

PRIMER INFORME SOBRE ESTUDIOS DE LA LLUVIA  
RADIOACTIVA \*

por

Fernando Alba A., Virgilio Beltrán, T. A. Brody, Hugo Lezama  
A. Moreno M. A. Tejera y M. Vázquez B.

Instituto de Física de la Universidad Nacional  
Autónoma de México

RESUMEN

*Se presentan datos de lluvia radioactiva, obtenidos por el método de la hoja engomada y el de recolección en una superficie libre de agua. Se describen los métodos experimentales. Se obtienen algunas conclusiones sobre la eficacia relativa de los dos métodos y su relación con la precipitación atmosférica.*

**1. INTRODUCCION:** Finalidad del trabajo

En su sesión de marzo de este año, el Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, adscrito a la Asamblea General de las

---

\* Este trabajo ha sido auspiciado por la Comisión Nacional de la Energía Nuclear.

Naciones Unidas, incluyó en sus trabajos el estudio de la lluvia radioactiva debida a la radioactividad artificial creada en explosiones nucleares y plantas de energía nuclear. En su resolución, el Comité recomendó que los estados miembros de las Naciones Unidas inicien el estudio de la lluvia radioactiva y comuniquen periódicamente sus resultados a la secretaría del Comité. El propósito de los trabajos es doble:

a) Determinar la actividad  $\beta$  artificial precipitada por unidad de área y la actividad acumulada total presente en la superficie de la tierra al terminar cada período. Determinar además las concentraciones de los núclidos más importantes, como  $^{90}\text{Sr}$  y  $^{137}\text{Cs}$ .

b) Estudiar los métodos de recolección y estimación con el fin de permitir la comparación de diversos métodos y poder recomendar un procedimiento uniforme en su proyectada sesión de octubre de este año.

Nuestro país estuvo representado en esta sesión por una delegación encabezada por el Dr. Manuel Martínez Báez y formada además por el Dr. Horacio Salce y el Dr. Fernando Alba Andrade. Esta delegación recomendó que se iniciaran los trabajos de los cuales se presenta un primer informe. Se ha empezado la recolección de datos mediante dos métodos diferentes y con un número restringido de estaciones para estudiar los dispositivos experimentales y definir un procedimiento recomendable. (Para los métodos de recolección, véase Eisenbud et al. 1956.)

Los resultados obtenidos ya permiten sacar algunas conclusiones en cuanto a la eficacia de los dos métodos de recolección; se ha podido observar la llegada de fuertes actividades debidas a las recientes explosiones nucleares; y se han elaborado dispositivos experimentales para el tratamiento preliminar de las muestras y la determinación de sus actividades.

## II. METODOS EXPERIMENTALES DE RECOLECCION DE LLUVIA RADIOACTIVA

### a) *Hojas Engomadas.*

De la Minnesota Manufacturera se obtuvieron rollos de su cinta engomada ,

cortada a una anchura de 30 cm y de un largo de 65 m. De estos rollos se cortó una hoja de 30 x 30 cm cada día y se pegó a un marco de hojalata cuyas dimensiones interiores son de 28 x 28 cm. Este marco se colocó sobre un soporte a 1 m de altura (Fig. 1). La superficie engomada que queda expuesta al aire libre es pues de 784 cm<sup>2</sup>.

La hoja se expone durante 24 o 48 horas, por lo general de 12 h a 12 h. Cada hoja lleva un número de orden compuesto de unas letras indicando la estación y de un número corrido. Para cada hoja se llena un machote indicando bajo el número de orden las fechas y horas en las que fué puesta y quitada la hoja, así como las condiciones atmosféricas. La actividad medida en la muestra obtenida de esta hoja se apunta en el machote.

Después de quitarse la hoja engomada, se pliega sobre si misma, para proteger los polvos recogidos, y se enrolla para pasar a la calcinación (véase sección III a). Cada hoja enrollada se marca con un número de orden a fin de evitar confusiones.

Con este sistema se establecieron en un principio dos estaciones; la primera estaba colocada en el techo de un edificio de 3.5 m de altura, en la Ciudad Universitaria, México, D. F., hasta el 10 de septiembre, y luego fué trasladada al techo de un edificio de 50 m de altura en la misma Ciudad Universitaria, en el cual ya se encontraba el dispositivo de recolección en agua, para facilitar la comparación entre estos dos métodos. La segunda estación se encuentra en el jardín del Observatorio Nacional Astronómico, en Tonantzintla, Puebla.

A fines del mes de agosto se establecieron tres estaciones más, una en Oaxaca, Oaxaca; una en Mérida, Yucatán; y una en Guadalajara, Jalisco. Los datos observados en estas tres estaciones se presentarán en un informe ulterior, cuando sean suficientes para permitir conclusiones. La ubicación geográfica de las estaciones se muestra en la Fig. 2.

#### *b) Agua*

Otro método de recolección es él de atrapar las partículas mediante una superficie libre de agua. A este fin se expusieron recipientes circulares de un diámetro de 27 cm sobre el techo de un edificio de 50 m de altura en la Ciudad Universitaria.

ria, México, D. F.

La superficie del agua estaba protegida contra los vientos por una barda de 1.2 m de altura. El agua empleada fué agua destilada comercial, y se mantuvo con una profundidad de 2 cm o más. Por lo general la evaporación es tan lenta que basta llenar los recipientes una vez al día. Se exponían simultáneamente varios recipientes, para tomar muestras diarias y al mismo tiempo muestras sobre un período mayor.

*c) Otros Métodos*

Otros métodos de medir la radioactividad contenida en el aire están actualmente en estudio, los cuales se basan en la recolección de la actividad contenida en un volumen conocido de aire, por filtración o precipitación.

### III. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS Y DETERMINACION DE SUS ACTIVIDADES

*a) Quemado, calcinación y sellado de las muestras de hoja engomada.*

Una vez enrollada como se describe arriba, la hoja engomada se coloca en un crisol de porcelana de 70 mm de altura, provisto de una tapadera. Con la tapadera puesta el crisol se calienta sobre un Bunsen ordinario, hasta carbonizar completamente el plástico. Durante este proceso se desprende una cantidad considerable de alquitranes los cuales son casi totalmente retenidos por la tapadera; solamente una pequeña parte de la actividad contenida en la muestra se puede escapar. La fracción que se condensa en la tapadera se pierde; pero unos ensayos han demostrado que la actividad contenida en esta fracción es despreciable. Durante el quemado se desprenden humos desagradables los cuales pueden causar molestias al operador; es recomendable, pues, hacer el quemado en una campana que tenga un buen tiro.

Después de carbonizar la muestra en su crisol, se coloca en un horno eléctrico de 1800 W. Una pequeña corriente de aire a través del horno ayuda a la oxidación, la cual se completa aproximadamente en 150 minutos.

Una vez calcinada, la muestra se sella entre hojas de polietileno de un espesor de  $3\text{mg}/\text{cm}^2$ . Se corta un cuadrado de unos 4 cm de lado de una hoja de polietile-

no y se coloca sobre una pieza cilíndrica de hierro de 3.4 cm de diámetro con un borde realzado de 2 mm. Las cenizas calcinadas de la muestra se vierten del crisol sobre el centro de la hoja de polietileno, la cual luego se cubre con otra hoja. Por encima se coloca otro cilindro de hierro de 3.4 cm de diámetro, el cual prensa ligeramente las hojas y evita que se escape parte de la muestra durante el sellado.

Se corta el borde de las hojas de polietileno a una distancia de 2 o 3 mm de los cilindros, y luego se pasa la flama de un cerillo cuyo calor funde parcialmente las dos hojas y efectúa así el sello. Para evitar las molestias de contaminación etc., debido a un sello defectuoso, el sello se prueba bajo un vacío parcial; la bolsita formada por las hojas de polietileno debe quedar inflada durante un tiempo mínimo de un minuto, sin que se note el escape del aire contenido entre las hojas.

Se describe este método de proceder, ya que parece el más sencillo para un número reducido de muestras y requiere solamente materiales de fácil acceso en cualquier parte del mundo. Para un número de muestras mayor de 10 por día, se recomienda la instalación de un sistema automático de sellado.

*b) Evaporación y sellado de las muestras de agua.*

El agua se transfiere a un vaso de precipitado de un litro, lavando el recipiente de exposición con cantidades repetidas de agua destilada para asegurarse que no se quede parte de los polvos recogidos. En el vaso de precipitado el agua se evapora lentamente hasta secarla, y luego el polvo se transfiere con pequeñas cantidades de agua destilada a una caja de Petri, en la cual se repite la evaporación. El polvo seco se transfiere a una hoja de polietileno y la muestra se sella como se indicó en *a)*, y finalmente se prueba la buena calidad del sello.

*c) Determinación de las actividades de las muestras.*

La actividad de las muestras se determinó con dos dispositivos:

(i) Para la mayor parte del trabajo se utilizó un contador Geiger-Müller marca "Nuclear Chicago" con una ventana de 1.4 mg/cm<sup>2</sup> de espesor, el cual se montó en un castillo de plomo de 2" de espesor en todas direcciones. Las muestras se fijaron sobre una placa de aluminio con un agujero central de 3.2 cm de diámetro, el cual disminuye la dispersión retrograda de partículas  $\beta$ . La placa de aluminio se coloca a una distancia de 3 mm de la ventana, teniéndose fija y reproducible la

geometría mediante una portamuestra de lucita fijado en el castillo de plomo.

Con este dispositivo se obtuvo un fondo de rayos cósmicos del orden de 12 cpm en la estación de México, D. F. (altura sobre el mar 2400 m). Las frecuencias de conteo por encima de este fondo son tales que permiten apreciar todavía la caída de una lluvia radioactiva que corresponde a  $0.4 \text{ g/m}^2/\text{día}$  de K (mezcla isotópica natural).

Se determinó la eficacia mediante una muestra de KBr y otra de RaD + RaE, obteniéndose 8.92 % en el primer caso y 50.8 % en el segundo. La diferencia se debe a la hoja de polietileno que cubre la muestra de KBr.

(ii) Un dispositivo de mayor eficacia y mejor geometría se utilizó para parte del trabajo. Consiste de dos contadores Geiger-Müller marca "Anton" en forma de reloj, colocados en un castillo de plomo de modo que la muestra esté entre ellos. La ventana de los contadores es de  $2.8 \text{ mg/cm}^2$  de espesor. Los pulsos de ambos contadores entran en el mismo canal de amplificación y conteo. Visto el mayor diámetro de estos contadores, la geometría es considerablemente mejor, y el dispositivo permite reducir el tiempo de conteo por un factor de 4, a pesar de las ventanas más gruesas de los contadores.

El fondo debido a rayos cósmicos asciende a 37 cpm con este dispositivo (estación de México, D. F.), y las frecuencias de conteo son tales que permiten apreciar todavía la caída de una lluvia radioactiva que corresponde a  $0.2 \text{ g/m}^2/\text{día}$  de K (mezcla isotópica natural).

Se determinó la eficacia del dispositivo mediante muestras de KBr, y se obtuvo 23 %; el factor de conversión del dispositivo (i) al dispositivo (ii) resulta ser pues de  $5.7 \pm 0.3$ .

Una mejora de este dispositivo se encuentra actualmente en la etapa de experimentos preliminares. Consiste en agregar un sistema de coincidencia o un analizador de alturas de pulsos que permiten eliminar todos los pulsos que ocurren simultáneamente en los dos contadores, dejando pasar al escalador solamente los pulsos dados por uno solo de los contadores. La eliminación de los pulsos "dobles" reduce el fondo en un 40 %, de modo que la relación conteo neto a conteo de fondo mejora en 23 %. (Una fracción de los pulsos que vienen de la muestra se elimina tam-

bién, cuando por dispersión retrógrada una parte de la energía penetra en el otro contador.) Un circuito de coincidencia muy sencillo se ha construido que permite eliminar estos pulsos "dobles" sin el empleo de un analizador de alturas de pulsos. Detalles se publicarán ulteriormente.

#### IV. RESULTADOS E INTERPRETACION.

##### *a) Los picos debidos a explosiones nucleares.*

En las figuras 3 a 5 se presentan los datos obtenidos para las dos estaciones de México y Tonantzintla utilizando hoja engomada, y para la estación de recolección en agua. (Cuando las muestras quedaron expuestas durante 48 horas, los resultados se indican con una raya punteada.) Se observa una serie de picos que ocurren de un modo más o menos paralelo en las tres estaciones, debidos a la caída de material radioactivo producido por explosiones nucleares. Se nota que los primeros picos, en mayo, junio y julio, producidos por las explosiones en Bikini y el mar Australiano, son relativamente angostos y bien marcados; por lo que hay que suponer que estas actividades llegaron a México por un camino más o menos directo, y que no ha habido una dispersión muy importante. En agosto ocurren picos más o menos superpuestos, cuyo máximo no se puede definir con precisión; estas actividades sufrieron una dispersión importante durante su transporte en la atmósfera.

Los picos ocurren aproximadamente en las mismas fechas en México y Tonantzintla; pero hay importantes diferencias en sus alturas respectivas, y el pico de mayo 13 se ve partido en tres para la estación de Tonantzintla. Es evidente que la diseminación de los polvos radioactivos de una explosión nuclear es lejos de ser uniforme.

##### *b) Correlación entre los métodos del agua y de la hoja engomada.*

Las Figs. 3 y 4 permiten una estimación de la eficacia relativa de los métodos del recipiente de agua y de la hoja engomada. Se puede deducir de estas curvas lo siguiente:

(i) Para los días de alta actividad (picos) la correlación es relativamente

buena; ambos métodos muestran picos notables en proporciones que se indican en la tabla siguiente:

TABLA 1

Áreas de algunos picos bien marcados, corregidas por el área relativa de los colectores.

Fecha	Hoja engomada	Agua	Relación
13. V	489	531	1.09
7.-8. VI	41	59	1.44
4.-5. VII	69	144	2.09
18.-19. VII	382	498	1.30
25.-26. VII	83	183	2.21
31. VII	171	249	1.46
3.-7. VIII	223	290	1.30
10.-21. VIII	485	694	1.43

Eisenbud et al. (1956) observan que el recipiente de agua registra unos 40% más que la hoja engomada. Esto se confirma excepto para el máximo del 13 de mayo, para el cual la técnica experimental puede haber sido defectuosa, ya que ocurrió entre las primeras observaciones. En dos de los picos la hoja perdió actividad debido a la lluvia.

(ii) Para los días de baja actividad, ninguna correlación es notable. Las diferencias se pueden, sin embargo, explicar parcialmente si se toma en consideración la precipitación atmosférica (véase el párrafo siguiente).

*c) Correlación con la precipitación atmosférica.*

En la Fig. 6 se ven los datos de lluvia atmosférica para los meses de junio, julio, agosto y septiembre. La inspección revela que no existe correlación, ni entre la lluvia y los resultados de las hojas engomadas, ni entre la lluvia y los resultados de recolección en agua; el cálculo confirma la ausencia de una notable correlación, ya que los coeficientes de correlación para todos los meses resultan pequeños y menores o del mismo orden de magnitud que sus desviaciones normales.

Sin embargo, se obtiene una correlación interesante entre la lluvia y la diferencia entre los dos métodos, como se evidencia para el mes de julio en la tabla 2.

El coeficiente de correlación para este mes resulta igual a  $-0.0008 \pm 0.18$ ; pero hay una diferencia notable entre los días sin lluvia (12 durante el mes) y los días de lluvia (19): las diferencias entre los dos métodos tienden a ser pequeñas y positivas los días secos, y grandes de ambos signos los días de lluvia, aunque predominan las diferencias negativas. (Una diferencia positiva corresponde a una actividad más grande registrada en la hoja engomada que mediante el agua).

TABLA 2

Día (julio)	Hoja engomada (cpm)	Agua (cpm)	Diferencia		Lluvia (mm)
			Días secos	Días de lluvia	
1	6	1	+5		0
2	2	2	0		0
3	0	11	-11		0
4	48	60	-12		0
5	21	83		-62	1.0
6	4	4	0		0
7	6	5	+1		0
8	1	3		-2	4.8
9	6	21		-15	14.3
10	0	11		-11	11.3
11	7	8		-1	1.5
12	5	1	+4		0
13	0	3		-3	0.6
14	1	1		0	1.2
15	2	12	-10		0
16	47	8	+39		0
17	5	42		-37	0.3
18	185	218		-33	20.3
19	198	238		-40	12.7
20	19	3		+16	1.4
21	9	0		+9	16.8
22	12	1	+11		0
23	18	5	+13		0
24	15	11	+4		0
25	57	133		-76	3.7
26	26	51		-25	11.2
27	18	47		-29	6.3
28	29	4		+25	0.4
29	25	8		+17	11.5
30	29	138		-109	0.5
31	112	42		+70	7.2
<i>Promedio por día</i>			+ 3.67	- 16.11	

Se puede deducir que el método de la hoja engomada tiene la misma eficacia para la recolección de lluvia radioactiva que el método del agua en tiempo seco. En tiempo lluvioso, sin embargo, los dos métodos no son equivalentes. La lluvia probablemente actúa de dos maneras: barre la columna de aire por encima del colector y trae consigo el polvo radioactivo contenido en ella; y lava por lo menos una parte de la actividad ya adherida a la hoja engomada, posiblemente por disolución de las sales solubles en agua. Esto explicaría la ocurrencia de diferencias negativas; las diferencias positivas se podrían explicar posiblemente por la diferente colocación de los colectores antes de septiembre 10 (véase sección II).

*d) Variación en la composición isotópica de las muestras.*

Como se indicó en la sección II c, los dos contadores utilizados tienen ventanas de diferentes espesores. Un cierto número de muestras de alta actividad fue contado en ambos dispositivos, a fin de verificar la calibración relativa hecha con muestras de KBr, y se observó que algunas de estas muestras daban una relación muy inferior al promedio de las demás. Todavía no se dispone de datos suficientes para justificar su presentación, pero se pueden obtener dos conclusiones tentativas:

(i) La relación de los conteos en los dos dispositivos es de  $5.55 \pm 0.45$  para 17 de las muestras estudiadas, muy cerca al valor ( $5.7 \pm 0.3$ ) obtenido para las muestras patrón de KBr; la radiación tiene pues aproximadamente la misma penetración que la del  $^{40}\text{K}$ .

(ii) Para tres muestras se observaron relaciones muy inferiores, entre 2 y 3, indicando que su radiación es particularmente blanda. Estas tres muestras se obtuvieron de picos diferentes, y otras muestras de los mismos picos no mostraron relaciones tan bajas. Hasta tener datos más amplios no se puede dar una interpretación de estas observaciones. Parece probable, sin embargo, que medidas de absorción de las radiaciones emitidas por las muestras puedan dar indicaciones burdas de la composición isotópica de la lluvia radioactiva, sin la necesidad de la separación radioquímica, la cual requiere mucho tiempo.

*e) Fondo.*

En la Fig. 7, se ven las variaciones del fondo registradas cada día. Por lo general, estas variaciones, debidas a las fluctuaciones de la intensidad de rayos

cosmicos, son pequeñas; se notan sin embargo algunos períodos de fondo alto o bajo los cuales no corresponden a los períodos de altas actividades debidas a la lluvia radioactiva. Las variaciones observadas son muchísimo menores que las variaciones en la lluvia radioactiva.

## V. AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer el apoyo y la ayuda de las Autoridades Universitarias y en particular del Rector, el Dr. Nabor Carrillo Flores; así como de la Comisión Nacional de la Energía Nuclear, encabezada por el Lic. José Ma. Ortiz Tirado; hemos podido contar con la constante ayuda del Observatorio Astrofísico Nacional de Tonantzintla, Pue., y de su Director, el Dr. Guillermo Haro; el Instituto de Geofísica, a través de su Director, el Ing. R. Monges López, nos ha prestado su valiosa cooperación en el establecimiento de nuevas estaciones. Nuestro agradecimiento va también al Instituto de Ciencias Aplicadas y en particular a su Director, el Dr. E. M. Fournier d'Albe, a cuya amabilidad debemos la obtención de los datos de precipitación atmosférica.

Nos es grato reconocer la valiosa contribución hecha por la Sra. Carmen Gómez de Ortega, y los Sres. J. Rubén del Río, Rafael Acosta Ocampo, Braulio Iriarte y Enrique Chavira, quienes se encargaron de las estaciones fuera de la Ciudad de México.

## REFERENCIA

M. Eisenbud et al. (1956), Proposed Uniform Procedures for Collection of Fallout Samples. Submitted to the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, March 1956.

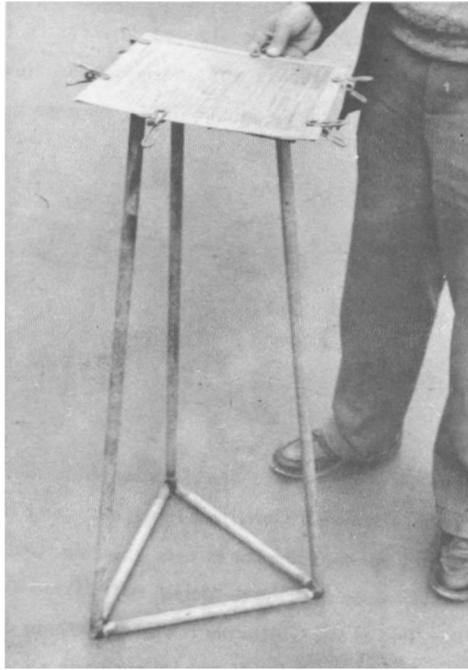


Fig. 1

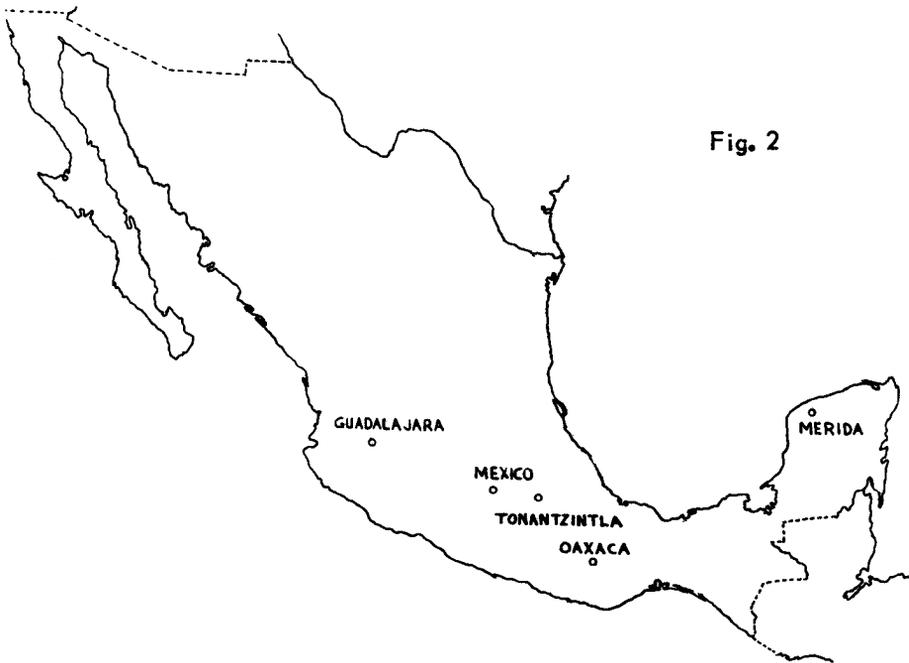
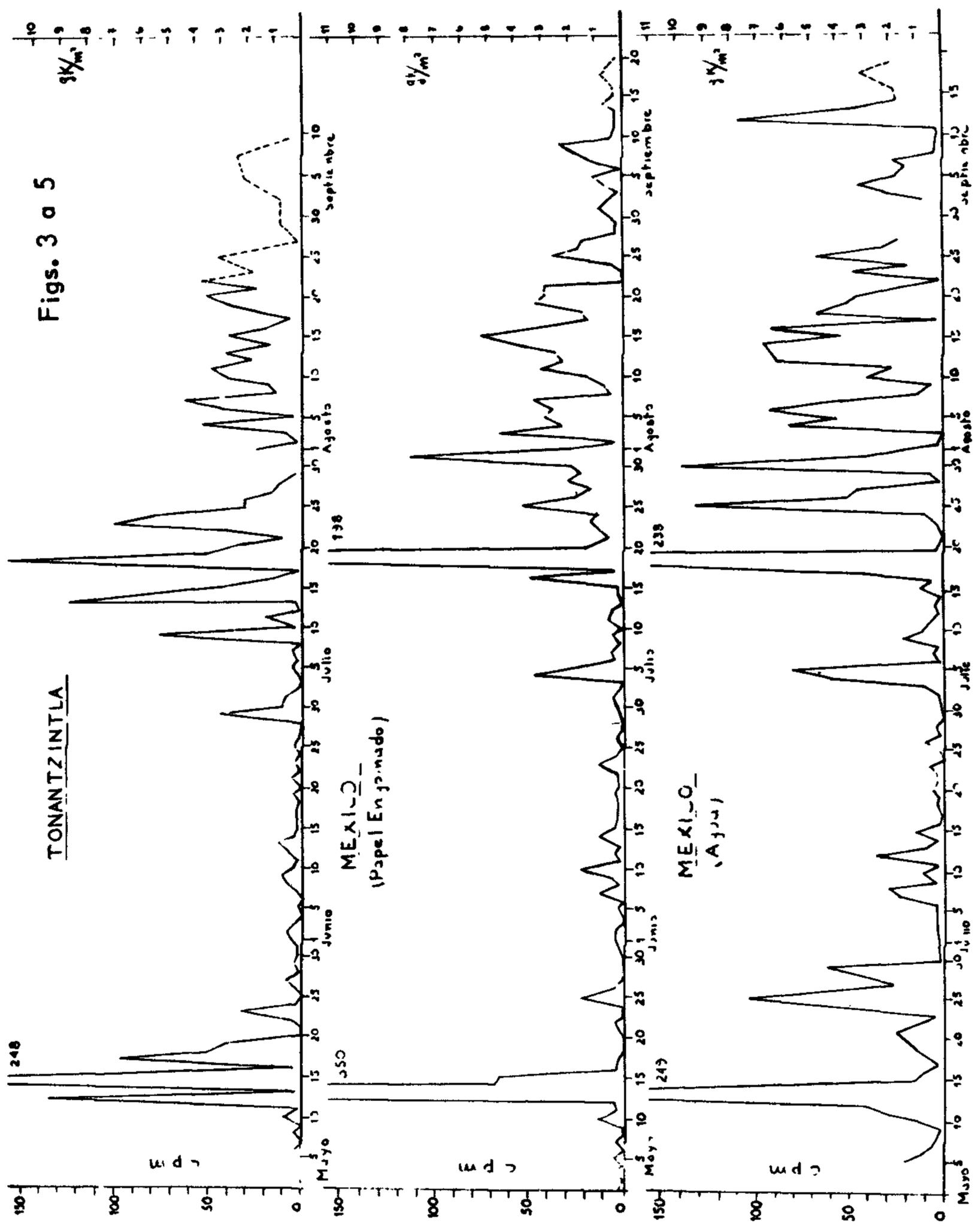


Fig. 2



Figs. 3 a 5

