

ANALISIS DE SERIES CRONOLOGICAS DEL NUCLEO A 172-6 PROCEDENTE DE UNA PARTE PROFUNDA DEL CARIBE**

RALPH YALKOVSKY*

Traducido al español por
Rebeca M. de Schmitter.

RESUMEN

El núcleo A 172-6, del Observatorio Geológico Lamont, ha sido analizado espectroquímicamente con objeto de estudiarle elementos principales y secundarios seleccionados, y sus contenidos de carbonato han sido comparados con datos de paleotemperatura ya publicados. En un estudio previo se llegó a la conclusión de que la falta de correlación entre la paleotemperatura y los carbonatos se debió, por lo menos en parte, a las condiciones marinas tropicales que prevalecieron en esta parte del Caribe durante el Pleistoceno. Esta interpretación depende, en gran parte, del depósito de sedimentos, partícula por partícula, tal como se refleja en el aspecto uniforme del núcleo. Con el propósito de investigar aún más la estabilidad de este núcleo, tanto los elementos más abundantes como las paleotemperaturas, fueron sometidos a una prueba de series cronológicas, para observar su tendencia. En el núcleo estudiado se indica una tendencia para todos esos elementos y para la paleotemperatura y, aquí, se discuten tanto las implicaciones como las fallas inherentes a este tipo de análisis. De ningún modo estas pruebas están restringidas a sedimentos marinos, sino que pueden aplicarse también a depósitos lacustres y de ríos.

El núcleo A 172-6 correspondiente a la serie de núcleos obtenidos por el Observatorio Geológico Lamont, ha sido analizado espectroquímicamente, con objeto de determinar elementos principales y secundarios seleccionados; los datos así obtenidos han sido comparados en un estudio previo (Yalkovsky, 1957) con datos de paleotemperatura publicados (Emiliani, 1955), corres-

* State University College, Buffalo, New York.

** Publicado en inglés en *The Journal of Geology*, v. 75, n. 2, p. 224-231. The University of Chicago Press. Presentado como conferencia en la Soc. Geol. Mexicana.

pondientes a intervalos de 10 cm cada uno, de un núcleo de 9.35 m de longitud. Los elementos que se tomaron en consideración (entre otros que se estudiaron) son: aluminio, silicio, fierro, titanio, calcio, magnesio y manganeso.

El núcleo A 172-6 es una muestra tomada de la extensión oriental del Beata Ridge (14° 59'/N, 68° 51'/W) a una profundidad de 4,160 m, obtenida con una perforadora del tipo Kullenberg.

Gran cantidad de trabajo ha sido desarrollado en relación con este núcleo por un gran número de investigadores; Ericson y Wollin (1956) han trabajado en la micropaleontología; Emiliani (1955) en la paleotemperatura; Suess (1956) en la determinación de edad, por medio del radiocarbono, y Yalkovsky (1957) en la espectroscopía. Los métodos para el muestreo y los análisis se describen en esas publicaciones.

El núcleo de que se habla, ha sido descrito por Ericson (1953) como compuesto de una lutita uniforme con foraminíferos, que da la evidencia de una sedimentación continua normal (i.e., partícula por partícula) y que no tiene evidencia de estratificación de arena y de limo, de bandeamiento cíclico, ni de diferencias de color. Fue descrito, además, por Suess (1956) quien dijo que la muestra había sido seleccionada por su aspecto homogéneo y por estar libre, lo más posible, de los efectos de corrientes de turbidez, erosión o desplomes.

Las determinaciones de edad por medio de radiocarbono, establecidas por Suess (1956) para varios horizontes del núcleo, dan una tasa de sedimentación promedio de 3.70 cm/1,000 años, para el intervalo incluido. Las paleotemperaturas determinadas por Emiliani (1955) quedan establecidas entre 19.7° y 30.4°.

En una investigación anterior, en relación con la paleotemperatura y el contenido de carbonatos, Yalkovsky (1957) llegó a la conclusión de que:

1. El contenido de carbonato y la paleotemperatura no están relacionados en este núcleo. Este es uno de un grupo de 6 núcleos (seleccionados de entre más de 500), escogido por su aspecto homogéneo, por estar libre de bandeamiento, etc., y porque sus cualidades como material para análisis, hacen parecer improbable que un simple examen de la productividad de carbonato sea siempre una guía de los cambios de temperatura.

2. La independencia que se observa, en general, entre el contenido de carbonatos y la paleotemperatura, se explica, al menos en parte, por el rango de temperaturas involucradas (19.7° a 30.4°C), que indican que las condiciones marinas tropicales prevalecieron en esta parte del Caribe durante todo el Pleistoceno. Ya que la temperatura fue favorable, parece poco pro-

bable que pudiera haber sido un factor mínimo o de control, en la producción de carbonatos.

3. Los aumentos de producción de carbonatos durante los períodos alternados de agua fría y caliente, pueden ser un reflejo de valores límite, desfavorables para ambos períodos.

4. Es probable que el magnesio en este núcleo ocurra raramente como carbonato, ya que parece no estar relacionado con el calcio y sí estar comúnmente asociado con fierro, aluminio y silicio.

5. La naturaleza errática del manganeso en este núcleo puede ser debida a vulcanismo submarino. Suponiendo que esto sea correcto, es posible usar los picos de manganeso o de foraminíferos manchados con manganeso para propósitos de correlación, de manera similar a como se están usando ahora las capas de ceniza volcánica.

6. Se ha demostrado que la sedimentación en esta parte del Caribe es uniforme en forma cualitativa, a causa de la relación entre el calcio y la suma del fierro, el aluminio y el silicio.

RELACION GENERAL DE LOS ELEMENTOS EN ESTE NUCLEO

Desde el punto de vista de su fuente de origen, los elementos en este núcleo pueden ser divididos en tres categorías:

- 1) Aquellos de origen principalmente marino.
- 2) Los de origen principalmente terrígeno.
- 3) Los de origen mixto.

En la Figura 1 puede notarse: que las curvas para el fierro, la alúmina y la sílice son notablemente similares; la curva para el calcio no es parecida a aquéllas; ninguna de esas curvas muestra correlación aparente con la paleotemperatura, y que la curva para el óxido de magnesio es mucho más parecida a las del fierro, de la alúmina y de la sílice, que a las del óxido de calcio.

Se han calculado coeficientes de correlación para los varios componentes. En la Tabla 1 puede verse que el fierro, la alúmina y la sílice muestran un alto grado de correlación aparente. Estos componentes muestran una correlación negativa con el calcio; ninguno de ellos muestra correlación aparente con la paleotemperatura.

Si el calcio es el componente marino dominante y el fierro, el aluminio y el silicio se consideran constituyentes predominantemente terrígenos, la

razón entre el calcio y la suma de fierro, aluminio y silicio debe ser una indicación de la relación entre los componentes marinos y terrígenos en este núcleo. Esta relación ha sido graficada y comparada con una curva para el carbonato de calcio (ver Figura 2). La gran similitud aparente que hay entre estas dos curvas, bien podría indicar que el material terrígeno ha sido introducido a una velocidad razonablemente constante.

TABLA 1. Grado de correlación entre los diferentes elementos en el núcleo A 172-6

<i>Relación entre</i>	<i>Nº de puntos</i>	<i>Coefficiente de correlación</i>	
Fierro y calcio	94	- 0.7279	
Fierro y aluminio	94	- 0.8592	
Fierro y silicio	94	- 0.9410	
Fierro y titanio	92	- 0.8891	
Magnesio y calcio	94	- 0.325	
Aluminio y silicio	94	- 0.9212	
Fierro y Magnesio	94	- 0.5050	
Fierro	} y calcio	94	- 0.7806
+ Aluminio			
+ Silicio			
Fierro	} y paleotemperatura ..	77	- 0.2010
+ Aluminio			
+ Silicio			
Carbonato de calcio y paleotemperatura	77	- 0.1628	

Como un comentario general respecto a los aluminosilicatos en el océano, Arrhenius (1954) estableció lo siguiente:

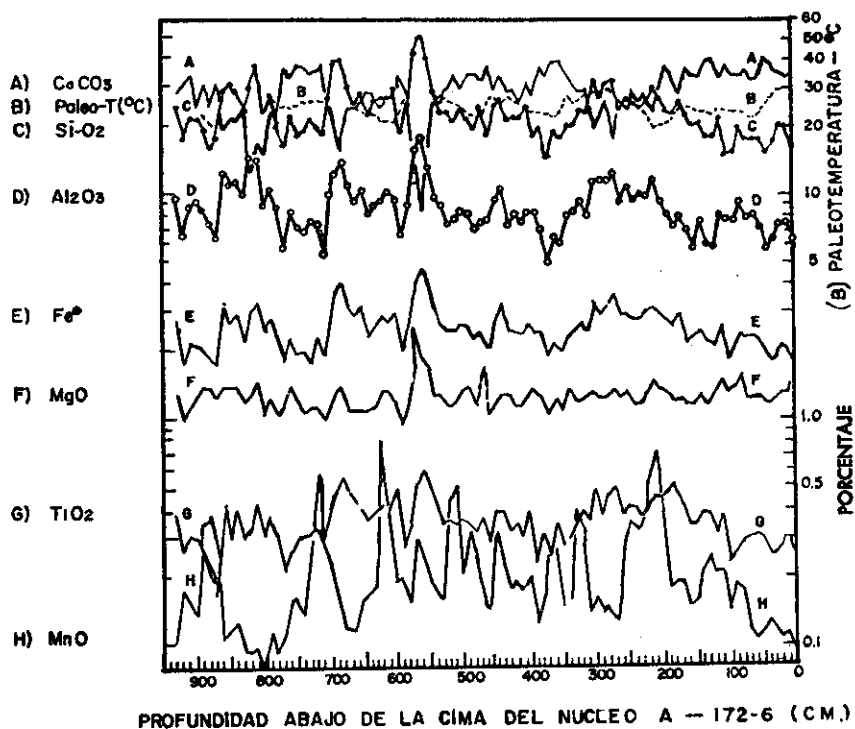


FIG. 1.—Análisis espectroquímico del núcleo A172-6 en función de la profundidad. Paleotemperatura según Emiliani (1955).

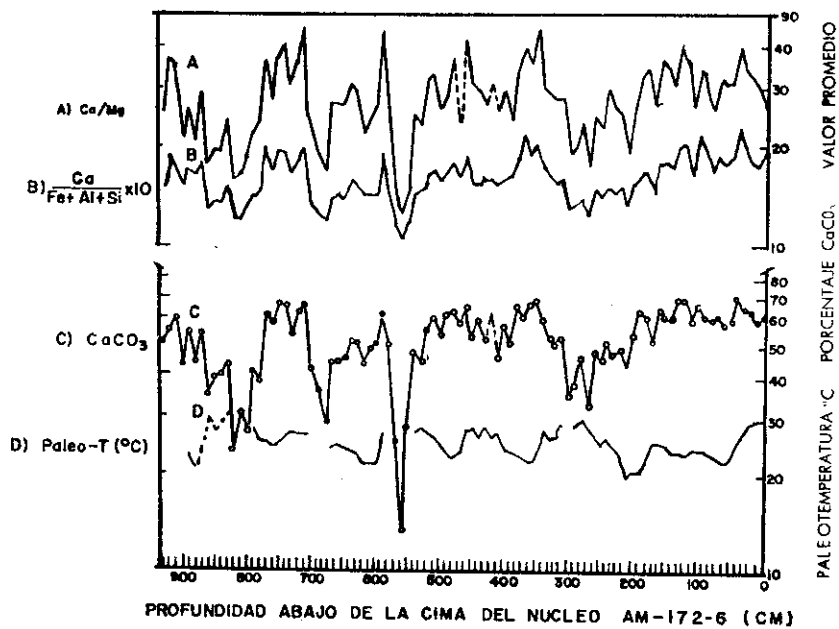


FIG. 2.—Relación entre los elementos marinos-terrestres y carbonato de calcio en función de la profundidad.

“Los cambios en el ritmo de sedimentación de los aluminosilicatos, en las áreas eupelágicas, son más bien determinados por propiedades fisicoquímicas del agua del mar, que por cambios de variaciones de flujo en el océano. Se supone que tales cambios se compensan en el ambiente nerítico y hemipelágico”.

En este núcleo, el magnesio puede ser de origen mixto, ya que está más comúnmente asociado con fierro, aluminio y sílice, que con calcio. Como el manganeso es altamente errático, puede estar relacionado con un vulcanismo submarino.

EXACTITUD DEL METODO

Todos los análisis fueron realizados por medio de espectrógrafo de rejilla de Jarrel-Ash, de 21 pies (véase Yalkovsky, 1957), para procedimiento en arco (arcing). Para comparar la exactitud del método, se usaron mezclas de dolomita y pedernal, analizadas químicamente por el Bureau of Standards.

Los valores dados abajo son el máximo de error esperado, expresado en porcentajes de los elementos u óxidos presentes, de hecho, en la muestra:

Fierro (metálico)	± 3%	TiO ₂	± 10%
MnO	± 5%	Al ₂ O ₃	± 5%
CaO	± 5%	SiO ₂	± 7%
MgO	± 5%		

ANÁLISIS DE SERIES CRONOLÓGICAS DEL NÚCLEO A 172-6

Para probar con mayor firmeza la estabilidad del núcleo, así como examinar las relaciones entre los varios componentes, particularmente su distribución con respecto al tiempo, algunos de los principales elementos y la paleotemperatura han sido sometidos a una prueba no-paramétrica, para ver su tendencia. Se ha considerado que el tiempo está relacionado directamente con la profundidad, a partir del extremo superior del núcleo. Se han buscado dos clases de información: 1) ¿Existe una tendencia para cada elemento y para la paleotemperatura en este núcleo, considerado en su totalidad? 2)

¿A qué profundidad, a partir del extremo superior del núcleo, aparece por primera vez tal tendencia?

¿Qué es una serie cronológica?

De acuerdo con Miller y Kahn (1962), "Una serie cronológica es una secuencia de observaciones ordenadas con respecto al tiempo". Ellos designan dos categorías: 1) en donde se cuenta con un valor cronológico para cada observación; 2) aquellas en donde, a pesar de su falta de unidades de tiempo exactas o fidedignas, aún son series cronológicas, en el sentido de que tienen un orden significativo en el tiempo. Los análisis del núcleo podrían generalmente estar dentro de esta última categoría.

Las series cronológicas pueden ser divididas en tres componentes: 1) tendencia; 2) periodicidad y, 3) componentes aleatorios. Una particular serie cronológica puede consistir de cualquiera de los tres componentes, o de todos a la vez.

Puede ser muy útil en este punto considerar los aspectos de la tendencia. Miller y Kahn (1962) definen la tendencia como cualquier tipo de regularidad en una secuencia ordenada de números o elementos; o sea que cualquier secuencia ordenada de números o elementos que no sea aleatoria, se designará como una tendencia. Ellos señalan, sin embargo, que la tendencia es un término ambiguo. También citan la idea de Kendall de que un movimiento suave y amplio durante un largo período de tiempo, es indicador de una tendencia. La prueba de series cronológicas escogida para los análisis de este núcleo, es la de "aleatoriedad por caminos de prueba", basada en el número de "corridas", tal como la describieron Dixon y Massey (1951).

Esta es una prueba no-paramétrica, en donde se calcula únicamente la distribución, sin tomar en cuenta la forma que pueda tomar (i.e., no importa si la distribución es normal, asimétrica, etc.). El único requerimiento debe ser que la muestra sea aleatoria.

El procedimiento para la aplicación de la prueba es el siguiente:

- 1) Determinar el valor de la mediana.
- 2) Asignar el signo de + a aquellos valores que se encuentren arriba de la mediana y un signo de - para aquellos que se encuentren abajo de ella.
- 3) Considerar como una "corrida" cualquier serie de uno o más signos iguales, seguidos por signos desiguales.
- 4) Calcular el número total de "corridas" y determinar, a partir de una tabla de valores previamente calculados (véase a Dixon y Massey, 1951. Tabla 11, p. 326), si la distribución es o no casual.

TABLA 2. Tendencia de los elementos y paleotemperatura en el núcleo A 172-6

	$N_1 = N_2$	u.025	u.975	Nº de corridas	Distribución en función de la profundidad
Paleotemperatura ...	38	30	47	14	No casual
Fierro-aluminio-silicio	47	38	59	22	No casual
Silicio	47	38	59	20	No casual
Aluminio	47	38	59	16	No casual
Fierro	47	38	59	20	No casual
Titanio	46	37	56	30	No casual
Magnesio	47	38	59	30	No casual
Manganeso	47	38	59	25	No casual
Carbonato de calcio .	47	38	59	26	No casual

Estas tablas están calculadas de tal modo que, un número menor o igual a u.205, y un número igual, o mayor que u.975, no ocurra más de un 2.5% de las veces. Esas áreas son llamadas las zonas críticas de la prueba.

Por ejemplo, consideremos el CaCO_3 en la Tabla 2:

$N_1 = N_2 = 47$. Esto indica que 47 resultados quedan arriba de la mediana y 47 abajo de ella.

Si consideramos las zonas críticas (u.025 = 38; u.975 = 59) para que solamente puedan ocurrir asociaciones casuales, el número de corridas debe quedar entre esos valores. De hecho, el número de corridas para el CaCO_3 es de 26.

El número de corridas queda, por lo tanto, en la zona crítica, y es indicada una tendencia, o periodicidad, o ambos, de bajo orden. Si el número de corridas hubiera sido mayor que 59, esto hubiera indicado una tendencia de período rápido.

Con respecto al análisis de secuencia, se presentan tres posibilidades, de acuerdo con Dixon y Massey (1951), (vea también Wallis *in* Eisenhart, Hastay y Wallis, 1947, p. 419): 1) Aceptar la hipótesis de la tendencia, 2) rechazarla, ó 3) considerar los datos como insuficientes y continuar muestreando. Parece no haber una razón para que esos criterios no deban aplicarse a las series cronológicas.

Para todos los elementos bajo esta consideración, así como para las paleotemperaturas (véase la Tabla 2), el número de corridas es menor que las que uno pueda esperar con un arreglo meramente casual, así que al nivel de significación del 5% parece no haber razón para rechazar la hipótesis de la no-casualidad.

Hoel (1960, p. 204) establece, "Si una secuencia de edades posee tendencia larga hacia arriba o hacia abajo, el número de corridas tenderá a ser pequeño, a causa de unas cuantas corridas largas al principio o al final de la serie. Si una serie muestra un ciclo bastante grande, con respecto al tiempo entre las observaciones, el número total de corridas tiende otra vez a ser pequeño, a causa de que la mayor parte de dichas corridas serán más largas de lo que se esperaba al azar. De esta manera parece ser que, sea una tendencia o movimientos cíclicos, originarán un pequeño número de corridas totales.

El concepto de la primera aparición de una tendencia en un núcleo de mar profundo, según el autor, no se había tenido antes en la literatura geológica. Su cálculo es más bien un proceso tedioso, pero que puede ser pertinente. Se representa un sector de núcleo tomado estadísticamente al azar con respecto a la prueba bajo discusión. Esto puede sugerir que debería hacerse un estudio más detallado, con respecto a este sector del núcleo. Puede también sugerir que, en ciertas áreas, los núcleos menores de cierta longitud pueden no ser muestras representativas de las condiciones de sedimentación. Uno puede entonces preguntarse: ¿Existe un mínimo significativo en la longitud de un núcleo?

El período justamente anterior a la primera aparición de una tendencia en el núcleo A 172-6, para los principales componentes en discusión (CaCO_3 , fierro, alúmina, sílice y paleotemperatura) queda entre 230 cm y 280 cm bajo el extremo superior del núcleo.

Si se acepta como velocidad promedio de sedimentación 3.70 cm/1,000 años, entonces la parte estable de este núcleo representa un período de 60,000-80,000 años anteriores al tiempo presente (véase la Tabla 3).

FUENTES DE INCERTIDUMBRE

En esta investigación existen dos causas de incertidumbre; la primera concierne a los aspectos de la misma prueba que carecen de claridad; la otra está relacionada con el material del núcleo.

TABLA 3. Profundidad anterior a la primera aparición de la tendencia en el núcleo A 172-6

	Prof. abajo de la cima del núcleo	$N_1 = N_2$	Mediana	u.025	Nº de corridas
CaCO ₃	280	14	33.5 %	9	8
SiO ₂	230	12	20.35%	7	6
Fe (metálico)	270	14	2.35%	9	8
TiO ₂	170	9	0.30%	5	4
MgO	170	9	1.30%	5	4
Al ₂ O ₃	270	14	7.6 %	9	8
MnO	140	7	0.13%	3	2
Paleotemperatura*	250	13	23.65°C	8	7

* Según Emiliani (1955), basada en las relaciones O^{18}/O^{16} calculadas por él.

Existe principalmente el problema de cómo tratar la repetición del valor de la medicina, cuando ésta ocurre. Esta puede, dependiendo de cómo es tratada, afectar el número total de corridas. El autor ha discutido informalmente este problema con varios especialistas en estadística y su opinión es que, ya sea una u otra cosa, el valor de la mediana debe ser ignorado al calcular el número de corridas, o bien, que deberá ser tratado a modo de aumentar este número. En el núcleo A 172-6, el número de corridas nunca fue tal que alterara las conclusiones de no-casualidad.

La segunda incertidumbre con la prueba se refiere a los límites de las áreas críticas. Dixon y Massey (1951, p. 255) anotaron, con respecto a su Tabla 11 (después de Eisenhart *et al.*, 1947), que los valores para u.025 y u.975 son tales, que un número menor o igual a u.025 no ocurrirá más que un 2.5% de las veces y que un número mayor que, o igual a u.975 no ocurrirá más que un 2.5% de las veces. Esto podría sugerir que esos números están en las zonas críticas y que, para que se tuviera casualidad, el número de corridas tendría que ser más grande que u.025, y no igual a él; del mismo modo, más pequeño que u.975 y no igual a él. De todas maneras, en un ejemplo que de ellos dan, sugieren que para que ocurra una tendencia, el número deberá ser mucho menor que el valor u.025.

Ordinariamente, esto puede o no hacer una diferencia con respecto a la casualidad o no-casualidad del núcleo, considerado como un todo, pero podría ser crítico con respecto a la primera aparición de la tendencia, ya que está directamente relacionada con el valor de $u.025$.

El material del núcleo en sí mismo, tiene varios horizontes en los que ha habido solución, para los cuales no se tienen datos de paleotemperatura, y las relaciones de los componentes marinos y terrígenos han sido en consecuencias alterados.

Lo más probable es que la solución esté relacionada con cambios del nivel del mar en tiempos glaciales y no-glaciales. En este punto, el mar pudo haber tenido fluctuaciones entre 4,060 m y 4,160 m, causando un cambio de presión de 10 atm., lo cual pudo aumentar la tensión del CO_2 en la profundidad y causar la solución.

Esto plantea el problema de cómo valorar la contribución de aquellas partes del núcleo afectadas por solución, al simple resultado de la no-casualidad en la paleotemperatura y en los principales elementos de este núcleo.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El tipo de inferencia que puede sacarse de un núcleo, es bastante limitada. Se está tratando, después de todo, con una única muestra. Sin embargo, un número de ventajas inmediatas se derivan aún de una prueba tan sencilla como la que se ha descrito. Reduciendo los números a una notación (tal como + ó -) (véase la Figura 3), puede hacerse fácilmente una comparación visual entre los varios componentes y verse si son altos o bajos para el núcleo. Puede ser posible darse cuenta de una no-homogeneidad, no evidente a simple vista.

Parece factible aceptar la hipótesis de una tendencia o ciclo en cada caso, ya que el muestreo fue aleatorio y el número de determinaciones suficientemente grande para asegurar un alto nivel de confianza.

El lento período de la tendencia puede estar relacionado con fluctuaciones del nivel del mar, de quizás 100 m durante el Pleistoceno. Las fluctuaciones del nivel del mar pueden haber afectado el núcleo produciendo solución y pequeños cambios fisicoquímicos en el agua de mar, dando como resultado variaciones del depósito de los componentes terrígenos, y dejando expuestas a la erosión islas adyacentes, cubiertas ahora por agua.

El lento período de la tendencia podría reforzar la idea de que las áreas tropicales distantes de los bordes de los glaciares, fueron poco afectadas

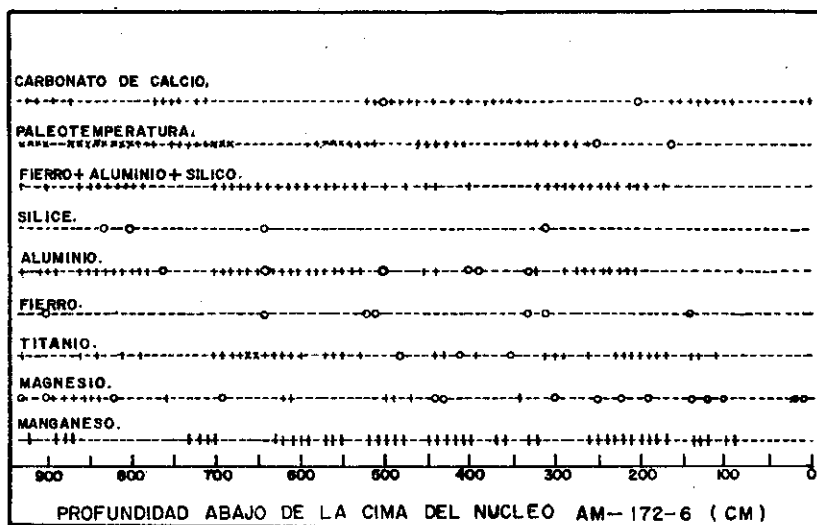


Fig. 3. Corridas para varios componentes del núcleo A-172-6. Las corridas de Paleotemperatura están basadas en datos de Emiliani (1955) + = arriba del valor medio, - = bajo del valor medio, o = valor medio, X = sin determinación.

por la glaciación. El hecho de que esas condiciones marinas tropicales prevalecieron en esta parte del Caribe, está también indicado por el rango de paleotemperaturas (19.7° - 30.4°C).

La primera aparición de la tendencia (como se ha establecido previamente) puede sugerir la casualidad o un componente estable del núcleo, y puede ser una ayuda en el muestreo.

Aunque esta investigación ha sido relacionada con la paleotemperatura y la química de los sedimentos marinos, la prueba, en sí misma, podría también haberse aplicado a sedimentos de un lago o de un río, y a cualquier componente, tal como pH, mineralogía, determinación de humedad, tamaño de grano, porcentajes de especies, para lo cual pueden obtenerse datos numéricos.

Miller y Kahn (1962) anotaron el hecho de que los análisis de series cronológicas han sido poco usados en geología. Ellos recalcan que la mayor parte de los fenómenos geológicos son más bien episódicos que cíclicos, pero sugieren que las principales glaciaciones (y el suscrito podría sugerir que también la sedimentación pleistocénica en el Caribe) pueden ser periódicas.

Este fenómeno podría entenderse mejor si se encontrara alguna técnica analítica, tal como el análisis de series cronológicas, para describirlos cuantitativamente.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Robert L. Miller por haber sugerido la prueba antes descrita, al Dr. Gene A. Rusnak, Miss Donna Meddaugh y a Mrs. Kay Weitz, por ayudar durante la investigación. El suscrito agradece también a Mr. William F. Schmidt y Mr. Stephen Magowan, por haber preparado las ilustraciones.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ARRHENIUS, G. 1954. *Origin and accumulation of aluminosilicates in the ocean*. Tellus., v. 6, p. 215-220.
- DIXON, W. J. and MASSEY, F. J. 1951. *Introduction to statistical analysis*. New York, McGraw-Hill Book Co., p. 247-263, 325-326.
- EISENHART, C., HASTAY, M. W. and WALLIS, W. A. eds., 1947. *Selected techniques of statistical analysis*. New York, McGraw-Hill Book Co.
- EMILIANI, C. 1955. *Pleistocene temperatures*. Jour. Geol., v. 63, p. 538-578.
- ERICSON, D. B. 1953. *Sediments of the Atlantic Ocean*. Columbia Univ., Lamont Geol. Observatory Tech. Rept. on Submarine Geology., v. 1, 34 p.
- , and WOLLIN, G. 1956. *Correlation of Six cores from the equatorial Atlantic and Caribbean*. Deep-Sea Res., v. 3, p. 104-125.
- HOEL, P. G. 1960. *Elementary statistics*. New York, John Wiley & Sons. p. 196-228.
- MILLER, R. L. and KAHN, J. S. 1962. *Statistical analysis in the geological sciences*. New York, John Wiley & Sons., p. 325-363.
- Suess, H. E. 1956. *Absolute chronology of the last glaciation*. Science, v. 123, p. 355-357.
- YALKOVSKY, R. 1957. *The relationship between paleotemperature and carbonate content in a deep sea core*. Jour. Geol., v. 65, p. 480-496.