	" 20° lat. N.	" 35° lat. S.
<i>Acrocomia</i> .....	" 25° lat. N.	" 25° lat. S.

De este modo no parece improbable, también desde este punto de vista, que las palmas del grupo de *Monocolpites medius* hubiesen sido relativamente más resistentes a un rebajamiento de la temperatura que la mayoría de las dicotiledóneas.

La distribución latitudinal de las Mauritiaceae (15° lat. N. hasta 20° lat. S.) es más restringida que la del grupo mencionado. Esto puede concordar con la supuesta resistencia relativa de los diferentes grupos, pero especialmente en el caso de Mauritiaceae parece haber alguna razón para suponer que un aumento de caída de lluvias ---como un efecto secundario de la disminución de la temperatura--- pudiese haber sido la causa de las crestas del grupo de *Monocolpites franciscoi*.

Podemos resumir:

Hay razones importantes para asumir que los cambios periódicos de vegetación fueron causados por disminuciones periódicas de la temperatura, posiblemente acompañados por efectos climáticos secundarios, como el aumento anual de la precipitación.

Una cuestión importante se ha dejado aparte: si es posible estimar el grado de disminución de la temperatura durante los cambios periódicos de la vegetación. Ensayaremos resolverla de la siguiente manera indirecta:

Según vimos en el punto 4 de las razones mencionadas arriba, en favor de una disminución periódica de temperatura que coincide con nuestros cambios climáticos, EMILIANI (1956) elaboró curvas isotópicas de temperatura para aguas oceánicas de superficie a base de corazones de perforación tomados del fondo de mares ecuatoriales y subtropicales profundos. Las tres curvas que él publicó representan partes del Oligoceno Medio y del Mioceno Inferior-Medio. Como se dejó aclarado, caídas de temperatura de  $1.5^{\circ}$ - $3^{\circ}$  se presentan en estas curvas, a intervalos aproximados de 100 hasta 200 cms.

El mismo autor (EMILIANI, 1954) publicó en otro artículo importantes curvas del mismo tipo de las mismas regiones, referentes al Pleistoceno. Se hallaron fluctuaciones de temperatura con un período de 41.000 años, con una amplitud de aproximadamente  $6^{\circ}\text{C}$ ; este período no se presenta en las curvas del Terciario. La temperatura de la superficie del agua oceánica en el inicio del ascenso de la curva de temperatura, cuando iba terminando la última glaciación, fue de  $6$  a  $10^{\circ}\text{C}$  (promedio  $8^{\circ}\text{C}$ ) menor que la de hoy día. Así, los mínimos (debajo de la temperatura general de aquel tiempo) de las fluctuaciones oligo-miocenas del agua de la superficie oceánica fue  $\frac{1}{5}$  hasta  $\frac{3}{8}$  del promedio de este último mínimo, debajo de las temperaturas presentes. La temperatura media en el NW de Europa al comenzar el receso del hielo hacia el final de la última glaciación, probablemente fue unos  $10^{\circ}\text{C}$  más baja que hoy en día, y de acuerdo con investigaciones analíticas de polen, que se hallan en ejecución por el suscrito y se refieren a sedimentos de laguna del Tardiglacial y de la última glaciación en Colombia (Sabana de Bogotá;  $4\frac{1}{2}$  lat. N del Ecuador a una altitud de 2.600 m.), la disminución de temperatura fue aproximadamente la misma cerca del ecuador. De modo que, cuando una temperatura de agua oceánica que fue  $8^{\circ}$  más baja cerca del ecuador que hoy día, corresponde a una temperatura promedia de unos  $10^{\circ}$  más baja que la actual en el continente ecuatorial de Suramérica, y suponiendo que ambos promedios cambian proporcionalmente, entonces las disminuciones de la temperatura del Oligoceno Medio deben haber tenido mínimos debajo de la temperatura general de aquel tiempo de aproximadamente  $\frac{1}{5} \times 10^{\circ} = 2^{\circ}\text{C}$  con respecto al Continente y, en el Mioceno, de  $\frac{3}{8} \times 10^{\circ} = 3\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ . Desde que el mínimo de temperatura en la base del Terciario (Paleoceno) debe haber sido considerablemente más bajo, posiblemente un múltiplo de cifras podría aceptarse para aquel tiempo.

Conforme a la curva de temperatura publicada por NÖREM (1956), las temperaturas del Mioceno en el occidente de Estados Unidos fueron más o menos las mismas como las de hoy en día. Si esto es correcto y válido para todo el Hemisferio Occidental, entonces las caídas periódicas de temperatura del Mioceno podrían interpretarse como valores aproxima-

damente absolutos. Esto, sin embargo, parece prematuro, porque no sabemos si la curva de NOREM puede aplicarse directamente a Suramérica. Pero parece ser posible que los mínimos más inferiores de temperatura fueron más bajos que el promedio actual de temperaturas, y el mínimo en la base del Terciario puede haber sido aún considerablemente más bajo.

g) *Relación entre cambios periódicos de vegetación y evolución*

Según lo estatuido atrás, inmediatamente después de cada cambio periódico de la vegetación aparecen nuevas especies (que también pueden representar géneros y familias naturales); de otro lado, algunas especies se extinguieron con alguna antelación. Este "proceso de evolución" es más fuerte al iniciarse el "período de 6 millones de años" que en el comienzo del resto de los "períodos de 2 millones de años", vale decir, que más especies surgen en la base (inicio) de las subdivisiones internacionales de tiempo. Este "proceso de evolución" aparentemente tiene el carácter del "tipogénesis" de SCHINDEWOLF (1950), y usaremos este término muy útil en las páginas siguientes.

Por lo tanto hemos de concluir que el tipogénesis se halla íntimamente relacionado con los cambios periódicos que se producen en la composición cuantitativa de la flora, y que muestran la misma periodicidad, debiendo depender, por lo tanto, el tipogénesis, de las mismas causas primarias de esta periodicidad.

De aquí surge la cuestión si el proceso de evolución depende directamente de la misma causa como los cambios de vegetación o si otros factores más primarios o más secundarios de esta causa son responsables. Estamos entrando aquí a un campo puramente teórico y, en consecuencia, preferimos discutir esta materia en otra publicación. Pero queremos indicar ya que consideramos posible que tanto una disminución de la temperatura como un aumento simultáneo en radiación cósmica (originados ambos por ciclos solares de larga duración) son responsables de la aceleración periódica del proceso de evolución.

Según se mencionó anteriormente, hemos hallado que varios géneros importantes, y posiblemente muchos, tenían y tienen su centro de origen y de radiación en el núcleo estable del Continente (el escudo de La Guayana) y no en la zona marginal labil (el geosinclinal de Los Andes).

Esto sugiere que los movimientos orogénicos, las transgresiones y regresiones podrían no ser las causas primarias del tipogénesis.

Esto concuerda otra vez con el hecho mencionado de que este proceso depende directamente de una influencia periódica ejercida sobre la Tierra, y que los movimientos tectónicos no son, según lo veremos en el párrafo siguiente, contemporáneos con esta influencia periódica, sino que se presentan después. Desde luego, la evolución de las especies tuvo lugar también en las regiones marginales labiles, pero parece que ahí el factor de adaptación y de especialización igualmente desempeñó un papel. Así hallamos, por ejemplo, muchos representantes de familias y géneros tropicales en la vegetación subandina y en la andina alta. Un ejemplo es la familia tropical de las Melastomataceae, que tiene especies de matorros en la floresta de los arrabales subandinos y que hasta ofrece un represen-

tante herbáceo en los altos páramos de los Andes. Sin lugar a duda, aquí las especies evolucionaron durante y después de la erección de los Andes, mediante un proceso de cambio de caracteres en son de adaptación a las circunstancias nuevas y especiales.

Si las razones aducidas son correctas, hemos de distinguir dos procesos diferentes de evolución:

1. El tipogénesis que tiene lugar periódicamente a través de toda la Tierra y que depende directamente de influencias periódicas de afuera. El proceso se llevó a cabo tanto en los núcleos como en las zonas marginales de los Continentes, pero puede haber sido más intenso en los núcleos de las regiones tropicales. Las influencias directas pueden haber sido: disminución de temperatura y (o) aumento de radiación cósmica, ambos factores dependientes de ciclos solares de larga duración.

2. Un proceso evolutivo secundario que tiene lugar especialmente en los márgenes labiles de los Continentes, y que depende de especialización y adaptación a circunstancias locales alteradas. La influencia directa puede ser: erección de montañas que producen nuevos suelos y nuevos climas locales; transgresiones y regresiones que cambian las condiciones climáticas locales, el nivel del agua subterránea, la alcalinidad, etc.

Una definición del proceso de evolución puede ser la siguiente:

La facultad de evolución es inherente a las especies, pero el proceso de evolución es periódicamente acelerado (Tipogénesis de SCHINDEWOLF, 1950) por una influencia periódica de afuera. Como un proceso secundario de evolución se desarrolla el de la especialización y adaptación a circunstancias locales nuevas (Tipostasis, SCHINDEWOLF).

También concordamos con SCHINDEWOLF en rechazar la influencia de ciclos orogénicos etc., sobre tipogénesis. Pero se aclara, en relación con lo dicho arriba, que parece ser muy probable una relación entre tipogénesis periódica con fluctuaciones de temperatura y (o) fluctuaciones de radiación cósmica (ciclos solares de larga duración).

#### h) *Relación entre los cambios periódicos de vegetación, transgresiones y movimientos tectónicos*

Dentro de los geosinclinales de los Andes en Colombia se desarrollaron movimientos tectónicos y movimientos orogénicos menores durante el Cretáceo Superior y el Terciario. Existen solamente pocas inconformidades grandes, si bien menores pueden presentarse en muchos niveles. A este respecto, la sedimentación fue en gran parte sinorogénica. Los movimientos orogénicos mayores y el solevantamiento principal tuvieron lugar durante el Mioceno y especialmente en el Plioceno.

No obstante, todos los movimientos tectónicos que en parte se desarrollaron dentro del geosinclinal y en parte combinados con movimientos en la vieja Cordillera Central (la cual formó, durante el Cretáceo Superior y el Terciario, la separación entre los geosinclinales occidental y oriental, inf. HUBACH), parecen estar bien registrados en la sucesión estratigráfica de sedimentos fluviales y lacustres por medio de horizontes de areniscas de grano grueso y de conglomerados. Así, están presentes, casi en todas las partes de los geosinclinales andinos, horizontes constan-

tes de arenisca y de conglomerado, en veces inconformidades ligeras o fuertes, a saber: cerca de la base del Maestrichtiano (Arenisca Tierna), cerca de la base del Paleoceno (Arenisca del Cacho, Arenisca de Barco, Arenisca de Socha), en el Eoceno Inferior y en el Eoceno Medio (Arenisca del Mirador, Arenisca de La Paz, Arenisca de Usme, Conglomerado de Hoyón y Conglomerados del Gualanday Inferior, etc.), cerca de la base del Oligoceno Inferior, cerca de la base del Oligoceno Medio, cerca de la base del Oligoceno Superior (Conglomerado del Gualanday Superior, Conglomerados de Suárez), y cerca de las bases del Mioceno Inferior y del Superior.

Surge ahora la cuestión de si acaso hay alguna relación entre los movimientos tectónicos y las influencias periódicas en el área de sedimentación fluvial y lacustre.

La primera observación que podemos establecer es que nunca son contemporáneos. Pero siempre se manifiestan en la zona A del período de 6 millones de años, aunque considerablemente después del cambio climático en la base. En veces, los movimientos tectónicos caen en la mitad inferior de la zona A, y en veces en la mitad superior, y estimamos que el intervalo de tiempo entre el cambio climático y el comienzo de los movimientos tectónicos, de acuerdo con el espesor relativo, embargue algunos cientos de miles de años hasta casi 2 millones de años. Parece haber, pues, muy poca conexión entre movimientos tectónicos y los cambios climáticos en la base de las zonas B y C.

La conclusión a que llegamos es que en manera alguna los cambios climáticos dependen de movimientos tectónico-orogénicos. Lo mismo vale para transgresiones que, en los casos que pudimos chequear, advienen con retardo en el interior de los geosinclinales, después de los cambios de vegetación en la base de las zonas A. Sin embargo es un hecho curioso que los movimientos tectónicos y los orogénicos menores siempre caen en la zona A, demostrando de esta manera una periodicidad, menos pronunciada, de unos 6 millones de años; pero la fortaleza de los movimientos es muy irregular, en veces débil, en veces muy acentuada.

Por consiguiente parece haber alguna relación entre los cambios climáticos, los movimientos tectónicos y los menores orogénicos, pero la relación es débil e irregular, y como dijimos, los cambios climáticos de ninguna manera dependen del tectonismo.

La naturaleza de esta relación es completamente desconocida. Si bien HUNTINGTON & VISHNER (1932) trataron de correlacionar manchas de sol y cambios de temperatura con movimientos de la corteza, todavía es dudoso si esta relación existe realmente. Juzgamos como más probable que los movimientos corticales dependen primariamente de procesos internos de la Tierra. Pero puede ser que influencias exógenas tengan alguna influencia estimulante; así por lo menos lo sugiere la relación, aunque débil, establecida arriba, entre cambios climáticos y movimientos corticales.

Si esta influencia no fue originada por ciclos solares, se puede suponer que pudiera haber sido alguna causa primaria cósmica que influyó a la vez la Tierra y el Sol, habiendo sido retardado el resultado en la corteza rígida de la Tierra. Pero según una comunicación, por carta, de H. SHAPLEY, director del Harvard College Observatory, esto es muy improbable según nuestro presente conocimiento de la astronomía.



Aunque sea muy teórica, queremos indicar otra posibilidad que es capaz de explicar varios factos.

Durante la disminución periódica de la temperatura, puede haberse formado una capa de hielo en los polos, que desaparecería o disminuiría cuando se restauraron temperaturas normales. Un aumento de hielo terrestre polar desde luego rebaja el nivel del mar sobre todo el mundo, mientras que una disminución del hielo terrestre polar levanta el nivel del mar.

Es por consiguiente posible que las regresiones establecidas en la cresta de los *períodos, épocas y edades*, y las transgresiones que siguen, algo más tarde, en la base del siguiente *período, época o edad*, dependen, en parte, de cambios de temperatura, y, solamente en parte, de movimientos de la corteza. En tal caso, las temperaturas que van descendiendo lentamente, reflejadas por el ascenso relativamente lento de la cresta del grupo de *Monocolpites medius* en nuestros diagramas, podría corresponder a regresiones, y la temperatura en rápido ascenso, reflejada por el decaimiento rápido del grupo de *Monocolpites medius* después de la cresta, coincidiría con transgresiones. Esto concuerda con el hecho de que se hallaron transgresiones encima de los cambios climáticos, en aquellos casos en que pudimos establecerlo.

Una evidencia fuerte de que lo dicho es correcto se puede encontrar en las investigaciones de BUERGL c. s. (1955), hechas en el Mioceno del Departamento del Atlántico (Colombia).

Según lo afirmado en el párrafo e, sobre la base de su duración de 12 millones de años, el Mioceno teóricamente debería tener dos períodos, cada uno de 6 millones de años, de los cuales cada uno constaría de tres períodos menores, de 2 millones de años. Esto fue calculado sobre la base de la duración total de 12 millones de años para el Mioceno, suponiendo que las fluctuaciones climáticas durante el Mioceno tendrían la misma periodicidad que las del Maestrichtiano, del Paleoceno, del Eoceno y del Oligoceno, sin haber tenido en cuenta los resultados de BUERGL c. s., que conocí después.

En la mencionada publicación, BUERGL correlacionó los depósitos miocenos del Atlántico con los pisos (stages) europeos, y encontró una transgresión en la base de cada uno de ellos (fig. 7; la transgresión en la base del Tortoniano está de acuerdo con estudios posteriores de BUERGL, inéditos). La curva que indica la relativa fortaleza de estas transgresiones es llamativamente de la misma forma que la curva del grupo de *Monocolpites medius* para dos períodos de 6 millones de años, doquiera que se hayan hecho investigaciones con análisis de polen en el Terciario y en el Cretáceo más Superior. Una transgresión relativamente fuerte se presenta en la base del Aquitaniano, seguida por dos menores en las bases del Burdigaliano Inferior y Superior; a continuación se presenta una transgresión relativamente fuerte en la base del Helveciano Inferior, seguido otra vez por dos menores en la base del Helveciano Superior y en la base del Tortoniano.

Si tenemos en mente que, en los casos donde encontramos indicaciones de transgresiones en nuestras secciones analizadas, ellas siempre están situadas encima de las crestas del grupo de *Monocolpites medius*, entonces hallamos en los datos mencionados arriba otra evidencia de que las

transgresiones y regresiones del Cretáceo Superior y del Terciario pueden haber sido determinadas parcialmente por el clima.

Esto no implica que pensemos que esta sea la única explicación de transgresiones y regresiones. Sin duda hay muchas transgresiones y regresiones que dependen de movimientos de la corteza, pero éstas no revelarán una conexión bien definida con la periodicidad climática.

Resta el problema de los movimientos tectónicos. Casi nada se puede decir, con algún grado de probabilidad, respecto a la naturaleza de la relación entre cambios climáticos y estos movimientos. Siendo más un problema físico, su investigación queda fuera de nuestra competencia. Pero, finalmente, deseamos presentar la cuestión de si no podría ser posible que perturbaciones relativamente pequeñas del equilibrio cortical, causadas por regresiones y transgresiones, pusieron en movimiento tensiones ya existentes, motivadas por procesos internos. Esto podría explicar a la vez la relación que parece existir con los cambios climáticos periódicos y la intensidad irregular de los movimientos que primariamente sería de origen interno.

### i) *Un nuevo criterio estratigráfico*

De hecho, la estratigrafía está basada en fósiles marinos de guía. Esto induce a preguntar de qué manera los animales marinos reaccionan a las influencias periódicas.

Según hemos visto, los períodos de 6 millones de años corresponden muy bien a *épocas* y *edades* internacionales, establecidas sobre la base de animales marinos. La conclusión ha de ser que la evolución de animales marinos va a la par con la de las plantas terrestres. La razón de este hecho puede radicar en que las disminuciones periódicas de temperatura (¿y los aumentos en radiación cósmica?) que parecen haber influenciado el proceso evolutivo de las plantas terrestres, también influenciaran las faunas marinas, fomentando la creación y desaparición (o aumento y disminución) de las capas polares que pueden haber ejercido una influencia muy grande sobre la temperatura del agua oceánica sobre toda la Tierra (véase arriba).

Al igual que en las plantas terrestres, el factor de migración desempeña un papel en los animales marinos, y en muchos casos la correlación más precisa entre espacios vastamente separados de la Tierra es hasta ahora imposible, debido también a diferencias de fauna por razones climáticas y de facies.

El mismo problema existe, en forma agravada, con respecto a correlaciones fundadas en especies de plantas, que no son realizables, por ejemplo, entre Continentes ampliamente separados, como Suramérica y Europa.

Pero el hecho de que una vegetación reacciona inmediatamente a un cambio de las condiciones climáticas mediante cambios de su composición cuantitativa, cualquiera que sea el contenido específico de esta vegetación, y que estos cambios pueden establecerse por medio de estadísticas de polen (esporas), introduce un nuevo criterio a la estratigrafía. No es del todo imposible que investigaciones similares a las palinológicas puedan aplicarse a fósiles marinos de abundancia, como por ejemplo los foraminíferos. Desde luego, esta posibilidad debe someterse a un estudio de-

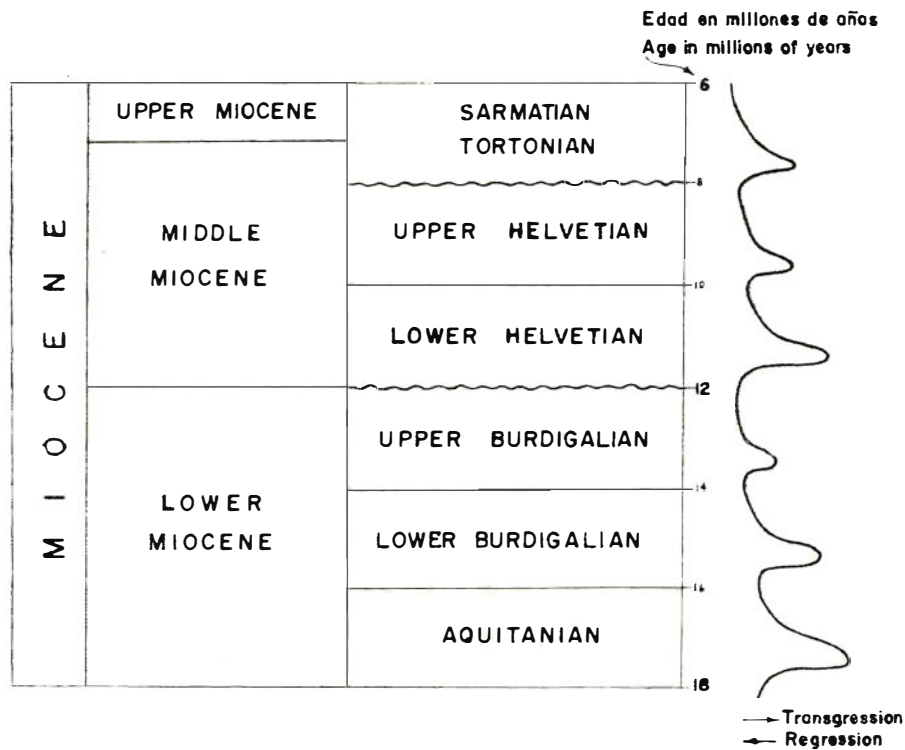


Fig: 7

SUBDIVISION DEL MIOCENO BASADO SOBRE INVESTIGACIONES PALEONTOLOGICAS Y ESTRATIGRAFICAS REALIZAS POR BÜRGL c.s (1955) EN EL DEPARTAMENTO DE ATLANTICO (COLOMBIA, SUR AMERICA), CORRELACIONADA CON LOS CICLOS DE 6 Y 2 MILLONES DE AÑOS

SUBDIVISION OF THE MIOCENE ON THE BASIS OF PALEONTOLOGICAL STRATIGRAFICAL INVESTIGATIONS CARRIED OUT BY BÜRGL c.s. (1955) IN THE DEPT. OF ATLANTICO (COLOMBIA, SOUTH AMERICA), CORRELATED WITH THE 6-AND 2 - MILLION YEAR CYCLES

tallado de los problemas que pueden surgir, y métodos especiales deben establecerse cuidadosamente, porque aquí los cambios de facies por medio de transgresiones y regresiones pueden tener una influencia grande sobre la composición cuantitativa de las comunidades.

Por lo tanto hemos de concluir que el registro de influencias periódicas universales (cambios periódicos) por medio de estadísticas de polen (y esporas) y eventuales métodos estadísticos paleontológicos, puede aportar un nuevo criterio para las correlaciones de tiempo en estratigrafía, en vista de que este método depende menos de la composición de la flora (y fauna) y es independiente de problemas de migración.

j) *Conclusiones* (Véase fig. 8).

1. Cambios periódicos de la composición cuantitativa de la vegetación terrestre pudieron establecerse sobre la base del análisis de polen en la parte NW de Suramérica (Colombia), con un período menor de 2 millones y otro mayor de 6 millones de años. Un cambio muy fuerte pudo reconocerse en la base del Terciario (período de 60 millones de años).
2. Durante estos cambios periódicos se manifiesta el tipogénesis, pero especialmente durante los cambios mayores, o sea los de 6 millones de años. Tipogénesis especialmente fuerte se presentó en la base del Terciario (período de 60 millones de años).
3. Hay razones importantes para asumir que las causas de estos cambios periódicos de vegetación y tipogénesis son disminuciones periódicas de temperatura y aumentos periódicos de radiación cósmica.
4. Tanto la disminución periódica de temperatura como el aumento de radiación cósmica se pueden explicar por variaciones periódicas de radiación solar (ciclos solares de larga duración), con períodos de aproximadamente 60, 6 y 2 millones de años.
5. Transgresiones y regresiones que muestran esta periodicidad pueden tener en parte la misma causa climática, a través del aumento y disminución (o formación y desaparición) de las capas de hielo terrestre polares. En general, ellas no tendrán sino una extensión relativamente pequeña.
6. Transgresiones y regresiones que dependen de movimientos corticales mostrarán poca o ninguna conexión con la mencionada periodicidad.
7. En el interior de los Andes de Colombia (con sedimentación terciaria principalmente fluviátil y lacustre), una cierta relación parece existir entre movimientos tectónicos y los períodos de 6 millones de años. Estos movimientos comienzan durante el tiempo de deposición de las zonas A, pero más bien en un lapso considerablemente posterior a los cambios periódicos de vegetación en el comienzo de la deposición de estas zonas. La fuerza irregular de estos movimientos tectónicos, sin embargo, muestra que su causa primaria probablemente se halla adentro de la Tierra.

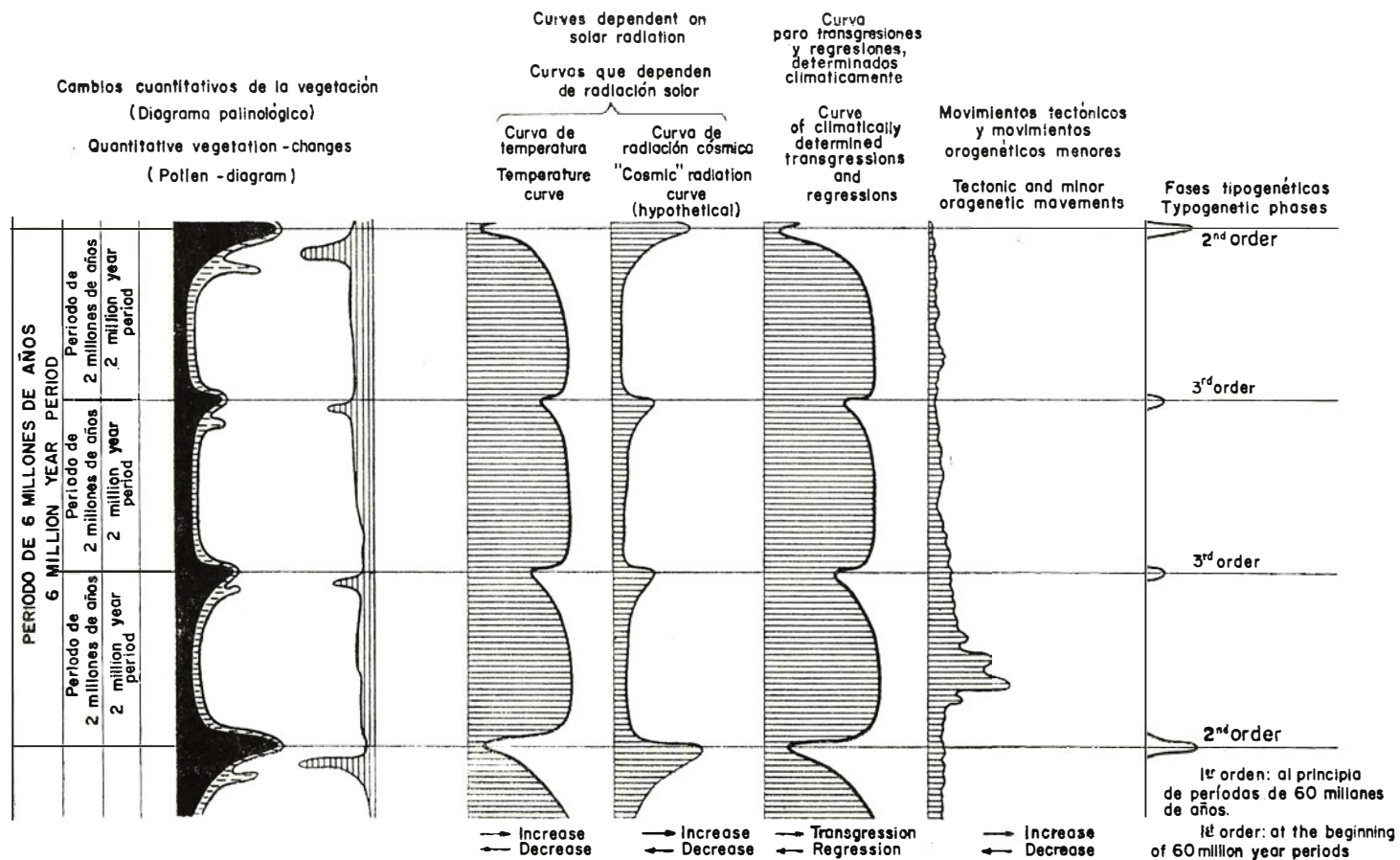


Fig. 8

ESQUEMA DE LA SUPUESTA CORRELACION DE LOS CAMBIOS CUANTITATIVOS DE LA VEGETACION, DE FLUCTUACIONES DE TEMPERATURA Y DE RADIACION COSMICA, CLIMATICAMENTE DETERMINADAS TRANSGRESIONES Y REGRESIONES, MOVIMIENTOS TECTONICOS Y TIPOGENESIS.

PLAN OF THE SUPPOSED CORRELATION OF THE QUANTITATIVE VEGETATION-CHANGES, FLUCTUATIONS OF TEMPERATURE AND COSMIC RADIATION, CLIMATICALLY DETERMINED TRANSGRESSIONS AND REGRESSIONS, TECTONIC MOVEMENTS AND TYPOGENESIS

8. La temperatura del agua oceánica también debe haber mostrado cambios periódicos de temperatura, relacionados con los de los Continentes.
9. Durante las disminuciones periódicas de temperatura, las temperaturas de la superficie del agua oceánica, como también las de los Continentes, pueden haber sido en parte más bajas que las de hoy en día en las mismas latitudes, y la temperatura, al iniciarse el Paleoceno, aún puede haber sido considerablemente más baja.
10. El registro de influencias periódicas universales (cambios climáticos) por medio de estadísticas de polen (y esporas) y eventualmente métodos estadísticos paleozoológicos puede introducir un nuevo criterio para correlaciones de tiempo en la estratigrafía. Este método de correlación, basado en la misma periodicidad como la del tipogénesis, da esencialmente las mismas unidades y límites internacionales, pero con mucho mejores posibilidades de correlación mundial exacta por ser independiente de la composición florística y faunística local específica, e independiente de problemas de migración.

### *Addendum*

Existe una controversia sobre la correlación del Oligoceno-Mioceno americano (del Caribe) con el europeo. Un grupo de paleontólogos (EAMES, 1953; DROOGER, 1956) pone el límite Oligoceno-Mioceno más bajo que otros (STAINFORTH, 1948; BUERGL c. s., 1955). Nosotros seguimos, en este estudio, a STAINFORTH y BUERGL, y lo que llamamos Oligoceno Superior debía ser Mioceno Inferior, según EAMES y DROOGER.

Usamos una escala de tiempo "absoluta", basada sobre estimaciones de varios autores. Si se usa la escala de tiempo B, de HOLMES (1947), nuestra escala de tiempo concuerda también perfectamente, si ponemos ambos límites Oligoceno-Mioceno y Mioceno-Plioceno en un período de 6 millones de años más bajo (véase fig. 9). Así, parece que las diferencias entre la escala de tiempo de HOLMES y la escala usada por nosotros depende solamente de donde fueron colocados los límites entre el Oligoceno y el Mioceno y entre el Mioceno y el Plioceno, y que nuestra división puede estar de acuerdo con ambas escalas.

DROOGER, G. W., 1956. — "Transatlantic correlation of the Oligo-Miocene by means of foraminifera". *Micropaleontology*, vol. 2, 2.

EAMES, F. E., 1953. — "The Miocene-Oligocene boundary and the use of the term Aquitanian". *Geol. Mag.*, vol. 90, 6.

HOLMES, A., 1947. — "The construction of a Geological Time-scale". *Trans. Geol. Soc. Glasgow*, vol. 21, pp. 117-52.

STAINFORTH, R. M., 1948. — "Description, correlation and paleoecology of Tertiary Ciperó marl formation", Trinidad, B. W. I. *Amer. Assoc. Petr. Geol., Bull.*, vol. 32, 7.

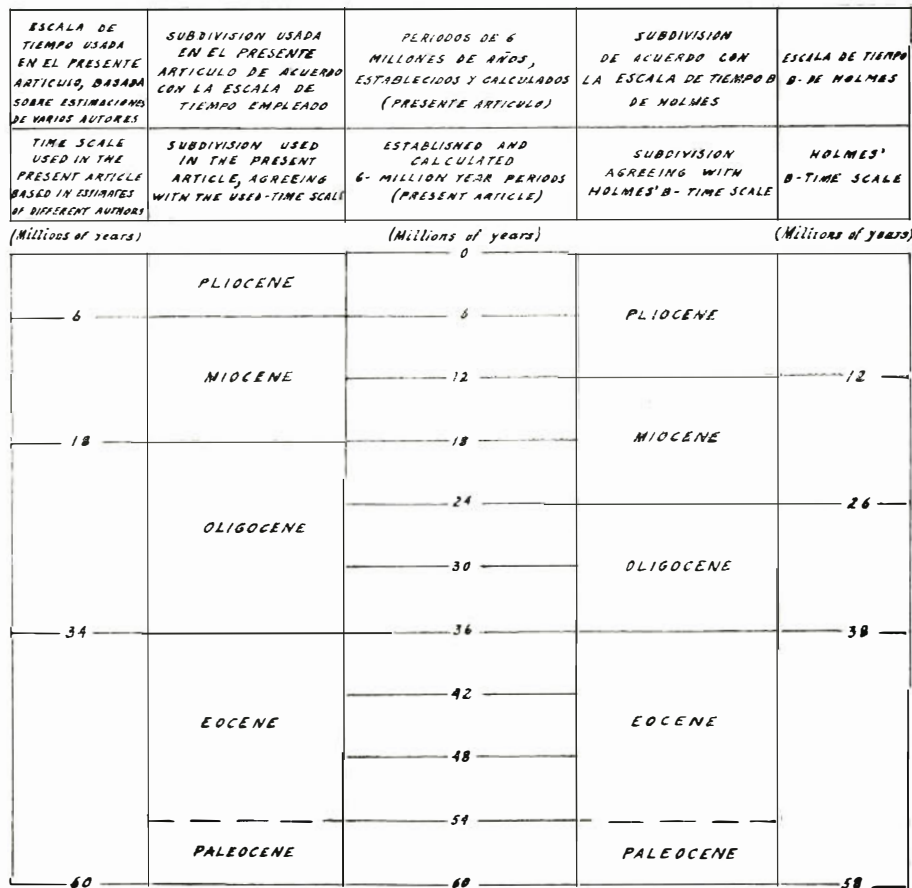


FIG. 9 OLIGOCENE - MIOCENE AND MIOCENE - PLIOCENE BOUNDARIES IN CONNECTION WITH THE 6-MILLION YEAR PERIODS AND DIFFERENT "ABSOLUTE" TIME-SCALES

LOS LIMITES DEL OLIGOCENO MIOCENO Y MIOCENO - PLIOCENO EN RELACION CON LOS PERIODOS DE 6 MILLONES DE AÑOS Y DISTINTAS ESCALAS DE TIEMPO "ABSOLUTO"

## REFERENCIAS

- BUERGL, H., 1955. — "Globorotalia fohsi en la formación de Usme". *Boletín Geológico*, vol. 3, 2, Instit. Geol. Nal., Bogotá.
- BUERGL, H., BARRIOS, M. & ROSTROM, A. M., 1955. — "Micropaleontología y estratigrafía de la sección de Arroyo Saco, Departamento del Atlántico". *Bol. Geol.*, vol. 3, 1, I. G. N., Bogotá.
- CROIZAT, L., 1952. — "Manual of Phytogeography". La Haya.
- DORF, E., 1955. — "Plants and the geological time scale". En: Poldervaart, A. "Crust of the Earth". *Geol. Soc. Am.*, Special Paper, vol. 62.
- EMILIANI, C., 1955. — "Pleistocene temperatures". *Journ. of Geol.*, vol. 63, pp. 538-578.
- EMILIANI, C., 1956. — "Oligocene and Miocene temperatures of the equatorial and subtropical Atlantic Ocean". *Journ. of Geol.*, vol. 64, 3.
- GANSSER, A., 1954. — "The Guyana Shield (S. America)". *Eclog. Geol. Helv.*, vol. 47, 1.
- GERTH, H., 1941. — "Geologische Rundschau", vol. 32, 3.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1951. — "Late glacial flora and periglacial phenomena in the Netherlands". *Leidse Geol. Medel.*, vol. 17.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1954, a. — "El desarrollo de la flora colombiana en los períodos geológicos. I: Maestrichtiano hasta Terciario más Inferior". *Bol. Geol.*, vol. 2, 1, I. G. N., Bogotá.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1954, b. — "Principios para la nomenclatura palinológica sistemática". *Bol. Geol.*, vol. 2, 2, I. G. N., Bogotá.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1954, c. — "La geología y los recursos del río Apaporis entre Soratama y Cachivera La Playa". *Rev. Territ. Nales.*, vol. 4, 8-9-10, Bogotá.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1956, a. — "A palynological systematic nomenclature". *Bol. Geol.*, vol. 4, 2-3, I. G. N., Bogotá.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1956, b. — "Description of some genera and species of fossil pollen and spores". *Bol. Geol.*, vol. 4, 2-3, I. G. N., Bogotá.
- HAMMEN, T. VAN DER, 1957. — "Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá y alrededores (Cordillera Oriental)". *Bol. Geol.*, vol. 5, 2, I. G. N., Bogotá.
- HUNTINGTON, E. & FISHER, S. S., 1932. — "Climatic changes". Yale Univ. Press.
- KUYL, O. S., MULLER, J. & WATERBOLK, H. TH., 1955. — "The application of Palynology to Oil Geology with reference to Western Venezuela". *Geol. & Mijnb.*, New Series, vol. 17, 3.
- NOREM, W. L., 1956. — "Tertiary spores and pollen related to paleoclimates and stratigraphy of California". *Micropaleontology*, vol. 2, 4.
- NOTESTEIN, F. B., HUBMAN, C. W. & BOWLER, J. W., 1944. — "Geology of the Barco Concession, Rep. of Colombia". *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 55.
- SCHINDEWOLF, O. H., 1950. — "Grundfragen der Paleontologie". Stuttgart.
- STIRTON, R. A., 1953. — "Vertebrate paleontology and continental stratigraphy in Colombia". *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 64, 6.
- UMBROVE, J. H. F., 1942. — "The pulse of the earth". La Haya. Martinus Nijhoff.



MINISTERIO DE MINAS Y PETRÓLEOS  
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL  
SECC. DE PALINOLOGÍA

### DIAGRAMA PALINOLOGICO COMPUESTO MAESTRICHTIANO - MIOCENO INFERIOR COLOMBIA (SUR AMERICA)

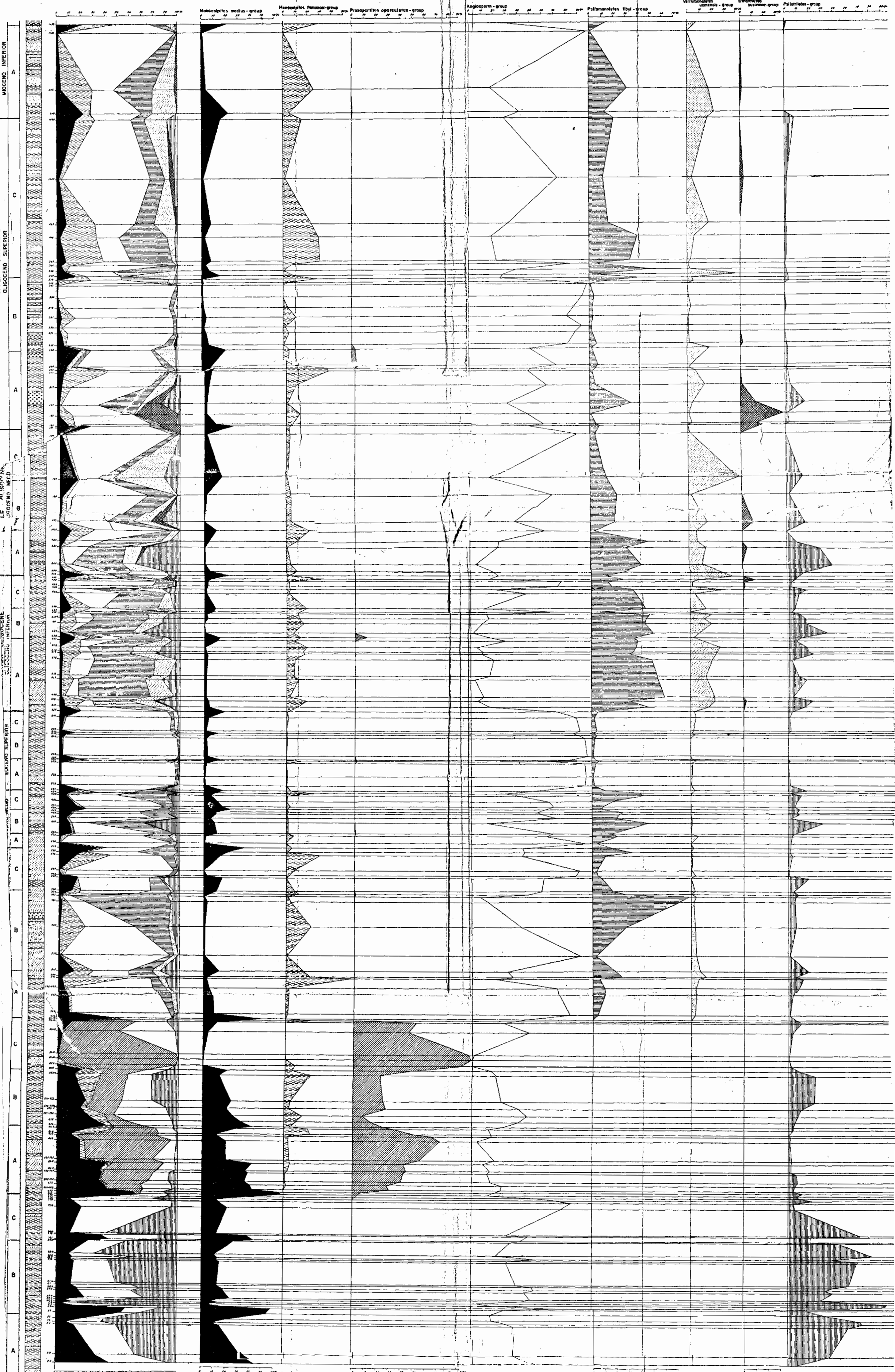
BASADO SOBRE ANALISIS PALINOLOGICOS DE SECCIONES DE LA  
SABANA DE BOGOTA, DE TIBU (CATATUMBO),  
TIMBA (VALLE DEL CAUCA) Y ANTIOQUIA

### COMPOSITE PALYNOLOGICAL DIAGRAM MAESTRICHTIAN - LOWER MIOCENE COLOMBIA (SOUTH AMERICA)

BASED ON PALYNOLOGICAL ANALYSIS OF SECTIONS FROM  
THE SABANA DE BOGOTA, FROM TIBU (CATATUMBO),  
TIMBA (VALLE DEL CAUCA) AND ANTIOQUIA

Anál.  
THOMAS VAN DER HAMMEN  
PALEOBOTANICO JEFE

Drawing:  
IRMA CORTES CEDELL  
DIBUJANTE



LEYENDA (Columna estratigráfica)-LEGEND (Stratigraphical column)  
 ANCLAS ESQUISOSTAS, ONDAS ETC.  
 SANDSTONES  
 ANCLAS ESQUISOSTAS, ONDAS ETC.  
 SANDSTONES  
 CONGLOMERADOS  
 CONGLOMERATES  
 (FOTO DE LOS MANTOS DE CARBON ANALIZADOS  
 EN LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
 PLACE OF ANALYZED COAL-SEAMS IN THE STRATIGRAFICAL COLUMN)

LEYENDA DIAGRAMA - LEGEND (DIAGRAM)  
 MONOCOLPITES MEDIUS-GROUP  
 MONOCOLPITES FRANCISCI-GROUP  
 PROXAPERTITES OPERCULATUS-GROUP  
 ANGIOSPERM-GROUP (EXCEPT THOSE PALMS INCLUDED IN THE FORMER GROUPS)  
 PSILAMONETES TIBUI-GROUP  
 VERRUONOLETES USMENSIS-GROUP  
 STRIATILETES USSANAE-GROUP  
 PSILATRILETES-GROUP  
 (EXCEPTANDO LAS PALMAS INCLUIDAS EN LOS GRUPOS ANTERIORES)

LOS ESPESORES ESTAN BASADOS SOBRE OBSERVACIONES EN LAS AREAS DE TIBU, TIMBA Y ANTIOQUIA  
 DOS PARTES DE LAS CUALES NO SE PODIAN OBTENER BUENAS MUESTRAS EN ESAS REGIONES FUERON COMPLETADAS CON COLECCIONES EN OTRAS AREAS USANDO LOS ESPESORES OBSERVADOS EN LA SECCION DE TIBU (LA PARTE MAESTRICHTIANA DEL DIAGRAMA FUE TOMADO DE LA SECCION DE SUESCA, SANTA ROSITA, Y LA ZONA C DEL PALEOCENO DE LA SECCION DE LEBRIJA)  
 EXCEPCION: ZONA C DEL OLILOCENO SUPERIOR Y LA ZONA A DEL MIOCENO INFERIOR TIENEN UN ESPESOR VECEZ MAS GRANDE QUE LA REPRESENTADA, PARA FACILITAR LA REPRESENTACION DE ESTAS ZONAS

THICKNESSES ARE BASED ON OBSERVATIONS IN THE TIBU, TIMBA AND ANTIOQUIA AREAS  
 TWO PORTIONS OF WHICH IN THESE REGIONS NO GOOD SAMPLES COULD BE OBTAINED, WERE COMPLETED BY COLLECTIONS IN OTHER AREAS USING THE OBSERVED THICKNESSES IN THE TIBU SECTION (THE MAESTRICHTIAN PART OF THE DIAGRAM WAS TAKEN FROM THE SUESCA - SANTA ROSITA SECTION, AND ZONE C OF THE PALEOCENE FROM THE LEBRIJA SECTION)  
 EXCEPTION: ZONE C OF THE UPPER OLILOCENE AND ZONE A OF THE LOWER MIOCENE ARE TWICE AS THICK AS REPRESENTED, TO MAKE THE REPRESENTATION OF THESE VERY THICK ZONES EASIER.

ESCALA VERTICAL - VERTICAL SCALE  
 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100  
 METROS - METERS  
 EACH SPECTRUM CORRESPONDS TO A COAL SEAM, AND IS THE AVERAGE OF A SERIES OF SAMPLES TAKEN FROM TOP TO BOTTOM FROM THAT SEAM.  
 CADA ESPECTRO CORRESPONDE A UN MANTO DE CARBON, Y ES EL PROMEDIO DE UNA SERIE DE MUESTRAS TOMADAS (DE ARRIBA HACIA ABAJO) DE ESTE MANTO.