

TERCER INFORME SOBRE LOS ESTUDIOS DE LA
PRECIPITACION RADIOACTIVA *

T.A. Brody, Fernando Alba A., Ricardo Camaras, Adelaida Palacios,
George Rickards C., Ariel Tejera R., Enriqueta G.B. de Velarde

Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

Fall-out data covering the period March to October 1957 for thirteen stations in the Mexican Republic are presented. Approximate figures for infinite γ doses and strontium 90 precipitation are deduced. Methods and preliminary results of strontium 90 and cesium 137 determinations in milk are described.

I. INTRODUCCION

Se continuaron y extendieron los estudios de la precipitación radioactiva que se iniciaron en 1956 (Alba et.al., 1956 a, 1956 b) según la resolución del Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, ads-

* Este trabajo ha sido realizado por contrato entre la Comisión Nacional de Energía Nuclear y el Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

crito a la Asamblea General de las Naciones Unidas. Los datos que se presentan aquí cubren el período de Marzo a Octubre de 1957.

El método de la hoja engomada, descrito en el Primer Informe (Alba et al., 1956 a), se presta para ser usado en estaciones aisladas y fue por lo tanto empleado sin modificación en todas las estaciones cuyos resultados se presentan aquí.

Las estaciones de las cuales se obtuvieron datos y los símbolos usados para representarlas son los siguientes:

M : México, D.F.
T : Tonantzintla, Pue.
G : Guadalajara, Jal.
Y : Mérida, Yuc.
Ox: Oaxaca, Oax.
Ch: Chihuahua, Chih. (desde Junio)
NL: Monterrey, N.L. (" Septiembre)
H : Hermosillo, Son. (" ")
V : Veracruz, Ver. (" ")
E : Ensenada, B.C. (" ")
S : Comitán, Chis. (" Octubre)
P : Tampico, Tamps. (" ")

La descripción geográfica de las estaciones se da en la tabla 1 (al final de la sección II); véase también el mapa de la figura 1.

Además de las muestras de hojas engomadas obtenidas en estas estaciones se empleó el método de la superficie libre de agua en la estación de México, para poder comprobar la eficiencia de la hoja engomada.

En la estación de México la hoja engomada fué cambiada diariamente; en las otras estaciones fué cambiada tres veces por semana. Las muestras foráneas se enviaron a México por correo aéreo, se calcinaron y se contaron en los laboratorios del Instituto de Física de la Universidad.

Los métodos empleados para la calcinación y el conteo de las muestras ya se describieron en el Primer Informe (Alba et al., 1956 a).

La resolución de Marzo de 1956 del Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas pidió que se determinaran además las concentraciones de los núclidos radioactivos más importantes en la precipitación, en los alimentos y otras sustancias de importancia. Con este fin se iniciaron estudios de la concentración de ^{90}Sr y ^{137}Cs . Se describen los métodos usados y los primeros resultados obtenidos en las secciones V, VI y VII.

II. ACTIVIDADES DE LA PRECIPITACION RADIOACTIVA

Las muestras de hoja engomada, después de ser calcinadas y selladas en bolsitas de polietileno, se sometieron a conteo con contadores Geiger-Müller de ventana delgada (1.4 mg/cm^2). Para la calibración de estos contadores se usaron muestras de KBr y de K_2CO_3 , también selladas entre hojas de polietileno.

Después de corregirse por el fondo y el efecto del tiempo muerto de los contadores, los conteos se convirtieron en actividades caídas por kilómetro cuadrado en las estaciones donde se habían tomado las muestras. El tamaño de la superficie expuesta fue de $28 \times 28 \text{ cm}$ en todos los casos.

Las actividades así obtenidas se multiplicaron por un factor de corrección de 1.4, a fin de tomar en cuenta la ineficiencia de colección de los polvos radioactivos en la hoja engomada. Este factor fué obtenido ya por Eisenbud et al., (1956) y confirmado por los presentes autores (Alba et al., 1956 a, 1956 b) mediante la comparación con el método de la superficie libre de agua.

Los totales mensuales de las actividades así obtenidas se dan en la tabla 2 y se muestran en forma de gráfica en las figuras 2 a 14.

La correlación entre los resultados de México (hoja engomada) y de la superficie libre de agua es mejor de lo que aparece a primera vista. El mes de mayo arrojó un total bajo para la superficie de agua debido a la pérdida accidental de

una muestra la cual representaba la mayor parte de la actividad registrada en ese mes. La diferencia en el mes de Agosto no se explica. El coeficiente de correlación entre los datos de la superficie libre de agua y la hoja engomada resulta ser de $0.823^{+0.091}_{-0.245}$ (excluyendo Mayo).

Comparando la estación de México con las demás, se observan importantes diferencias regionales cuyo estudio puede arrojar luz sobre las condiciones meteorológicas que determinan la distribución de las cenizas radioactivas a través de la atmósfera.

Se verá en particular que las actividades más intensas se observaron durante el mes de Julio aunque el número de explosiones nucleares que ocurrieron fué mayor en septiembre. Este efecto ha de deberse al hecho de que no todas las explosiones producen picos observables en las actividades, mientras que algunas explosiones producen picos notablemente mayores que lo general. En particular el pico más alto observado, el día 27 de Junio en la estación de Chihuahua, fué causado por la explosión de una sola bomba. Por otra parte la explosión sucesiva de varias bombas durante el mes de Septiembre produjo picos relativamente pequeños.

Se puede notar además que el promedio de las actividades observadas es pequeño cerca de la costa y tiende a subir a medida que aumenta la altura de la estación. Para fines de comparación se dan las alturas y otros datos geográficos de todas las estaciones:

Tabla 1

México, D.F.	19° 20' N	99° 11' W	2350 m sobre el nivel del mar
Tonantzintla, Pue.	19° 2'	98° 18'	2150
Guadalajara, Jal.	20° 39'	103° 23'	1567
Mérida, Yuc.	20° 59'	89° 37'	9
Oaxaca, Oax.	17° 4'	96° 44'	1550
Chihuahua, Chih.	28° 38'	106° 5'	1430

Ensenada, B.C.	31° 51' N	116° 38' W	2 m sobre el nivel del mar
Hermosillo, Son.	29° 4'	110° 58'	237
Monterrey, N.L.	25° 40'	100° 18'	538
Veracruz, Ver.	19° 12'	96° 8'	14
Comitán, Chis.	16° 15'	92° 8'	1530
Tampico, Tamps.	22° 13'	97° 51'	12

III. DECAIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES

Un cierto número de las muestras más activas ha sido sometido a un estudio del decaimiento global de su actividad. Se ha seguido el decaimiento en la mayoría de muestras durante un lapso de 30 días o hasta que la actividad ha disminuido a la cuarta parte de la original.

Las curvas obtenidas no corresponden a una ley exponencial, como era de esperarse debido a la presencia de muchas actividades de vida diferente. Los datos experimentales se adaptan dentro de los límites de error a la ley propuesta por Eisenbud y Harley (1956):

$$a(t) = a_0 t^{-1.2} \quad (1)$$

Las gráficas de $[a(t)]^{-\frac{1}{1.2}}$ en función de t resultan ser sensiblemente lineales, como lo muestra la figura 15.

Estas gráficas sirvieron para deducir una fecha de explosión representativa para cada una de las muestras cuyo decaimiento se estudió. A los puntos experimentales se adaptó una recta. El punto de intersección de esta recta con el eje de los tiempos corresponde a una actividad infinita de la muestra y por lo tanto al instante de explosión.

Las fechas de explosión obtenidas de esta manera corresponden en general bastante bien con las fechas de las explosiones señaladas en la prensa. Como es

evidente de la figura 16, la desviación tiende hacia fechas anteriores. Esto se explica por el hecho de que las fechas experimentalmente obtenidas son fechas representativas e incluyen el efecto de todas las explosiones anteriores. Los datos no tienen suficiente precisión para poder ver si este adelanto varía en el período bajo consideración.

Las edades de las muestras activas, determinadas de esta manera, sirven para confirmar el método de cálculo empleado para la dosis γ infinita.

La figura 15 nos muestra que los datos del decaimiento se adaptan bastante bien a una recta, pero que hay sin embargo cierta desviación. Al principio los puntos caen sobre la recta, luego durante algún tiempo las actividades son algo mayores que las dadas por la ley $t^{-1.2}$ (en la gráfica los puntos caen por debajo de la recta) y finalmente las actividades caen un poco más rápidamente que $t^{-1.2}$ (los puntos están por encima de la recta).

Este efecto se pudo observar en varias de las gráficas ocurriendo siempre de la misma manera. Es poco probable por lo tanto que se trate ahí de efectos estadísticos o de errores experimentales. La explicación parece ser que las actividades se determinaron con contadores Geiger-Muller que son sensibles esencialmente a los rayos β . La relación de la actividad β a la actividad total no es constante durante el decaimiento como se puede ver de las gráficas de Björnerstedt, Löw y Ulvönäs (1956) o de la tabla de Eisenbud y Harley (1956).

Al multiplicar las actividades por el coeficiente

$$\frac{\text{Actividad total}}{\text{Actividad } \beta}$$

que corresponde a la edad de la muestra, resultan gráficas que ya no muestran desviaciones regulares de la ley $t^{-1.2}$.

IV. DOSIS γ INFINITA

Una parte importante de los efectos de las cenizas radioactivas sobre el

hombre se debe a la irradiación recibida de las actividades esparcidas en el suelo. Para tener una estimación del orden de magnitud de este efecto se calculó la dosis γ infinita, siguiendo esencialmente el método indicado por Eisenbud y Harley (1956). En vista de la naturaleza aproximada de los resultados no se hizo el cálculo para cada muestra sino solamente para los totales mensuales.

Un factor muy importante en el cálculo es la edad de la muestra. Es necesario por lo tanto estimar una edad promedio para todo el mes. Sea a_{ij} la contribución de la explosión i a la actividad de la muestra del día j , y t_{ij} el tiempo entre la explosión i y la exposición de la muestra j ; entonces

$$a_{ij} = g_i t_{ij}^{-1.2} \quad (2)$$

en donde g_i es un factor que expresa la fracción que se observa en la estación considerada de la intensidad de la explosión i . Sumando sobre i y j se obtiene la actividad total del mes, a , en la forma siguiente:

$$a = \sum_i \sum_j g_i t_{ij}^{-1.2}$$

La suma sobre j puede substituirse por una integración:

$$a = \frac{1}{t_m} \sum_i \int_0^{t_m} g_i t_i^{-1.2} dt$$

El límite inferior de la integral es 0 para las explosiones ocurridas en meses anteriores. Para las explosiones ocurridas durante el mes se ha tomado convencionalmente el día que sigue a la explosión como límite inferior, para que no diverja la integral. Integrando se obtiene

$$a = \frac{1}{t_m} \sum_i \frac{g_i}{0.2} \left\{ (t_0 - d_i)^{-0.2} - (t_m - d_i)^{-0.2} \right\} \quad (3)$$

en donde t_0 es el límite inferior de integración definido arriba, d_i es el número de días entre la explosión i y el primero del mes, y t_m es el número

de días en el mes. En función de la edad promedio de las muestras, T , la actividad total mensual es

$$a = T^{-1.2} \sum_i g_i \quad (4)$$

Comparando las ecuaciones (3) y (4) se obtiene la edad promedio es

$$T = \left[\frac{5 \sum_i g_i \left((t_o - d_i)^{-0.2} - (t_m - d_i)^{-0.2} \right)}{t_m \sum_i g_i} \right]^{-\frac{1}{1.2}}$$

Ya que no hay datos sobre los valores que se deben atribuir a los coeficientes g_i se empleó

$$g_i = 1 \text{ para toda } i, \quad \sum_i g_i = n, \quad (6)$$

en donde n es el número de las explosiones que se toman en cuenta.

El error introducido por esta suposición es menor mientras mayor el número de explosiones que se toman en cuenta. Para 2 explosiones resulta una incertidumbre por un factor de 2 a 3 en el valor de la dosis γ infinita para cada diferencia de un orden de magnitud en la relación de las g_i ; para diez explosiones la incertidumbre es de un 40 % si cinco de las explosiones tienen $g_i = 10$ y las otras cinco $g_i = 1$. Comparado con la incertidumbre en los demás factores que entran en el cálculo de la dosis γ infinita estos errores no son muy significativos.

Con la suposición (6) la edad promedio de las muestras resulta ser

$$T = \left[\frac{5 \sum_i \left((t_o - d_i)^{-0.2} - (t_m - d_i)^{-0.2} \right)}{n t_m} \right]^{-\frac{1}{1.2}} \quad (7)$$

El principal inconveniente en el empleo de esta fórmula es que converge lentamente, de modo que hay que tomar en cuenta la explosiones ocurridas durante un

mínimo de cuatro meses, anteriores al mes bajo consideración.

Para confirmar los resultados obtenidos se calcularon las dosis γ infinitas a partir de las fechas obtenidas del decaimiento de las actividades como viene descrito en la sección III. Las muestras de baja actividad que seguían a una de alta se consideraron como originadas en la misma fecha; solo al llegar otra muestra de alta actividad se cambió la fecha de explosión a la correspondiente de la nueva muestra. De este modo se obtuvieron datos de la dosis γ infinita que en ningún caso diferían en más de 100% de las calculadas por el método arriba indicado.

Las dosis γ infinitas obtenidas de esta manera corresponden a la irradiación recibida a una altura de un metro por un hombre continuamente expuesto a la actividad acumulada en un plano horizontal perfecto e infinito. En la realidad la irradiación recibida es menor debido a tres causas: En primer lugar la exposición no es continua, ya que un hombre pasa gran parte del día protegido por las paredes de los edificios. En segundo lugar el plano que recibe la actividad no es ni perfecto ni infinito. En tercer lugar las lluvias eliminan una parte importante de las actividades acumuladas. Para tomar en cuenta estos efectos diferentes autores han empleado factores de reducción variando de 3 (Japón) a 21 (Gran Bretaña). Para el caso de México se estima que un factor de 7 es adecuado. Se prefiere usar un factor más bien pequeño, ya que durante parte del año no llueve y la población pasa una fracción mayor del día fuera de la casa que en otros países.

Las dosis γ infinitas calculadas de esta manera y divididas entre este factor 7 vienen tabuladas en la tabla 3 y se muestran en forma gráfica en las figuras 17 - 29.

V. PRECIPITACION DE ESTRONCIO 90

Otro efecto nocivo de las cenizas radioactivas se debe a la ingestión de estroncio 90 a través de los alimentos, en particular la leche. Es importante tener una estimación aproximada de las cantidades ^{90}Sr recibidas en el suelo, aunque el meca-

nismo bioquímico que interviene es complicado y poco conocido, de modo que es difícil estimar las probables concentraciones de ^{90}Sr en los alimentos y en los huesos humanos a partir de las cantidades precipitadas.

Las actividades β totales determinadas en las muestras incluyen la actividad del ^{90}Sr . La proporción que forma el estroncio se puede estimar mediante dos suposiciones:

a) El ^{90}Sr que proviene de la fisión de uranio o de plutonio es acarreado en la atmósfera por los mismos mecanismos y por lo tanto en la misma proporción que las otras actividades.

b) La edad promedio de las muestras, calculada como se describió en la sección IV, es una indicación adecuada para deducir la proporción de ^{90}Sr en la actividad de la muestra.

Sobre la base de estas dos suposiciones se obtuvieron las cantidades de estroncio que corresponden a los totales mensuales. La edad promedio del mes que se utilizó era en todos los casos la misma que la empleada para el cálculo de la dosis γ infinita. La actividad del mes fué convertida en actividad total usando la relación actividad β /actividad γ que corresponde a la edad promedio. La proporción del estroncio en esta actividad total se encontró mediante las gráficas de Bjornerstedt, Löw y Ulvönäs (1956).

Se empleó la gráfica de la fisión del ^{235}U , aunque sin duda algunas de las explosiones eran de plutonio. El empleo de la gráfica de la fisión del ^{239}Pu hubiera dado un resultado casi idéntico.

Los resultados de este cálculo se encuentran en la tabla 4 y en forma gráfica en las figuras 30 a 42.

VI. ESTRONCIO 90 EN LA LECHE

Como primer producto alimenticio se empezó a estudiar la leche, en vista de su importancia para la alimentación infantil. Después de una serie de en-

sayos preliminares se decidió usar un método analítico para la separación del estroncio, basado esencialmente en el método de Eisenbud y Harley (1956).

En este método se cuenta únicamente la actividad del itrio 90 que se ha acumulado durante un tiempo conocido. De este modo no se incluye la actividad del ^{89}Sr en la actividad contada. Si se quiere determinar el ^{89}Sr se puede medir la actividad total del estroncio y luego la actividad del ^{90}Y ; la actividad del ^{89}Sr resulta por diferencia.

Los pasos del método químico son los siguientes:

1. Se evaporó a sequedad una muestra de unos 10 litros de leche. El método empleado consistió en dejarla gotear sobre una charola inclinada ligeramente y mantenida a unos 200°C . Los sólidos parcialmente carbonizados se calcinaron a 800°C hasta eliminar completamente las sustancias orgánicas.

2. Las cenizas se convirtieron en nitratos disolviéndolas en ácido nítrico diluido y agregándoles Sr^{++} como portador. Los nitratos fueron secados con gran cuidado para evitar su descomposición y se trataron con ácido nítrico al 75%, en el cual son solubles los cationes alcalinos y alcalinotérreos excepto el Sr, Ba y Ra.

3. El precipitado separado se disolvió en ácido nítrico diluido, se le agregó Y^{+++} como portador, y se precipitó todo el itrio como hidróxido. Estos hidróxidos se desecharon. Después de eliminar el bario y radio en forma de cromatos, se volvió a agregar Y^{+++} y se precipitó el hidróxido de itrio. El tiempo entre las dos precipitaciones es el tiempo durante el cual el ^{90}Y ha podido acumularse; ya que la vida media es de 12 días, conviene que el lapso de tiempo entre las dos separaciones de itrio sea de este orden.

4. El hidróxido de itrio que fué separado la segunda vez se convirtió en oxalato y se filtró en un embudo Hirsch pequeño. El papel filtro con su precipitado se selló entre hojas de polietileno exactamente como viene descrito en la sección II y luego se sometió a conteo.

La calibración de los contadores Geiger-Müller de ventana delgada que se emplearon se efectuó de dos modos: Una calibración burda se obtuvo por comparación con la actividad del ^{40}K en carbonato de potasio natural. Esta calibración

no puede ser buena ya que los rayos β de los dos radioisótopos tienen energías muy diferentes. Una calibración más exacta se obtuvo trabajando dos mitades de una misma muestra independientemente después de haber agregado una cantidad conocida de $^{90}\text{Sr}^{++}$ a una de ellas.

Los resultados obtenidos por este método todavía no son suficientes ni suficientemente exactos para dar una imagen clara y por lo tanto no se citan datos numéricos. Se puede decir sin embargo que las concentraciones de estroncio 90 en las leches estudiadas fueron del orden de 1 a 2 unidades estroncio (1 unidad estroncio = $1 \mu\mu\text{C}$ de ^{90}Sr / g de Ca en la leche).

VII. CESIO 137 EN LA LECHE

Se ha iniciado un estudio de la concentración de cesio 137 en la leche, ya que este isótopo que es de larga vida tiene suma importancia debido a sus efectos biológicos.

El ^{137}Cs emite rayos γ de 0.66 MeV y por lo tanto se puede detectar en un contador de centelleo. El equipo empleado consistió en un cristal de $1'' \times 1 \frac{1}{2}''$ de NaI (TI) seguido de un fotomultiplicador, amplificador lineal, analizador de alturas de pulsos y contador.

En vista de la sensibilidad de nuestro equipo no se efectuó ninguna separación química del cesio. Se contaron muestras de cenizas derivadas de 50 litros de leche, obteniéndose conteos adecuados a pesar de una geometría relativamente mala.

El γ emitido por el ^{137}Cs produce un solo pico en su espectro. La posición de este pico se determinó con una muestra de unos $10 \mu\text{C}$, y la muestra de leche se contó en tres intervalos de su espectro que corresponden a energías de 0.55, 0.66 y 0.77 MeV.

Para la calibración se empleó una solución de $1 \mu\text{C}$ de $^{137}\text{Cs}^+$. Una calibración burda se obtiene colocando esta solución en un fantasma simulando la absorción de la muestra. Una calibración mejor se tiene agregando una frac-

ción conocida a la mitad de una muestra, y contando independientemente ambas mitades.

Todavía no se han obtenido datos suficientes para poder llegar a conclusiones definitivas y por lo tanto no se dan resultados numéricos. Sin embargo se puede decir que la concentración para las leches estudiadas en 1957 fué del orden de 20 unidades cesio (1 unidad cesio = $1 \mu\mu\text{C}$ de $^{137}\text{Cs/g}$ de K en la leche).

VIII. 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 Energía Nuclear, y muy especialmente de su Presidente Lic José María Ortiz Tirado; el Instituto de Geofísica de la Universidad, a través de su director, el Ing. R. Monges López, nos ha prestado su valiosa cooperación en el establecimiento de nuevas estaciones.

Nos es grato reconocer la valiosa contribución hecha por la Sra. Carmen Gómez de Ortega, las Sritas Ruth Concha Martínez y Aurora Gutiérrez y los Sres. J. Rubén del Río, Rafael Acosta Ocampo, Juan Presno Perez, Dr. J. N. Stern, Ing. Juan F Valera, Ing. Alejandro Dueñas, Ing. Othón Dominguez Quiroga y Cap. Jorge Zorrilla Cobo, quienes se encargaron de las estaciones fuera de la ciudad de México.

Nuestro agradecimiento va también a las Universidades e Institutos de Enseñanza Superior que han colaborado con nosotros.

IX. REFERENCIAS

- | | | |
|------------------|--------|--|
| Alba, F., et al. | 1956 a | Primer Informe sobre Estudios de la Lluvia Radioactiva, Rev.Mex.Fis., 5, 153 |
|------------------|--------|--|

- | | | |
|---|--------|--|
| Alba, F. et al. | 1956 b | Segundo Informe sobre Estudios de la Precipitación Radioactiva, Rev.Mex.Fis., 6, 97. |
| Björnerstedt, R.
K. Löw y S. Ulvönäs | 1956 | Products of Simultaneous Fission, Forsva - rets Forskningsanstalt, Avdelning 2, Intern. Rapport B 150 F. |
| Eisenbud, M.
J. H. Harley et al. | 1956 | Proposed Uniform Procedures for Collection of Fallout Samples. Submitted to the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, March 1956. |

Tabla 2

Actividades β : Totales mensuales mC/km²

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
A	1.95	10.37	* 27.04	216.62	587.00	298.78	143.80	102.45
M	5.22	12.14	280.53	111.05	591.42	175.71	408.23	106.29
G	1.78	1.81	5.01	237.15	649.70	131.70	168.17	106.29
Ox	2.92	5.99	38.28	115.61	224.23	109.13	58.18	56.06
Y	2.55	9.36	11.88	104.04	* 41.89	157.14	37.50	92.37
T	2.31	13.06	77.46	133.94	555.03	289.11	229.82	366.66
Ch				912.69	328.51	* 5.57	374.16	157.22
E							*189.29	26.06
H							* 262.26	421.49
NL							162.01	604.79
V							* 84.30	292.14
S								* 0.88
P								* 8.15

* Los datos marcados con asterisco son bajos por falta de un cierto número de muestras en el mes correspondiente

Tabla 3

Dosis γ infinita mrad

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
A	.0116	.0510	*.0270	1.366	4.976	2.949	1.090	.777
M	.0311	.0597	.2805	.700	5.014	1.734	3.019	.806
G	.0106	.0089	.0501	1.495	.650	1.300	1.275	.806
Ox	.0174	.0294	.0383	.116	1.901	1.077	.441	.425
Y	.0152	.0460	.0119	.656	*.355	1.551	.284	.700
T	.0138	.0642	.0774	.845	4.705	2.853	1.743	2.780
Ch				5.755	2.785	*.055	2.837	1.192
E							*0.143	.198
H							*1.989	3.196
NL							1.228	4.586
V							*.639	2.215
S								*.007
P								*.062

* Los datos marcados con asterisco son bajos por falta de un cierto número de muestras en el mes correspondiente.

Tabla 4
Precipitación mensual de ⁹⁰Sr
 $\mu\text{C}/\text{km}^2$

	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
A	0.62	2.90	*16.22	77.98	281.76	173.29	60.40	45.08
M	1.67	3.64	168.32	37.76	283.88	105.43	179.62	44.64
G	0.71	0.76	3.71	109.09	363.83	86.92	94.18	55.27
Ox	1.23	2.52	27.56	53.18	134.54	76.39	32.58	30.27
Y	1.02	4.12	8.55	45.78	*22.62	103.71	19.50	46.19
T	0.92	5.49	55.77	58.93	310.82	190.81	124.10	190.66
Ch				383.33	183.97	*3.79	194.56	78.61
E							* 10.60	14.59
H							*141.62	236.03
NL							77.76	302.40
V							*43.84	146.07
S								*0.46
P								*4.08

* Los datos marcados con asterisco son bajos por falta de un cierto número de muestras en el mes correspondiente.

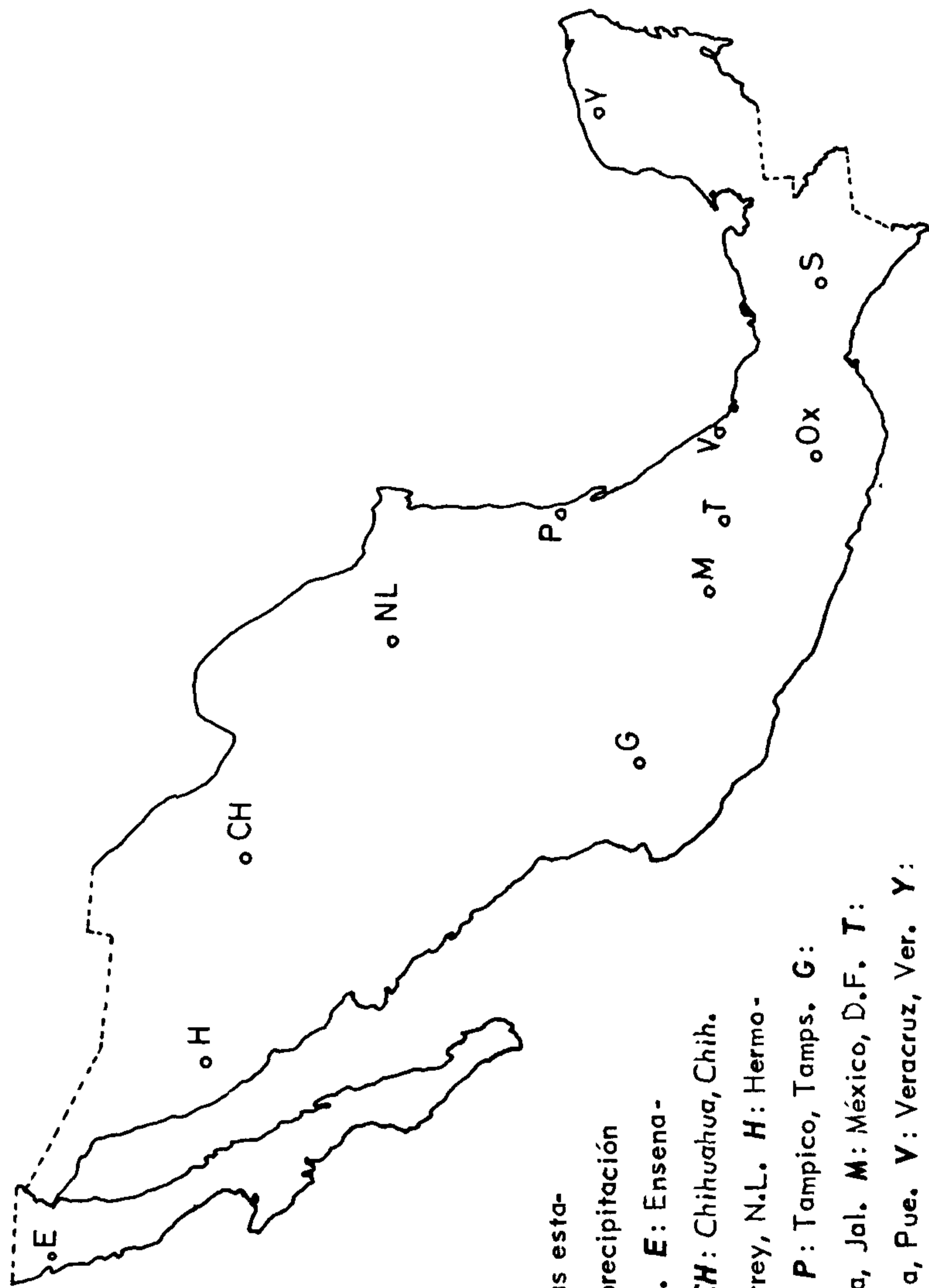
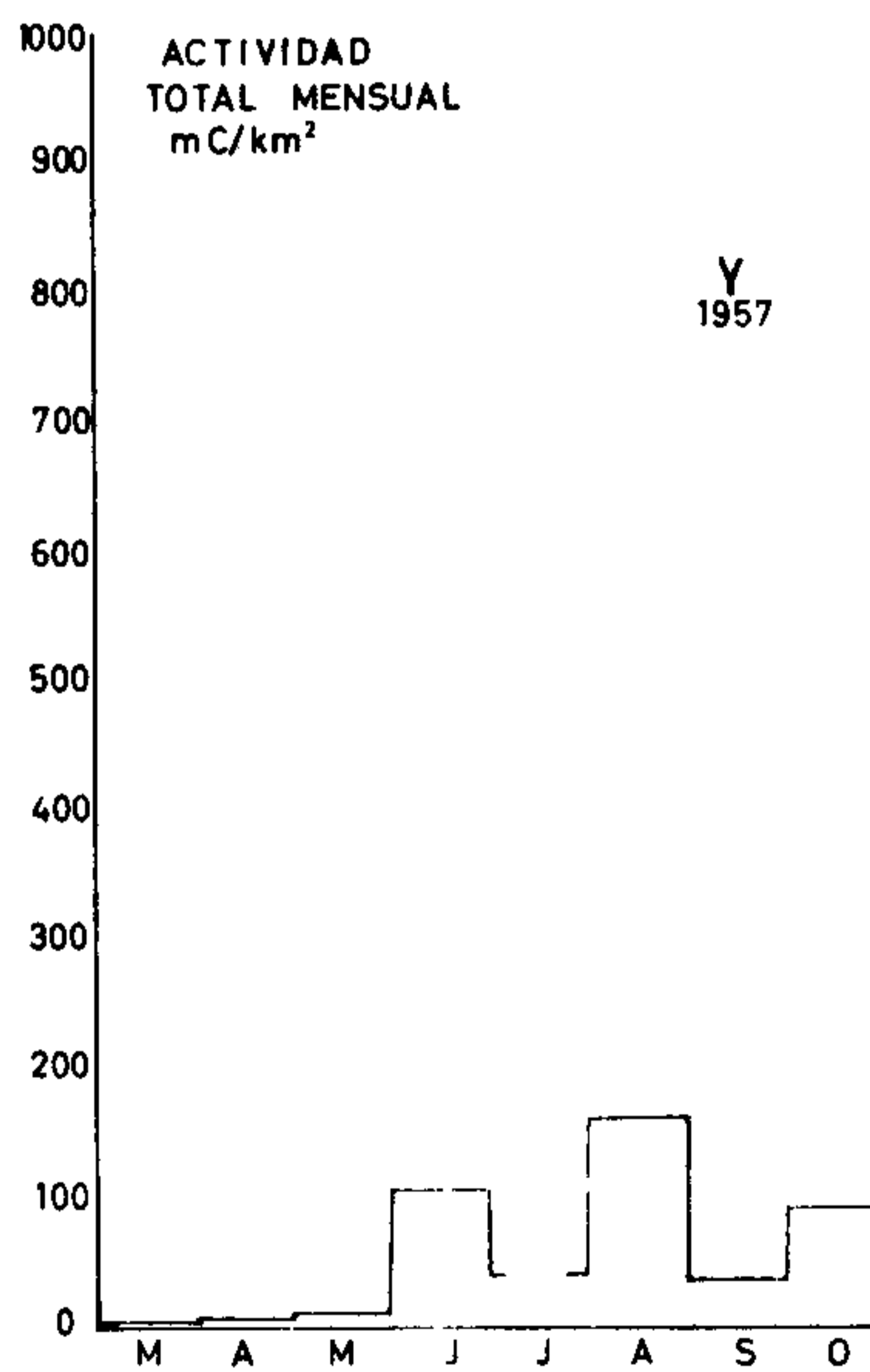
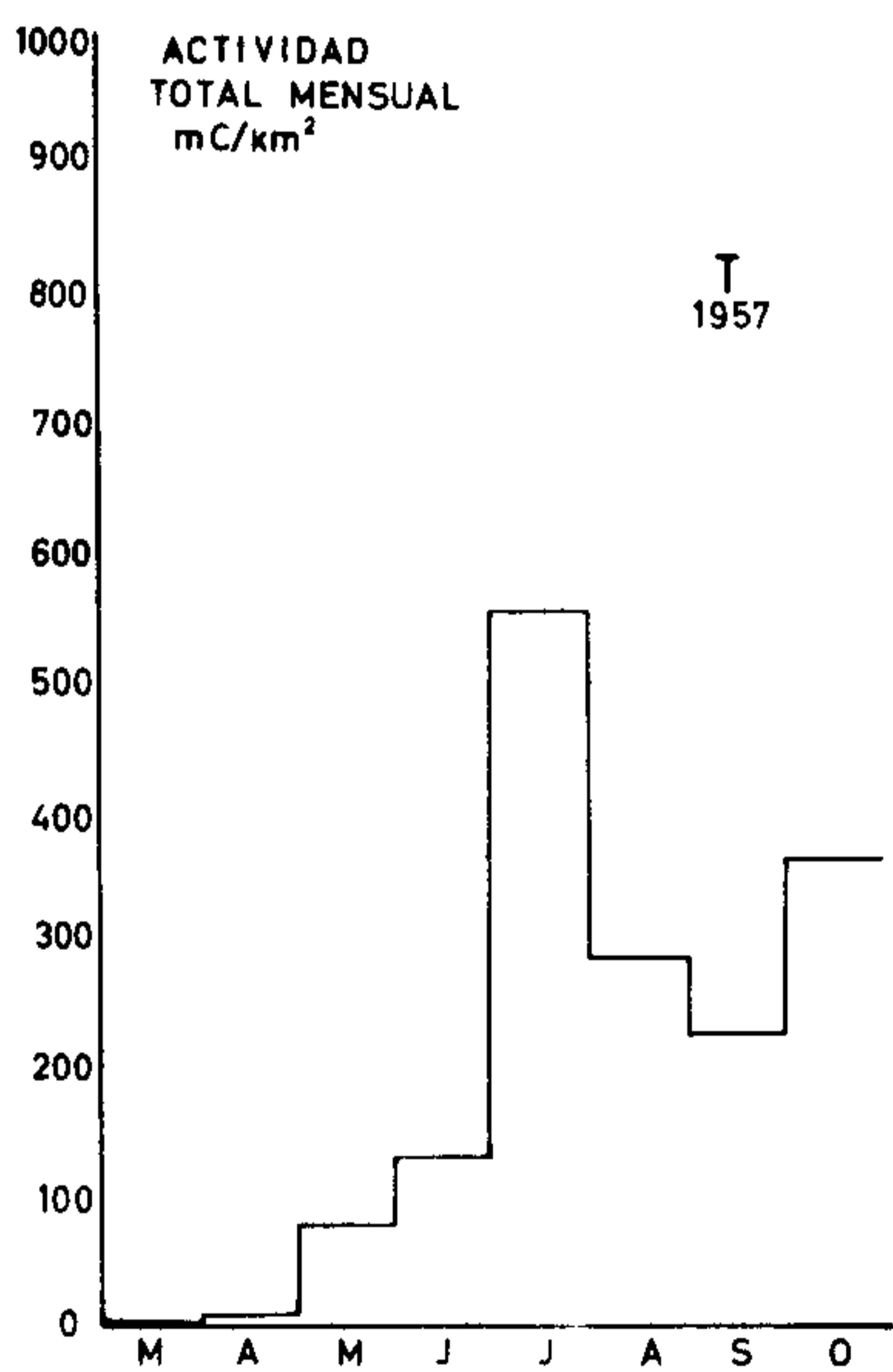
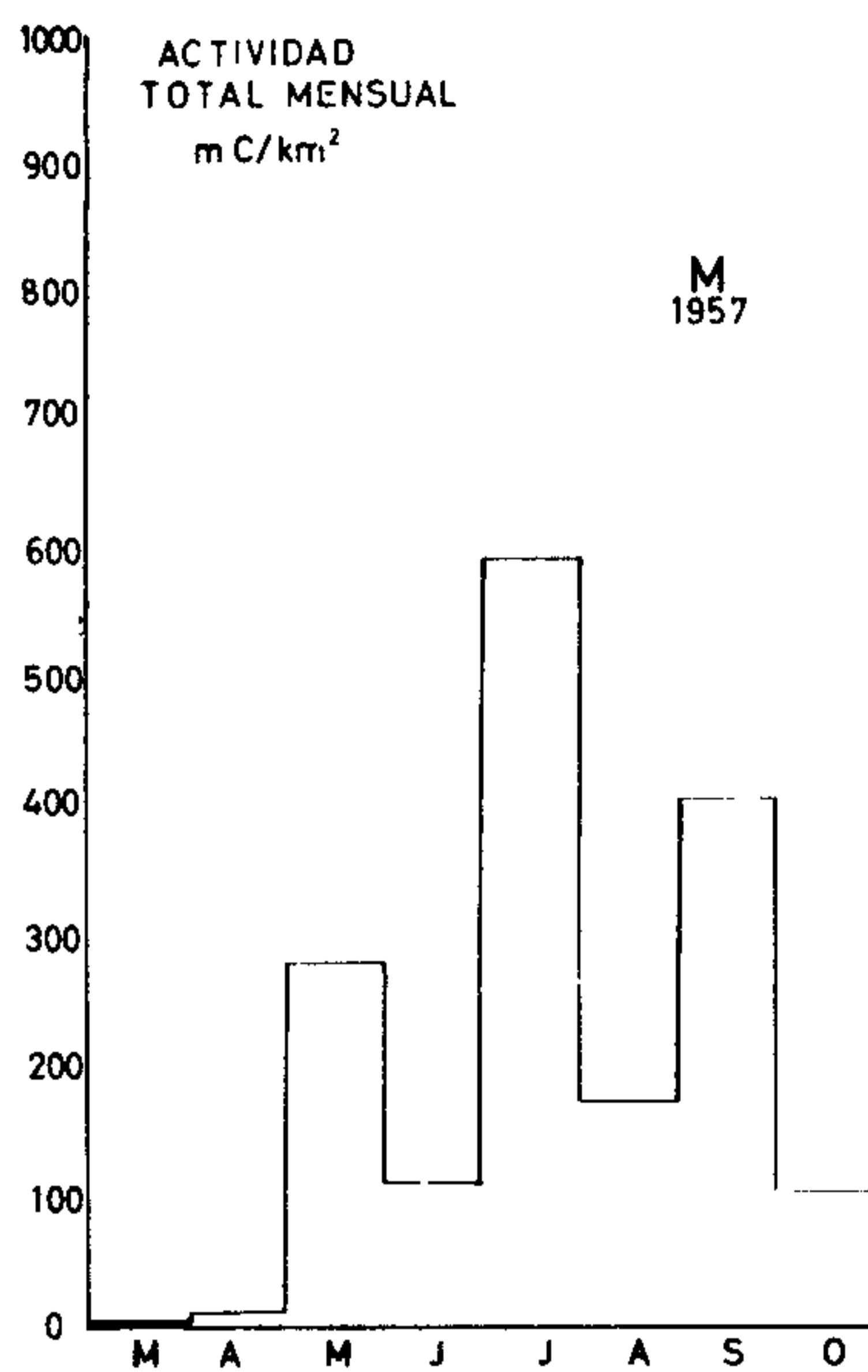
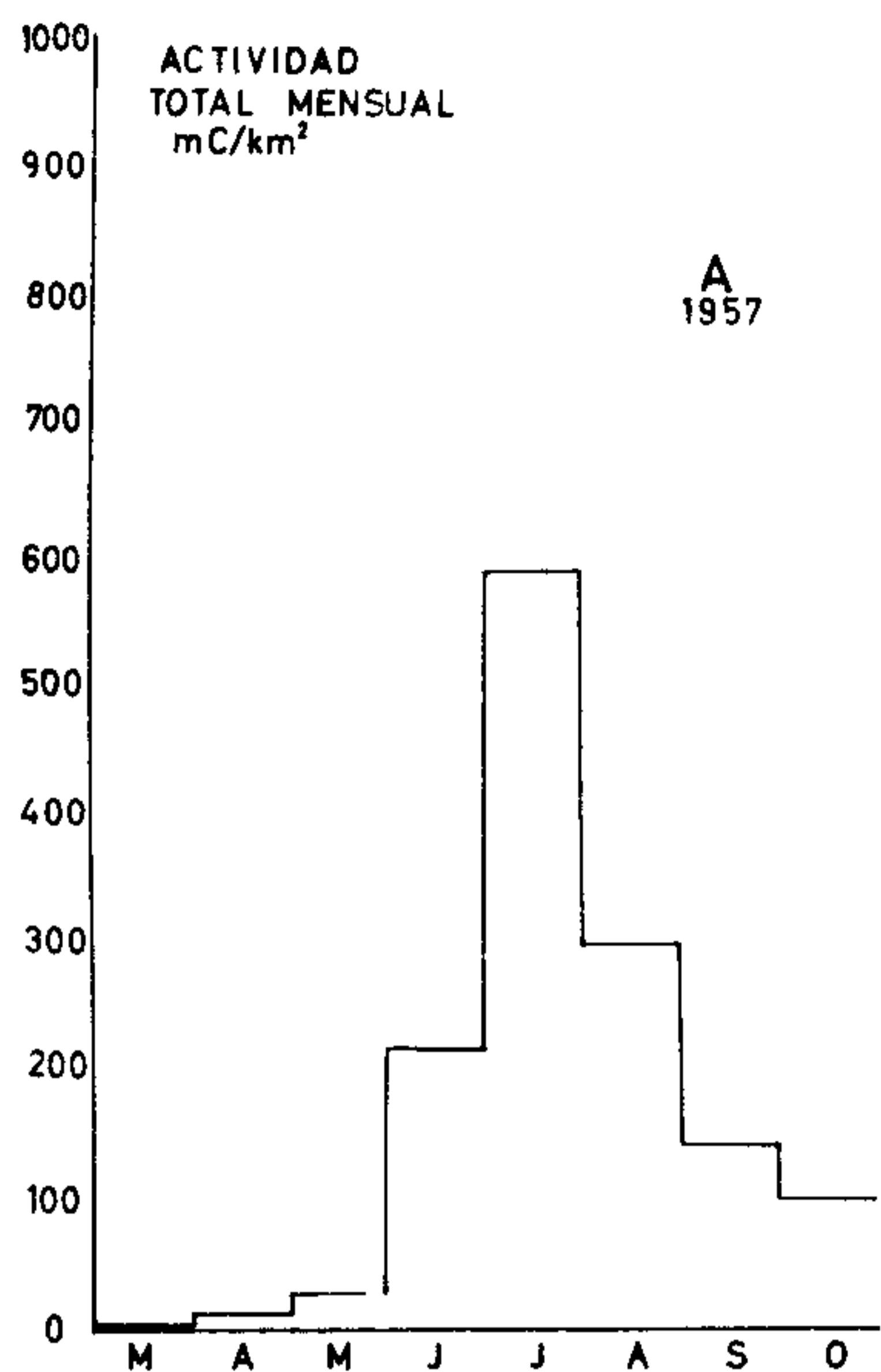
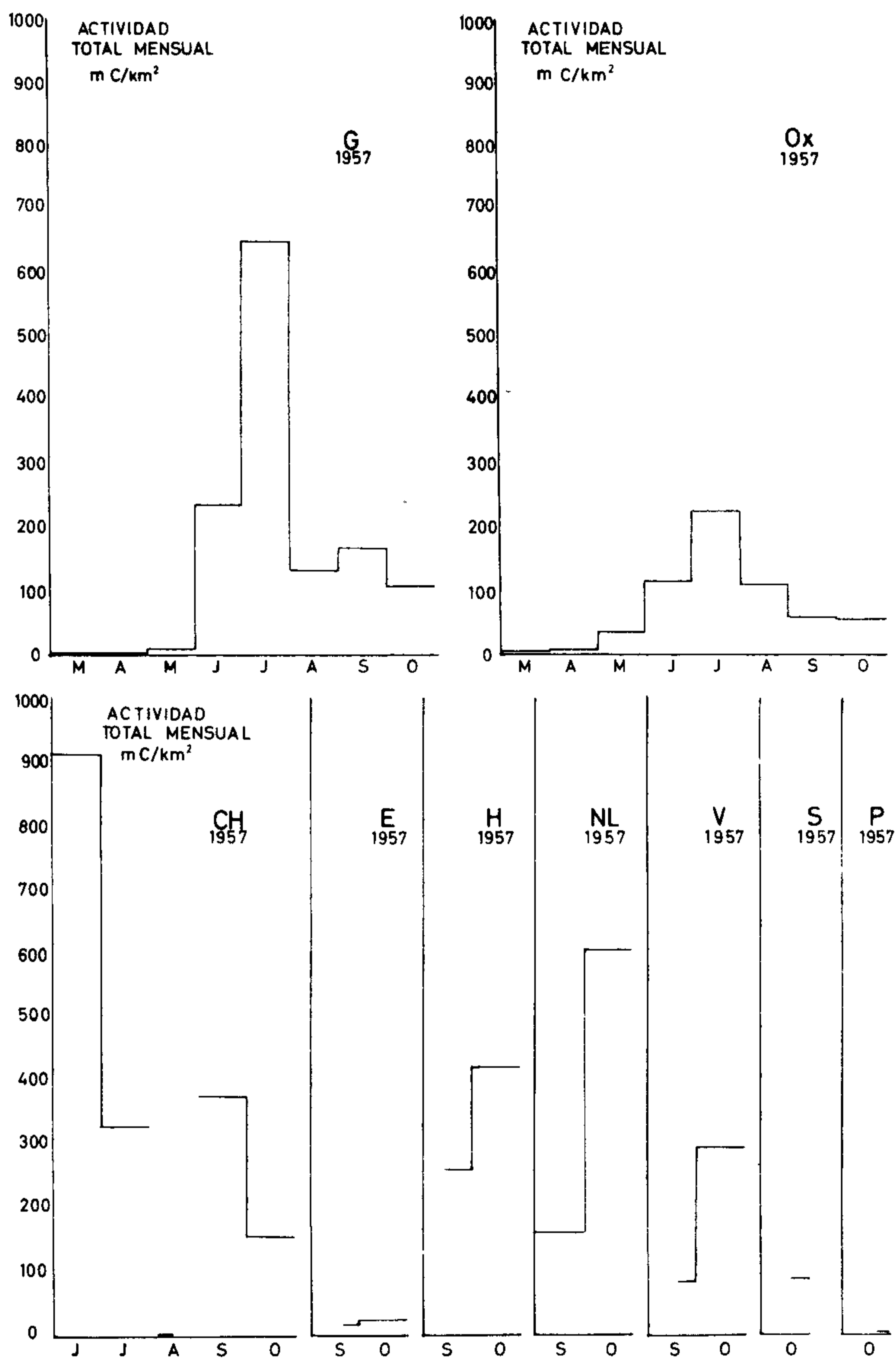


Figura 1
 Sitios de las estaciones de precipitación radioactiva. **E**: Ensenada, B.C. **CH**: Chihuahua, Chih. **NL**: Monterrey, N.L. **H**: Hermosillo, Son. **P**: Tampico, Tamps. **G**: Guadalajara, Jal. **M**: México, D.F. **T**: Tonantzincla, Pue. **V**: Veracruz, Ver. **Y**: Mérida, Yuc. **Ox**: Oaxaca, Oax. **S**: Comitán, Chis.



Figuras 2-5

Actividades β , totales mensuales. Para el significado de los símbolos, véase al pie de la figura 1.



Figuras 6-14

A Actividades β , totales mensuales. Para el significado de los símbolos, véase al pie de la figura 1

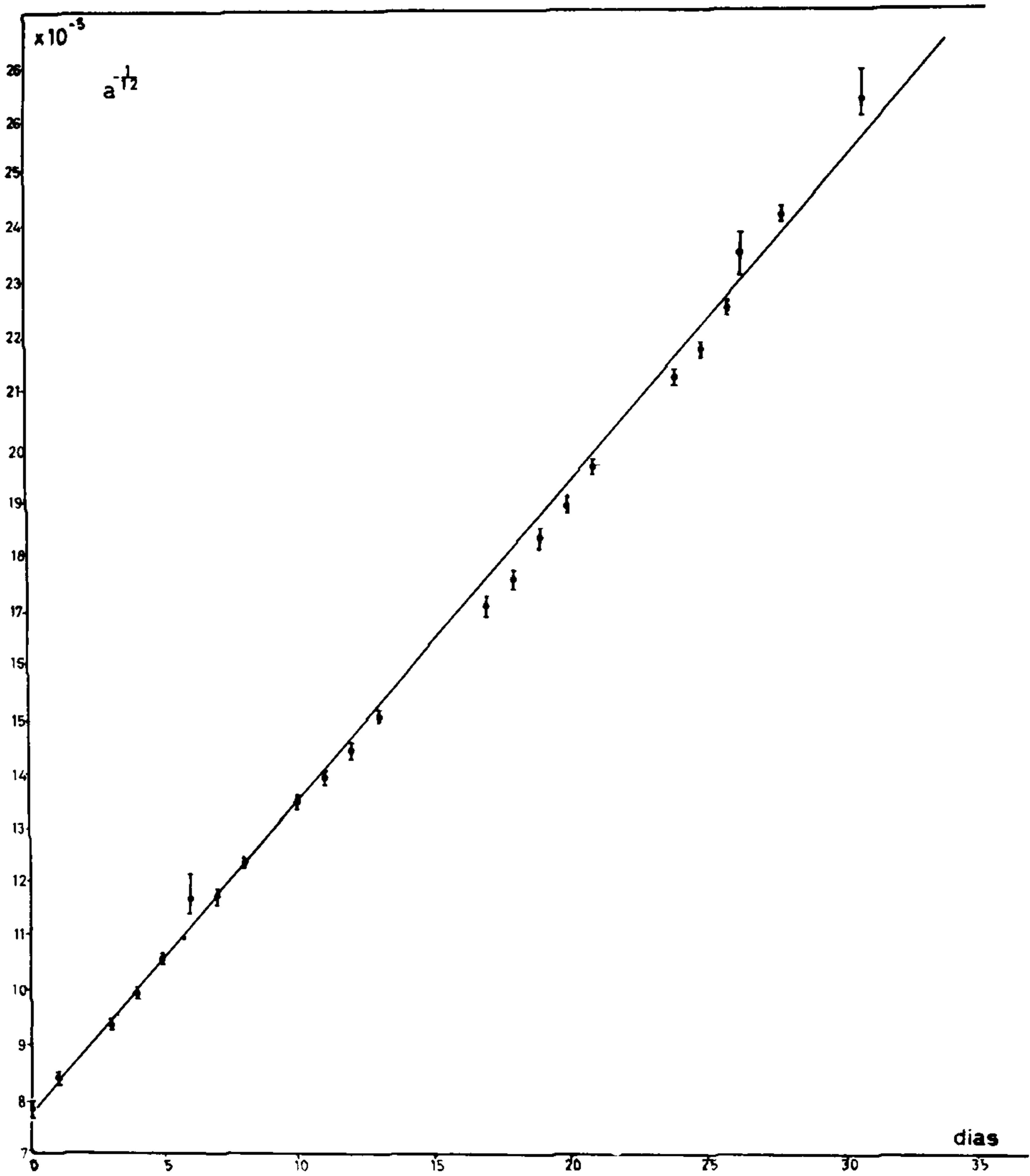


Figura 15

Decaimiento de una muestra activa. Abscisas: tiempo en días. Ordenadas: actividades elevadas a la potencia $-1/2$, unidades arbitrarias.

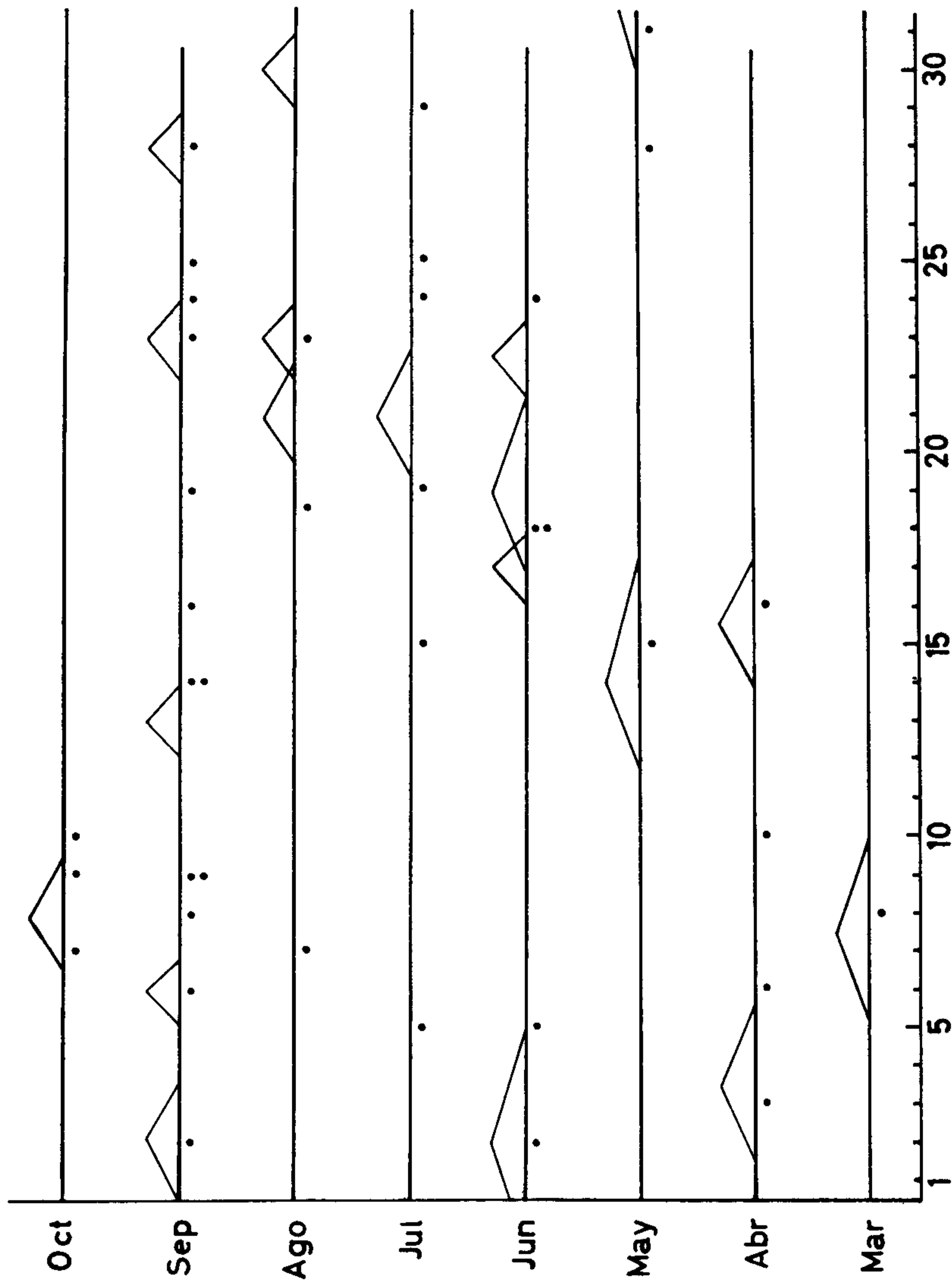
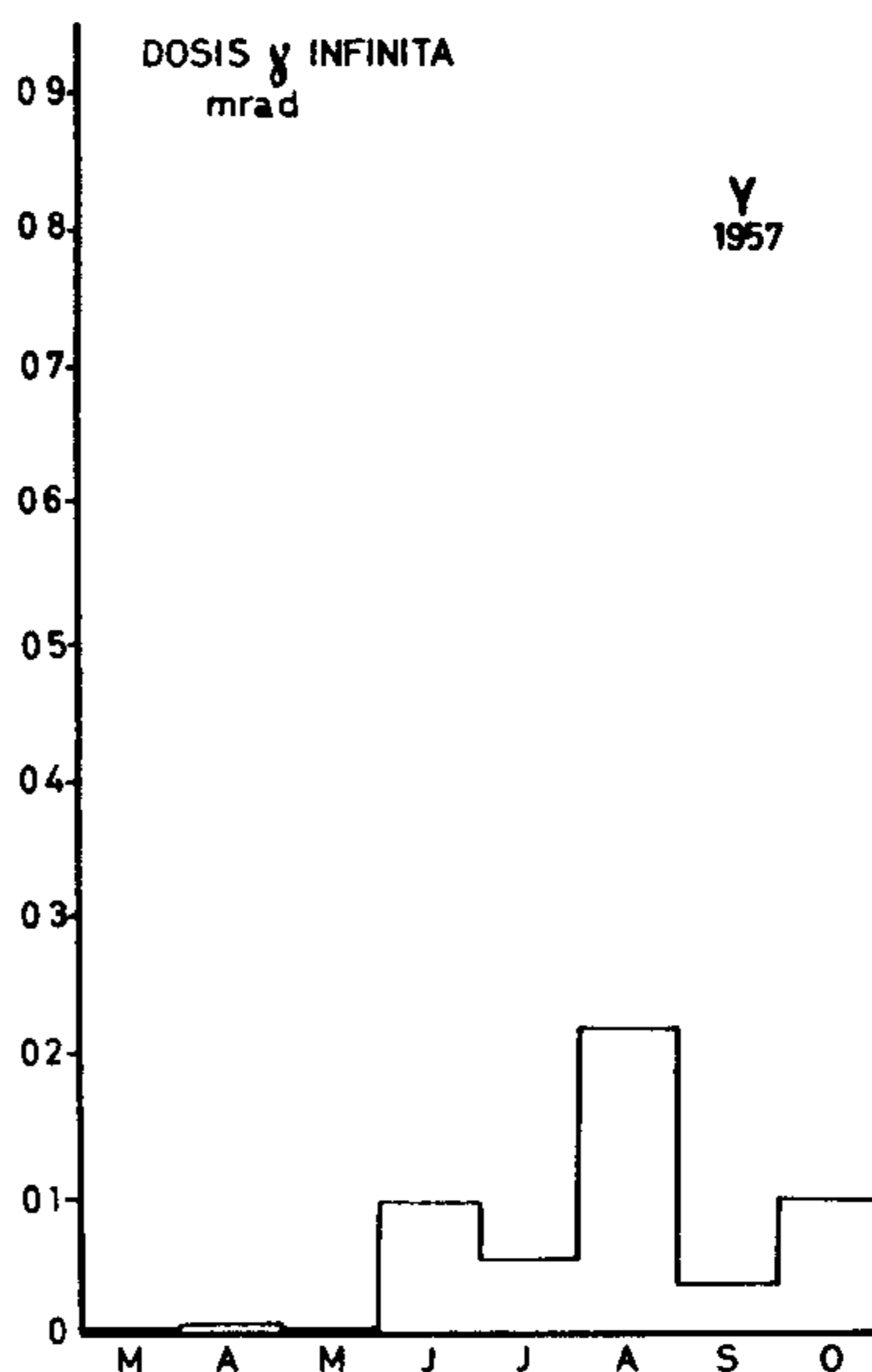
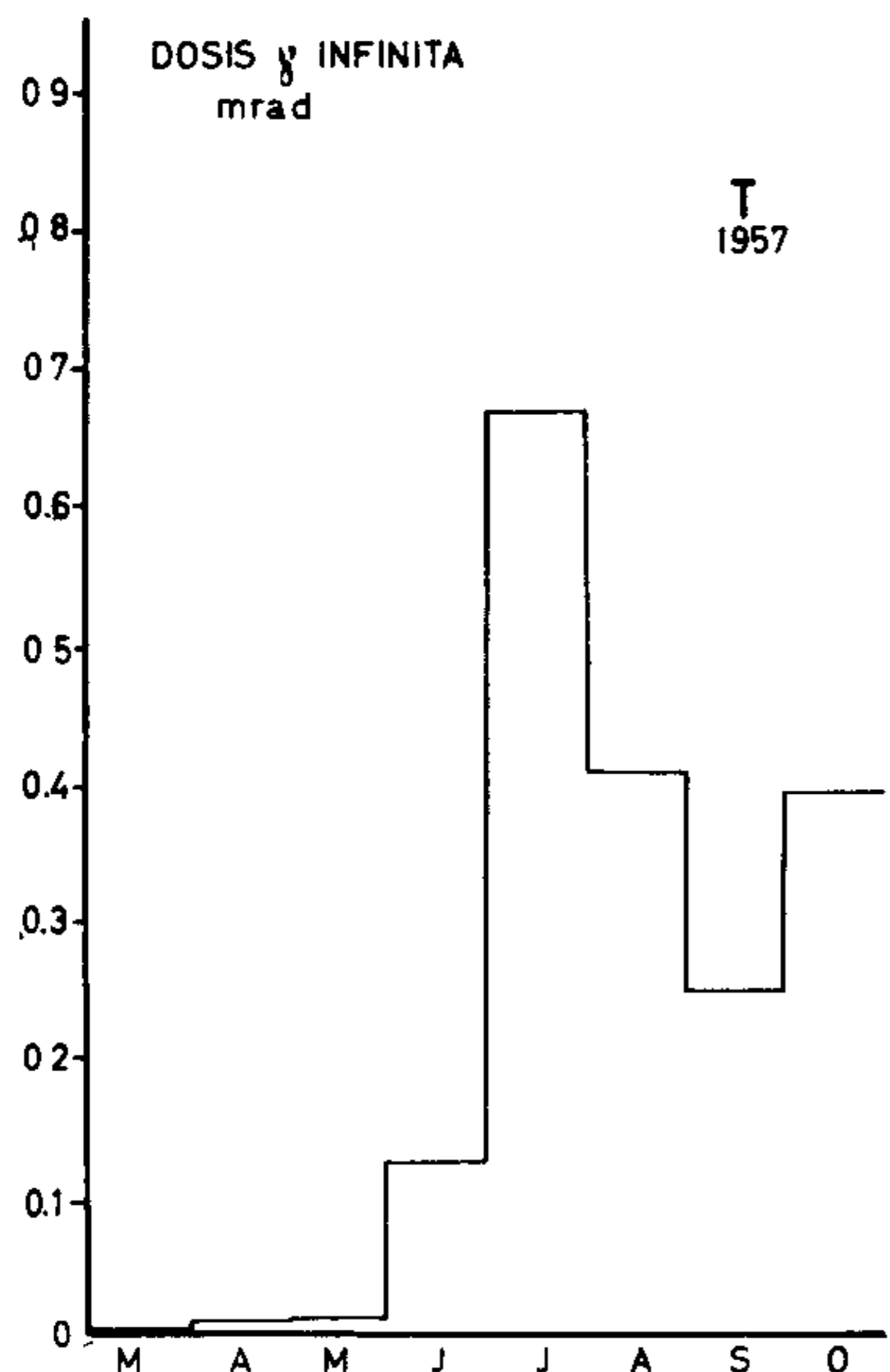
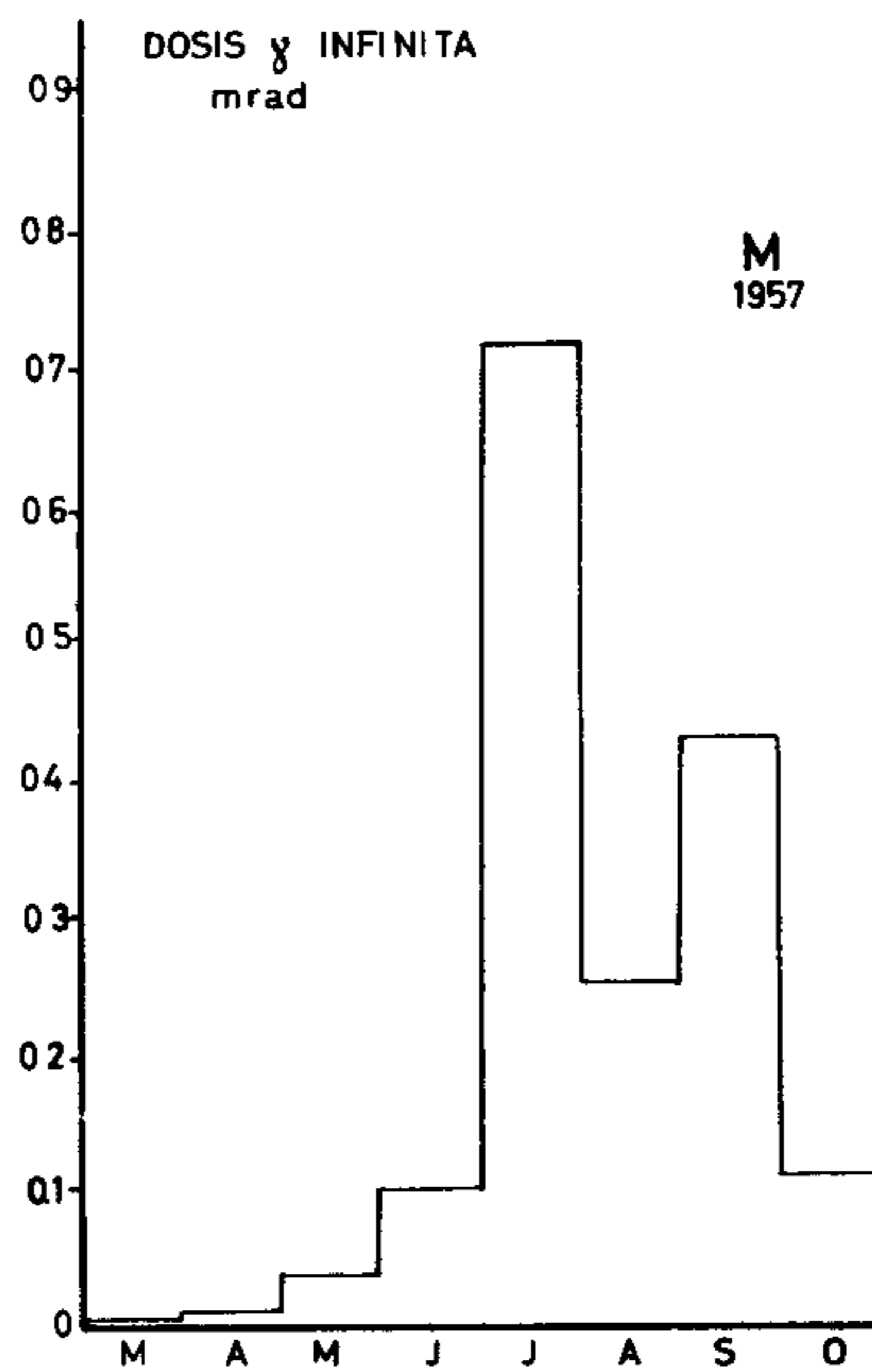
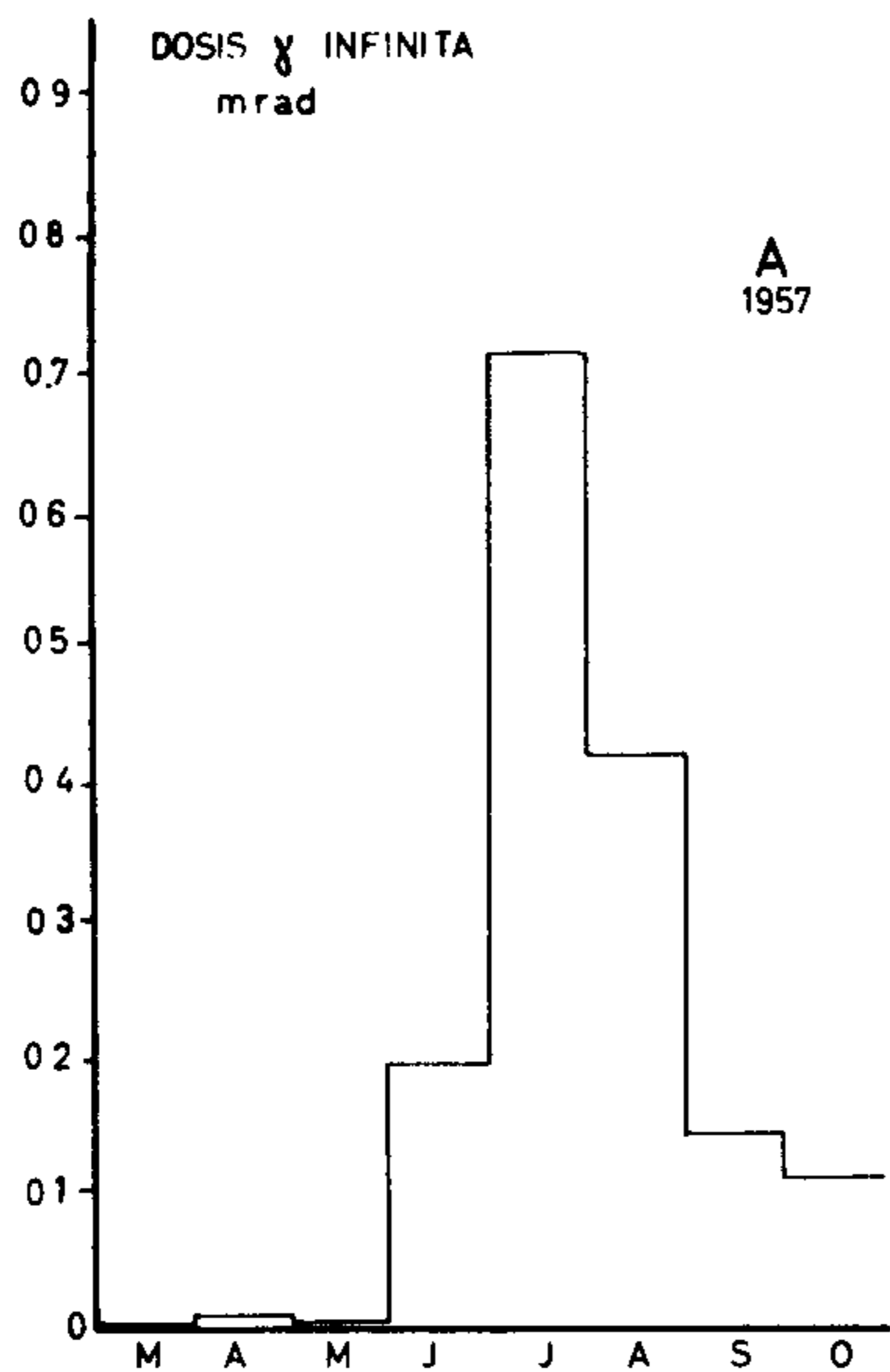


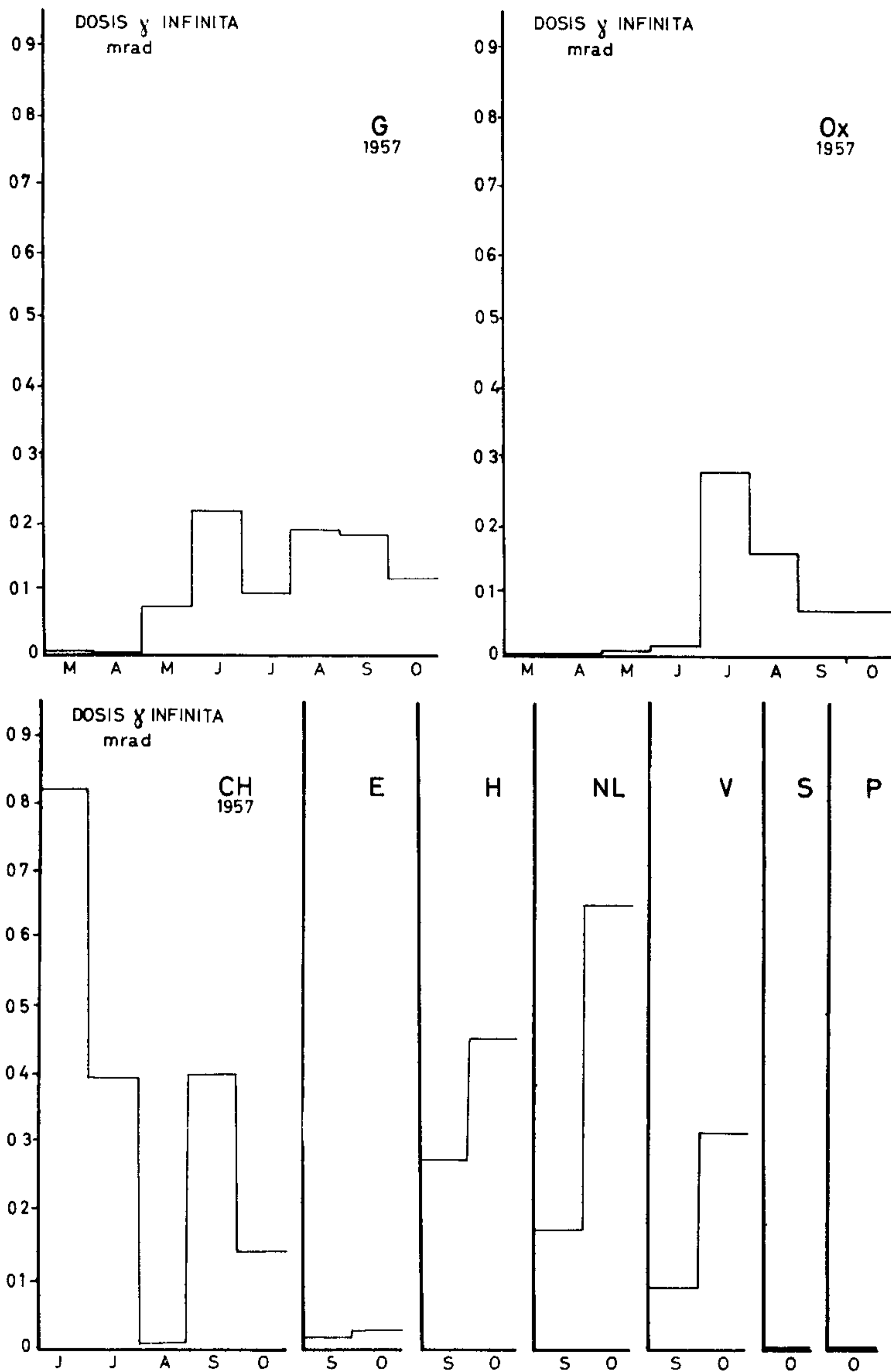
Figura 16

Fechas de explosión obtenidas por el método del decaimiento. El pico de cada triángulo indica una fecha obtenida por este método, el ancho del triángulo da los límites de error. Los puntos indican las fechas de explosión señalada en la prensa.



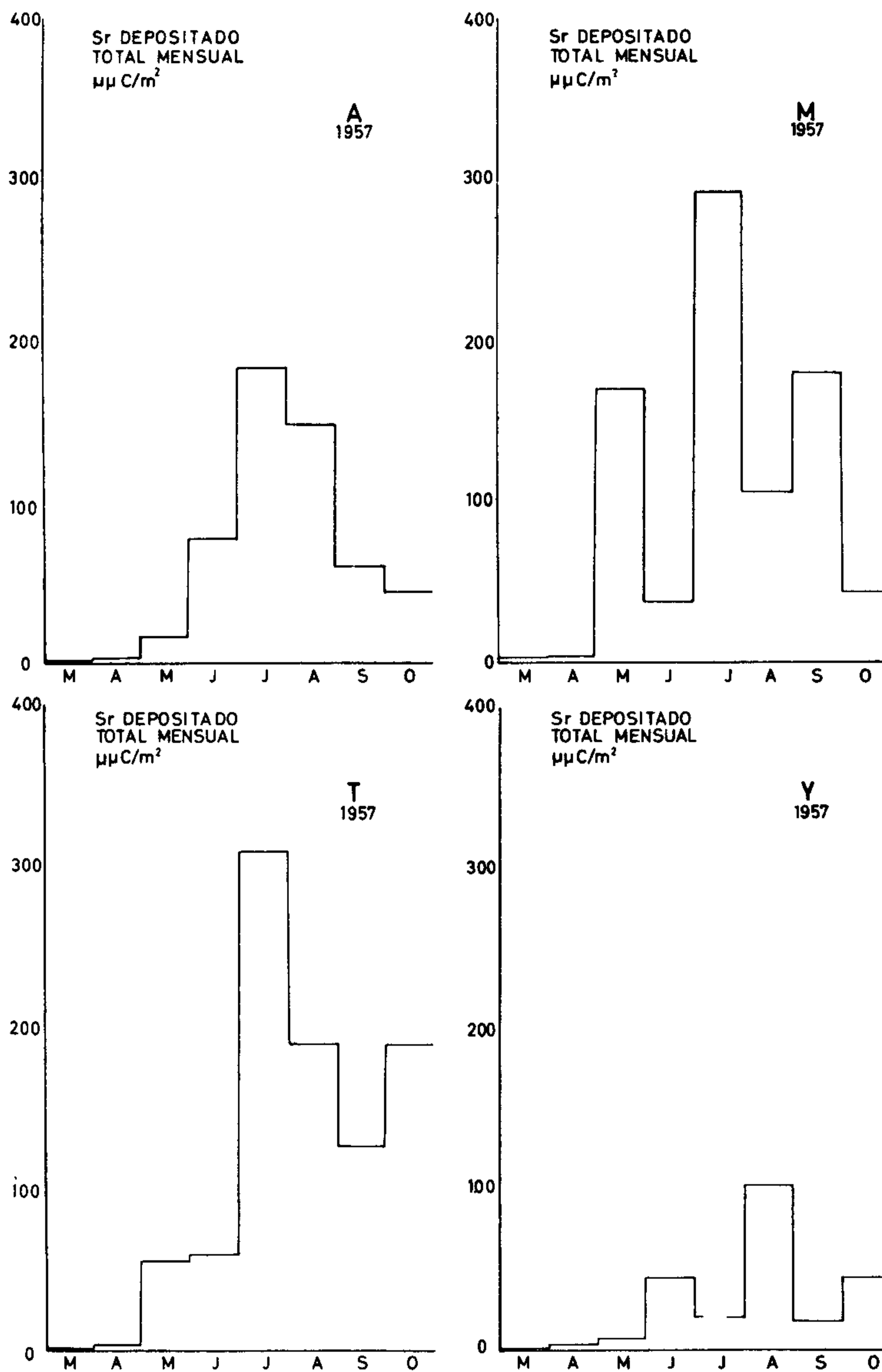
Figuras 17-20

Dosis γ infinitas, totales mensuales. Para el significado de los símbolos, véase al pie de la figura 1.



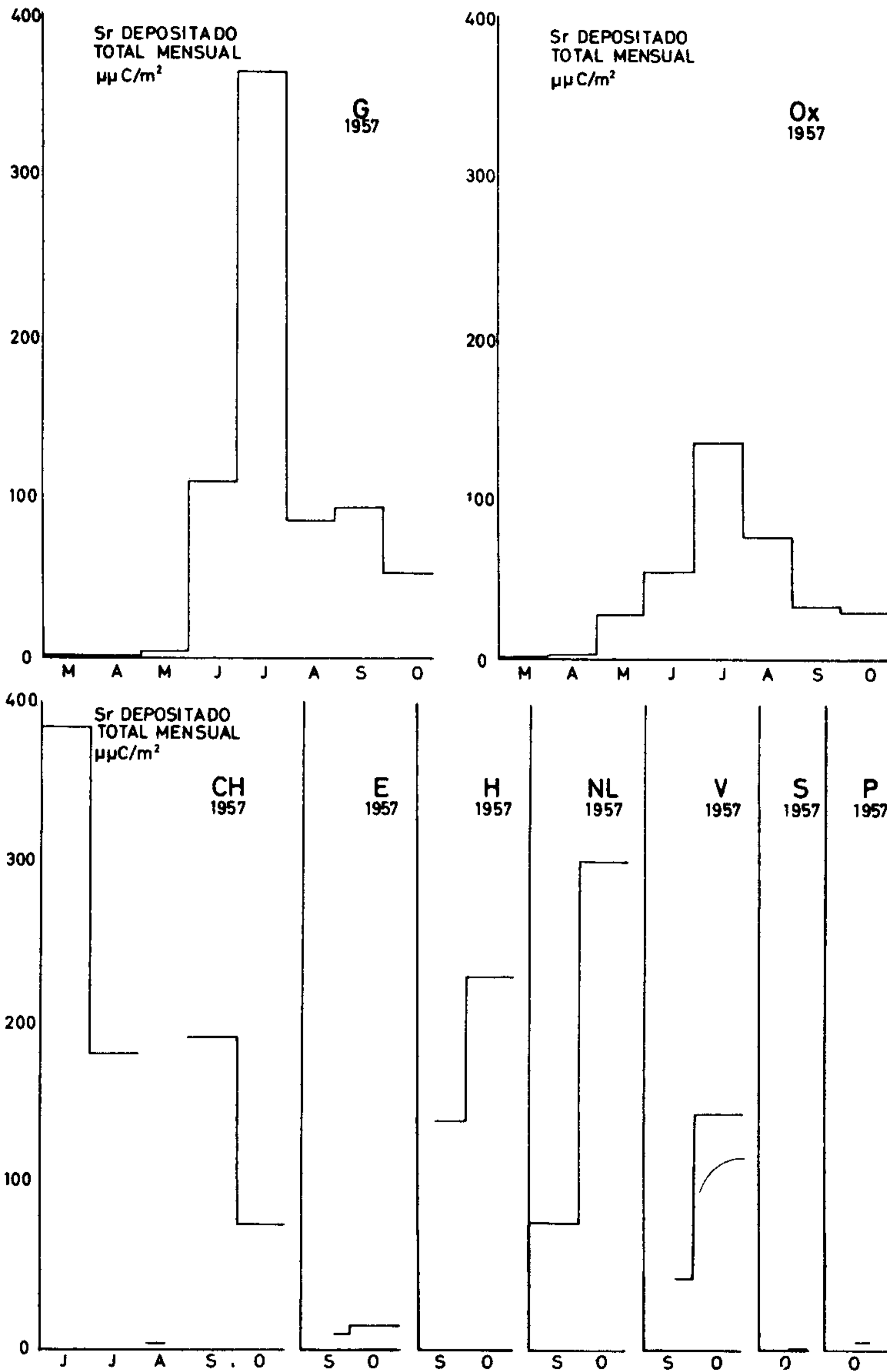
Figuras 21-29

Dosis y infinita, totales mensuales. Para el significado de los símbolo véase al pie de la figura 1.



Figuras 30-33

Precipitación de ^{90}Sr , totales mensuales estimados a partir de las actividades β . Para el significado de los símbolos, véase al pie de la figura 1.



Figuras 34-42

Precipitación de ^{90}Sr , totales mensuales estimados a partir de las actividades β . Para el significado de los símbolos, véase al pie de la figura 1.

Esta página está intencionalmente en blanco.