

METODO DE ANALISIS RAPIDO EN MUESTRAS PLANCTONICAS

Por:

SERGE FRONTIER (1)

En cuanto el planctólogo recoge muestras, es confrontado con el problema de la variabilidad aleatoria de la comunidad planctónica. A una escala de observación menor que la escala de los gradientes ecológicos, se observan distribuciones que parecen debidas al azar. La "microdistribución" de los organismos agrega a las variaciones ecológicas una variabilidad básica imposible de eliminar.

Felizmente, las variaciones debidas a los factores ecológicos son generalmente de un orden de grande muy superior al de la variabilidad local. *Resulta inútil, en el estudio del plancton, determinar cantidades exactas por medio de contajes precisos; sólo es útil conocer los órdenes grandes y sus variaciones.*

Hemos tratado de precisar esta noción de orden de grande, estableciendo un conjunto de niveles, o clases de abundancia, fundado en una primera etapa sobre una progresión geométrica, que parecía convenir mejor a la apreciación intuitiva y rápida de la abundancia de objetos. Un estudio previo mostró que una progresión de razón 4,3 parecía apta para proveer una escala que se acercase lo más posible a la escala espontánea según la cual el operador calificaba las diferentes categorías de organismos encontrados, como "muy escaso", "escaso", hasta "muy abundante". Las clases de abundancia así obtenidas en la siguiente tabla 1.

Tabla 1

CLASES DE ABUNDANCIA LOGARITMICAS

CLASES	NUMEROS	CLASES INTER.	NUMEROS	VALORES CENTRALES
1	1 a 3			2
2	4 a 18	1,5	3 ó 4	8
3	18 a 80	2,5	Cerca de 18	37
4	80 a 350	3,5	— 80	165
5	350 a 1500	4,5	— 350	725
6	1500 a 6500	5,5	— 1500	3120
7	6500 a 27000	6,5	— 6500	13250
8	27000 a 120000	7,5	— 27000	56900
etc...				

Esa determinación aproximada da un método rápido de análisis de las muestras. En efecto es fácil, por medio de submuestras, establecer si la abundancia de una especie dentro de una muestra es, por ejemplo, incluida entre 80 y 350 (clase 4) o entre 350 y 1.500 (clase 5). Existe duda sencillamente cuando la abundancia es cerca de 350, en aquel caso se pone por conveniencia la clase deci-

(1) O.R.S.T.O.M. París.

mal 4,5, que significa "alrededor de 350" (los límites precisos no tienen ninguna importancia).

La comparación con resultados establecidos con contajes precisos es significativo. La fig. 1 muestra que la sustitución de las clases de abundancia (línea continua) por contajes precisos (línea discontinua) no puede llevar ninguna información adicional en la descripción del fenómeno ecológico. La fig. 2 muestra que una cartografía obtenida sencillamente con clases de abundancia proporciona una descripción del fenómeno que los contajes precisos no podrían modificar, sino ligeramente.

Aún más, tratamientos elaborados de los datos, tales como análisis factoriales, cálculos de biomasa y de diversidad, dan prácticamente los mismos resultados con clases de abundancia y con contajes precisos: los coeficientes de correlación entre resultados obtenidos con los dos métodos alcanzan generalmente 0,95 o más. Es entonces inútil en todos los casos hacer contajes precisos, que son fastidiosos y toman mucho tiempo. La energía es mejor distribuida cuando se realizan muestreos numerosos y apretados en el tiempo y en el espacio.

En efecto, disponemos hoy de varios métodos de análisis numéricos que se pueden aplicar a conjuntos numerosos de datos. La planificación óptima del muestreo varía según el tratamiento previsto. Sin embargo en todos los casos, un número más alto posible de observaciones es aconsejable. Implica que el análisis de las muestras sea fácil y rápido: por eso nuestro método está particularmente bien adaptado a este tipo de diseños.

Otro problema que debe resolverse en el marco del tratamiento de los datos es el de la métrica que hay que adoptar.

Hay que distinguir entre *escala* y *métrica*. Un cambio de escala es sencillamente un cambio de unidad: se mide una longitud en centímetros o en kilómetros. Un cambio de métrica es un cambio en la manera de medir: se mide un cubo en longitud de la arista (L), o en el área de la cara (A), o en el volumen o peso (V o P).

Se pasa de una métrica a otra por una *transformación no lineal* (es decir no proporcional) de los datos: por ejemplo, $V = L^3$. En cambio, $P = d.V$, donde d es la densidad: hay aquí solamente un cambio de escala.

Para los tratamientos, el punto fundamental es que diferentes métricas dan importancias relativas diferentes a las variaciones dentro de los grandes y de los pequeños números. Por ejemplo, la métrica aritmética da la misma importancia a una variación entre 1 y 10 entre 101 y 110. La métrica logarítmica da la misma importancia a una variación entre 1 y 10 y entre 100 y 1.000. Las métricas "raíz cuadrada" y raíz cúbica" son intermediarias.

En nuestro caso, se trata de buscar una métrica que otorgue la misma importancia a la variabilidad aleatoria de las cantidades planctónicas en los grandes y en los pequeños números. Es decir, en términos de la estadística, una transformación no lineal que proporcione una varianza del mismo orden de grande, cualquier sea el orden de grande de los números contados; en otras palabras, que otorgue una *varianza independiente de la media*, lo que es una de las condiciones esenciales de la aplicación de las técnicas estadísticas usuales.

Visiblemente, la métrica aritmética no conviene, pues se hace grandes varianzas con grandes números, y pequeñas varianzas con pequeños números. La métrica logarítmica es a menudo utilizada en ecología; pero se observa que esta transformación *sobre-corrige* la varianza: una variación de 1 a 10 puede deberse al azar, dada la importancia de la microdistribución; en cambio, una variación de 100 a 1.000 es más seguramente significativa, y debería ser más destacada que la precedente, lo que no es con la transformación log. Esta reduce las varianzas significativas de los grandes números, haciéndolas a veces indistintas, y otorga a las variaciones de los pequeños números una importancia injustifica-

da: la situación es invertida respecto a la métrica aritmética.

Se paliará este inconveniente, elevando al cuadrado el logaritmo. Este proceder puede justificarse matemáticamente y estadísticamente. Haremos aquí, solamente referencia a dos gráficos (fig. 3), obtenidos uno poniendo las variaciones en la métrica log, otra en métrica \log^2 : solamente en el segundo caso se distinguen bien los fenómenos.

Es muy importante precisar que las transformaciones no lineales deben ser aplicadas a los números reales de organismos contados en una muestra, ya no a los números convertidos en clases por regla proporcional. En efecto, por razones matemáticas, transformaciones no lineales (salvo transformación log) aplicadas después de un cálculo proporcional, no tendrían el mismo efecto sobre las variancias. Sin embargo se puede admitir que hay poco error convirtiendo los resultados al volumen filtrado medio si las muestras fueron obtenidas, filtrando volúmenes de agua *del mismo orden de grande*. Por ejemplo, muestras obtenidas filtrando 9, 8, 14, 11 y 7 m³ pueden ser convertidas a 10 m³, antes que los contajes sean transformados en sus \log^2 (pero no a 1 m³ o a 100 m³).

Cuando se adoptan las clases de abundancias, se utiliza como límites de los intervalos, y como designación de las clases, logaritmos de base 4,3. Por ejemplo, la clase 4 es la clase "80-350" es decir " $4,3^3 - 4,3^4$ ": la clase es designada por el logaritmo de base 4,3 del límite superior. Para adoptar la métrica \log^2 , hay que elevar al cuadrado el número de la clase. Es lo que hicimos en la fig. 1, para comparar los resultados obtenidos con contajes precisos puestos en la métrica \log^2 .

Pero, utilizar clases logarítmicas por que es fácil, determinarla rápidamente, luego corregir la desigualdad de las variancias elevando al cuadrado los números de las clases, es una estratagema que tiene inconvenientes. Se observa en la fig. 1, que las clases son demasiado apretadas en los pequeños números (dan más detalles que lo necesario), cuando podría haber más clases intermedias en los grandes números. Sería más juicioso adoptar de antemano clases que fuesen equidistantes en la métrica log, lo que hicimos en, una segunda etapa, conduciéndonos a las clases expresadas en la tabla II.

Tabla II

CLASES DE ABUNDANCIA EN METRICA \log^2

CLASES	NUMEROS		VALORES CENTRALES
1	1 a	64	18
2	64	365	165
3	365	1400	735
4	1400	4200	2450
5	4200	11500	7000
6	11500	27000	18000
7	27000	62500	42000
8	62500	135000	92000

Respecto al primer conjunto de clases, las clases inferiores son agrupadas, y las clases superiores son divididas y diversificadas.

Los diseños de muestreo deberán ser pensados con arreglo a los diseños de tratamientos ulteriores de los datos. Pueden ser diversos, y reflejan los modos de presentar los problemas.

Con los diseños de "primera descripción", se trata de estudiar en una región las variaciones de la comunidad planctónica según el tiempo, el espacio, o los dos a la vez. Se estudiará por ejemplo las variaciones a la escala geográfica, según los principales gradientes ecológicos: norte-sur, costa-alta mar, vertical, etc. Se establecerá transectos a través de los fenómenos, las estaciones siendo más o menos apretadas según la intensidad del gradiente. Si se presume la existencia de varios gradientes ecológicos entrecruzándose, se realizará un cuadrículado de estaciones. Se estudiará por otra parte variaciones verticales, estacionales e interanuales, nictemerales, etc.

De todos modos, hay que mantener en la mente que una variabilidad aleatoria muy grande se sobrepone a la influencia de los gradientes ecológicos. Una muestra aislada no es nunca significativa de por sí. En cambio, un conjunto de muestras hace aparecer por una parte una tendencia, y por otra parte un orden de grande de la variabilidad residual (ejemplos dados en las figuras). Se conseguirá toda la información útil, fijándose en órdenes de grande de las cantidades observadas, porque cada precisión suplementaria en este nivel de observación, traerá información solamente acerca del "ruido del fondo" y no de la tendencia.

Cualquiera que sea el interés de tratamientos más elaborados, tal como análisis factorial o espectral, los diseños de "primera descripción" tienen una gran importancia, y es necesario que precedan los estudios más profundos y más técnicos. Estudios elementales todavía faltan en numerosas regiones del mundo, hasta tal punto, que en esta época donde resulta tan agudo el problema de las consecuencias de la contaminación del mar, faltan descripciones de base que permitirían, por medio de comparación con un "punto cero" de no-contaminación, hacer el balance de la modificación ecológica del medio. Por eso pensamos que es necesario iniciar estudios de "primera descripción" (emprender en numerosas regiones), sobre todo en regiones neríticas que son las más afectadas por las consecuencias del desarrollo industrial rápido. La urgencia del problema justifica los métodos rápidos que preconizamos.

Un método semigráfico rápido de evaluación de la abundancia total dentro de una zona delimitada es posible cuando la región ha sido cuadrículada de modo bastante fino para que se pueda trazar una cartografía de las abundancias de los varios grupos, estableciendo una red de líneas de igual abundancia, llamadas isopleas. Estas líneas, así como isobatas, isotermas, etc., reúnen del modo más regular posible puntos de valores redondos obtenidos interpolando entre dos estaciones, después transformación \log^2 o por lo menos \log . Esos valores redondos no deben ser ni demasiado numerosos, ni demasiado escasos, para que el mapa sea leible y fiable; su elección se identificará con el de las clases de abundancia del método rápido. En caso que sean las clases de abundancia las que fueran puestas en el mapa, las isopleas pasarán a media distancia entre estaciones vecinas de abundancias sucesivas.

Luego, por planimetría de las zonas colocadas entre las varias isopleas, se puede relatar el valor medio de la abundancia (ver últimas columnas de las tablas 1 y 2) y, sumando todas las zonas, conseguir una estimación de la cantidad de plancton bajo la superficie estudiada.

Si las abundancias puestas en el mapa son las densidades de plancton (por ejemplo por 10 m^3) en la columna entera de agua, hay que considerar la intersección entre las isopleas y las isobatas. Entre dos profundidades redondas, y dos abundancias que son límites de clases, delimitamos una área cerrada sobre la cual hay la misma abundancia y la misma profundidad media. Multiplicando dicha profundidad por la superficie del área cerrada, obtenemos el volumen de agua bajo esta área, y multiplicando este volumen por la densidad planctónica, se obtiene la cantidad de plancton bajo el área. Por fin, sumando para todas las áreas delimitadas por el doble conjunto de líneas, se obtendrá la cantidad total de plancton bajo la zona cuadrículada.

Hemos llevado a cabo tal cálculo, para varias categorías zoológicas, en un ciclo anual dentro de una bahía tropical (Bahía de Ambaro, Madagascar). Las variaciones cuantitativas a lo largo de un

ciclo anual reflejan, tras aplicación del método de cartografía—planimetría, en gráficos más regulares y lisos que los que se consigue de costumbre en el estudio del plancton con estaciones individuales. Damos ejemplos en las figuras 5 y 6 de gráficos obtenidos con los dos métodos para la misma especie, *Creseis acicula*, en 3 estaciones aisladas (fig. 5) y en toda la zona tras integración de la microdistribución (fig. 6).

Estos métodos fueron puestos a punto y aplicados por un equipo francés de la O.R.S.T.O.M. (Oficina de Investigación Científica y Técnica del Ultramar), instituto especializado en el estudio del medio tropical. Nos pareció interesante hacerlos conocer, y eventualmente sugerir que sean adoptados en el marco de una planificación, y de un afán de unificación de los métodos.

BIBLIOGRAFIA

- Blanc F. Et Laurec A., 1976 De l'heuristique au thaumaturgique dans l'analyse des données en écologie marine. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 14(2):
- Bour W. Et Millerioux G., 1974 Zooplancton de la région de Nosy Be. IX) Répartition spatiotemporelle des Chaetognathes dans la province néritique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* 12(4): 207-219.
- Devaux J. Et Millerioux G., 1976 a. Possibilités d'utilisation de la cotation d'abondance de Frontier (1969) pour l'analyse multivariable des populations phytoplanctoniques. *C.R. Acad. Sci. Paris (sér. D)*, 283: 41-44.
- Devaux J. Et Millerioux G., 1976 b. Méthode d'estimation de la biomasse du phytoplancton à partir des nombres de cellules issue d'une cotation d'abondance. *C. R. Acad. Sci. Paris (sér. D)*, 283: 927-930.
- Devaux J. Et Millerioux G., 1977 Utilisation d'une cotation d'abondance pur l'étude quantitative des populations phytoplanctoniques. *J. français Hydrol.*, sous presse.
- Frontier S., 1966 Zooplancton de la région de Nosy Be. I) Programme des récoltes et techniques d'étude. II) Plancton de surface aux stations 5 et 10. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Oceanogr.*, 4(3): 3-37.
- Frontier S., 1969 Sur une méthode d'analyse faunistique rapide du zooplancton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 3(1): 18-26.
- Frontier S., 1972 Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 8(2): 121-132.
- Frontier S., 1973a Etude statistique de la dispersion du zooplancton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 12(3): 229-262.
- Frontier S., 1973b Evaluation de la quantité totale d'une catégorie d'organismes planctoniques dans un secteur néritique. *J. exp. mar. Biol.* 12(3): 299-304.
- Frontier S., 1973c Zooplancton de la région de Nosy Be. V) Cladocères. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 11(3): 259-272.
- Frontier S., 1973d Zooplancton de la région de Nosy Be. VI) Pteropodes, Hétéropodes. Première partie: espèces holonéritiques et néritiques internes. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 11(3): 272-290.
- Frontier S., 1974a Contribution à la connaissance d'un écosystème néritique tropical: étude descriptive et statistique du peuplement zooplanctonique de la région de Nosy Be (Madagascar). Thèse Doct. Etat Univ. Aix-Marseille, multigr. 268 pp., et Doc. O.R.S.T.O.M. hors coll.
- Frontier S., 1974b L'analyse factorielle est-elle heuristique en écologie du plancton? *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.*, 12(1): 77-81.
- Frontier S., 1977 Interface entre deux écosystèmes: exemples dans le domaine pélagique. Communic. Congrès U.O.F., mars 1977. Resume paru dans *J. Rech. océanogr.*, 2(1): 24-25.

- Frontier S., sous presse a. Interface entre deux écosystèmes pélagiques. *Ann. Inst. océanogr.*, sous presse.
- Frontier S., sous presse b. La microrépartition du plancton: étude statistique, implications méthodologiques, perspectives. *Vie Milieu*, sous presse.
- Frontier S. Et Ibañez F., 1974. Utilisation d'une cotation d'abondance fondée sur une progression géométrique pour l'analyse des composantes principales en écologie planctonique. *J. p. mar. Biol. Ecol.*, 14(3): 217-224.
- Frontier S. Et Viale D., 1977. Utilisation d'une cotation d'abondance mise au point en planctologie pour l'évaluation des troupeaux de Cétacés en mer. *J. Rech. océanogr.*, sous presse.
- Ibañez F., 1971. Effet de la transformation des données dans l'analyse factorielle en écologie planctonique. *Cah. océanogr.*, 23: 546-590.
- Ibañez F., 1973. Méthode d'analyse spatio-temporelle du processus d'échantillonnage en planctologie, son influence dans l'interprétation des données par l'analyse en composantes principales. *Ann. Inst. Océanogr.*, (n.s.), 49(2): 83-111.
- Mac Kay D. Et Mac Culloch W. 1952. The limiting information capacity of a neuronal link. *Bull. Mathem. Biophys.*, 14: 127-135.
- Petit D., 1973 Zooplancton de la région de Nosy Be. VIII) Repartition spatio-temporelle du genre *Lucifer*. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, 11(3): 373-385.
- Platt T. 1972. Local phytoplankton abundance and turbulence. *Deep Sea Res.*, 19: 183-197.
- Platt T. Et Denman K.L. 1975. Spectral analysis in ecology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 6: 189-210.
- Sournia A. Et Frontier S. 1967. Terminologie des phénomènes liés au temps en écologie. *Bull. Museum Hist. nat. Paris*, 39(5): 1001-1002.

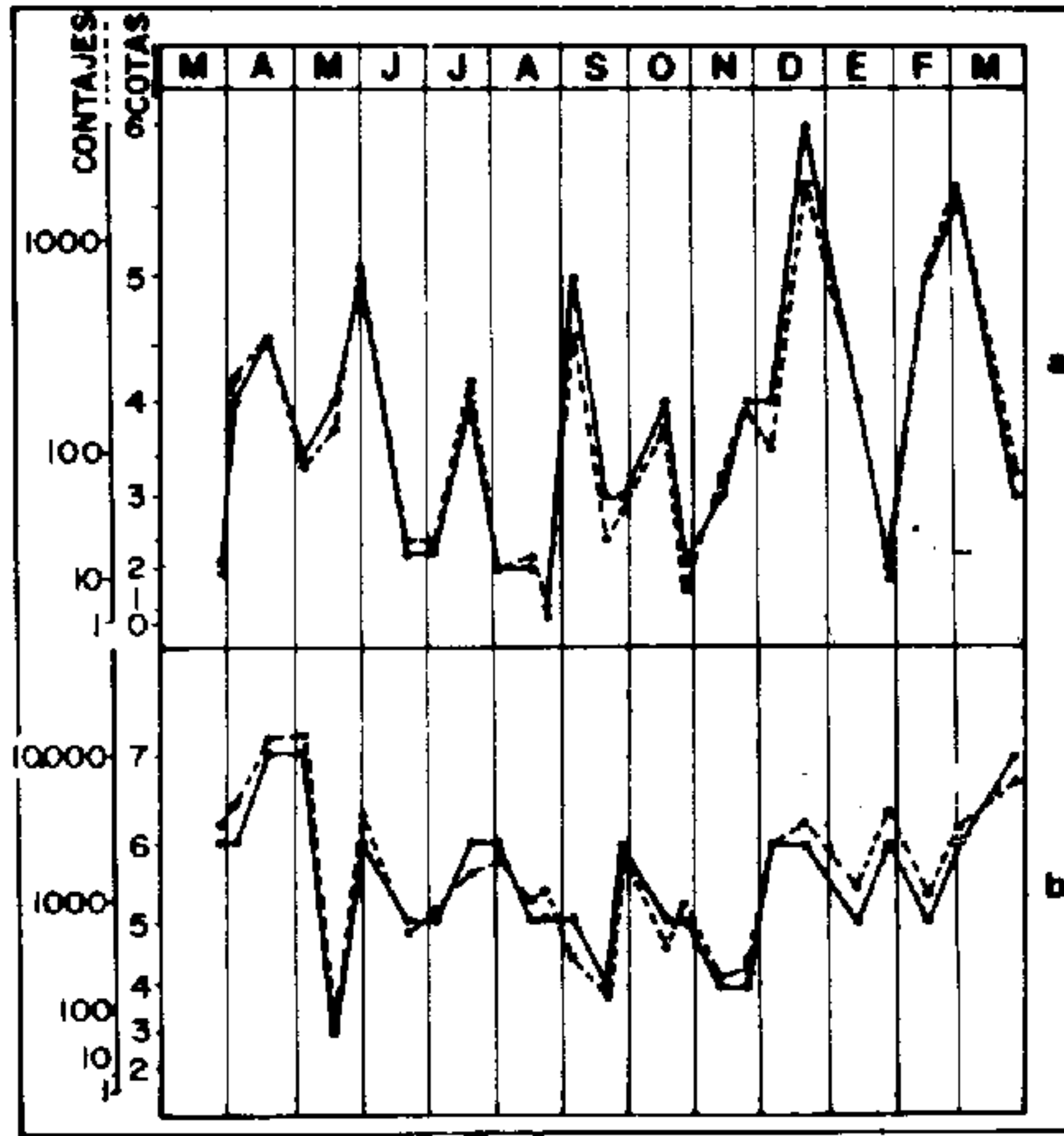


Fig. 1. Comparación de los gráficos obtenidos con contajes exactos (líneas discontinuas) y con clases de abundancia (líneas continuas).
a: Pterópodos; b: Quetognatos. Nosy Be (Madagascar), 1963-64. De FRONTIER, 1966, 1969.

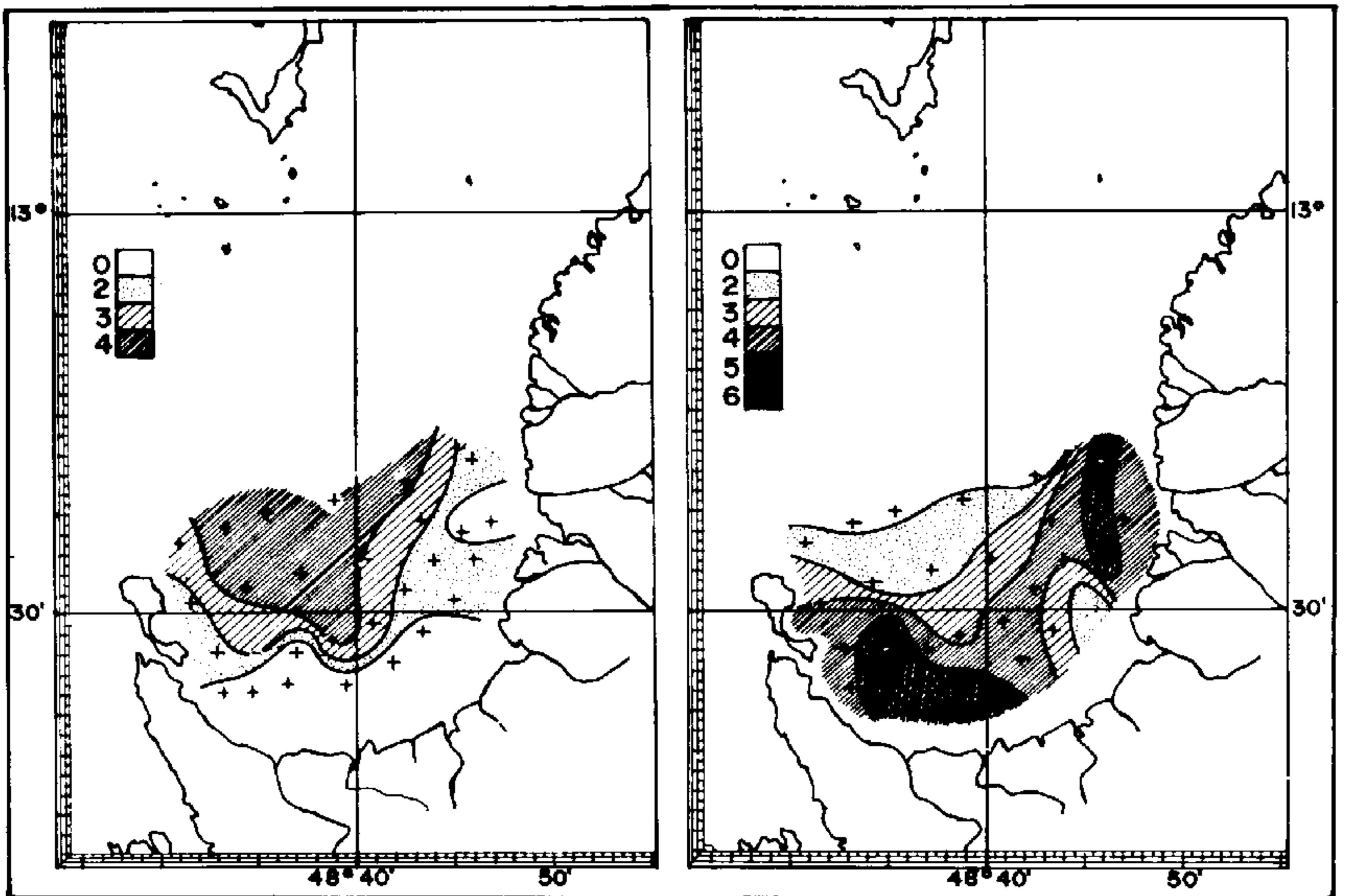


Fig. 2. Mapas de abundancia de dos categorías de organismos en la Bahía de Ambaro (Madagascar), obtenidos por medio de las clases de abundancia logarítmicas.
Izquierda: Calicoforos; derecha: *Penilia avirostris* (Cladocero).
De FRONTIER, 1969.

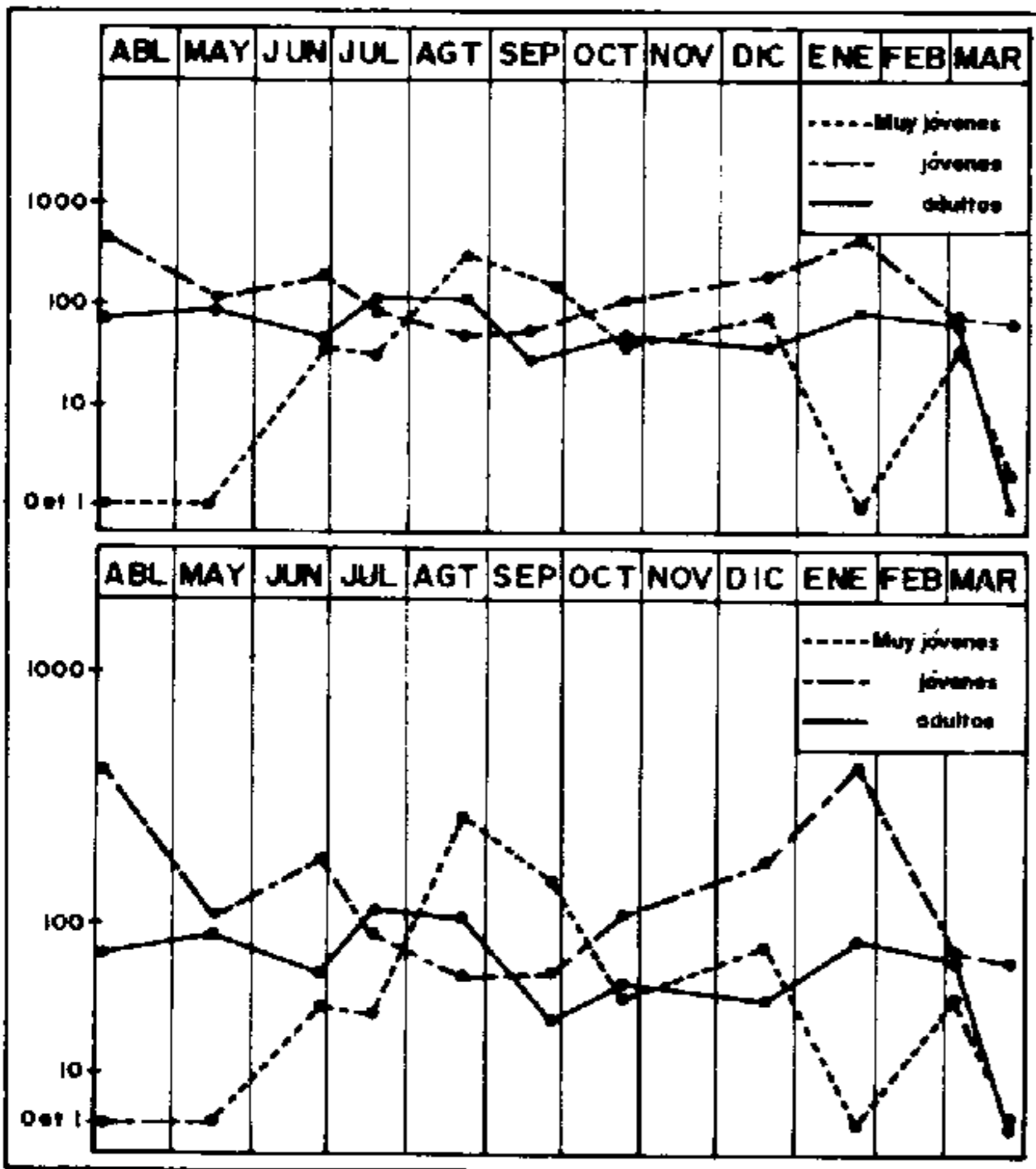


Fig. 3. Variaciones estacionales de abundancia de *Limacina inflata* cerca de Nosy Be (Madagascar), 1963-64, puestas en métrica log. (arriba) y en métrica \log^2 (abajo). De FRONTIER, 1966.

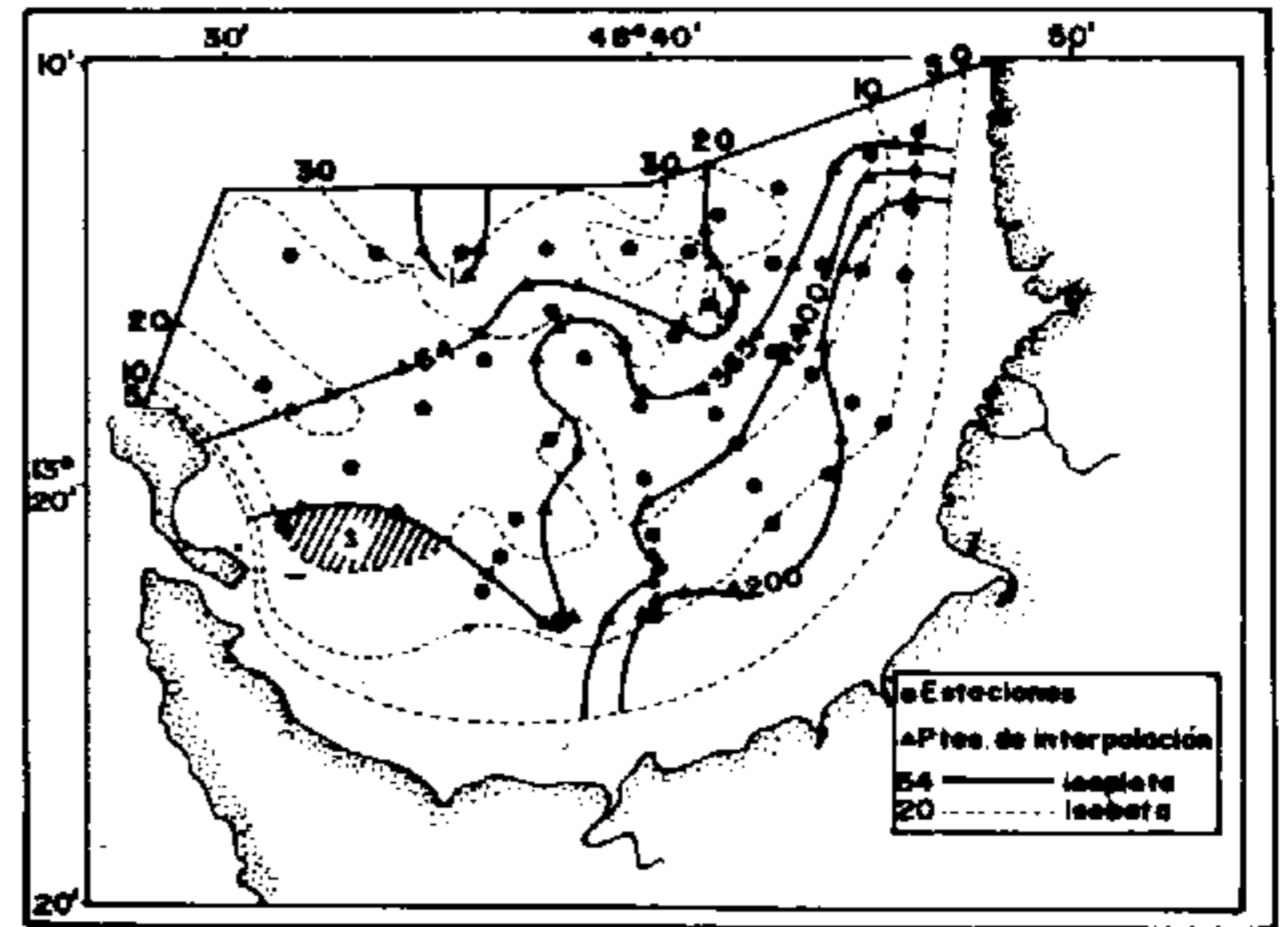


Fig. 4. Ejemplo de construcción de un mapa de abundancia. Intersección entre el conjunto de isople-tas (líneas continuas) y el conjunto de isobatas (líneas discontinuas). S= área cerrada de una misma profundidad me-dia y de una misma densidad planctónica media. De FRONTIER, 1973 b.

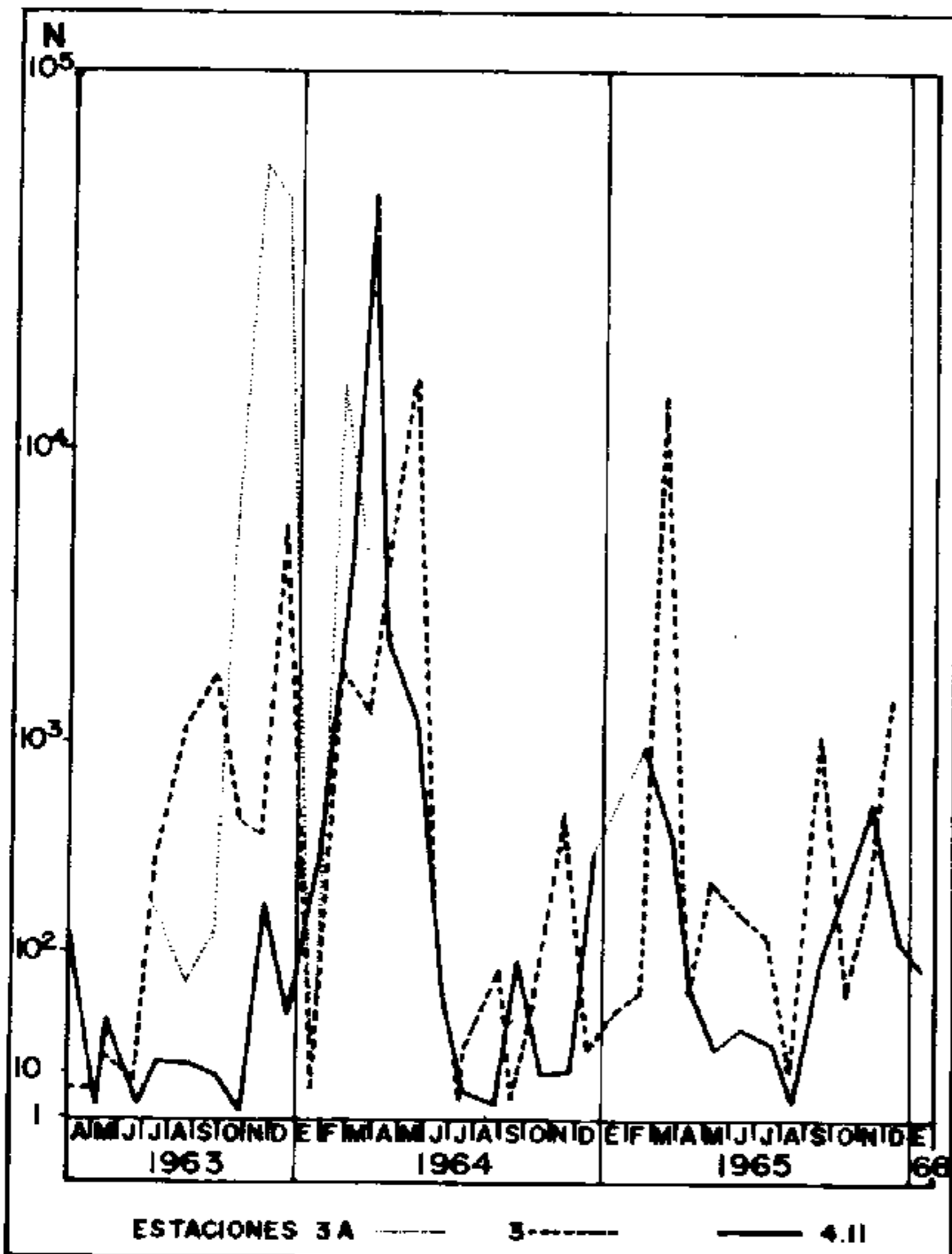


Fig. 5. Variaciones de abundancia de *Creseis acicu-la* en tres estaciones cerca de Nosy Be (Ma-dagascar). De FRONTIER, 1973 a.

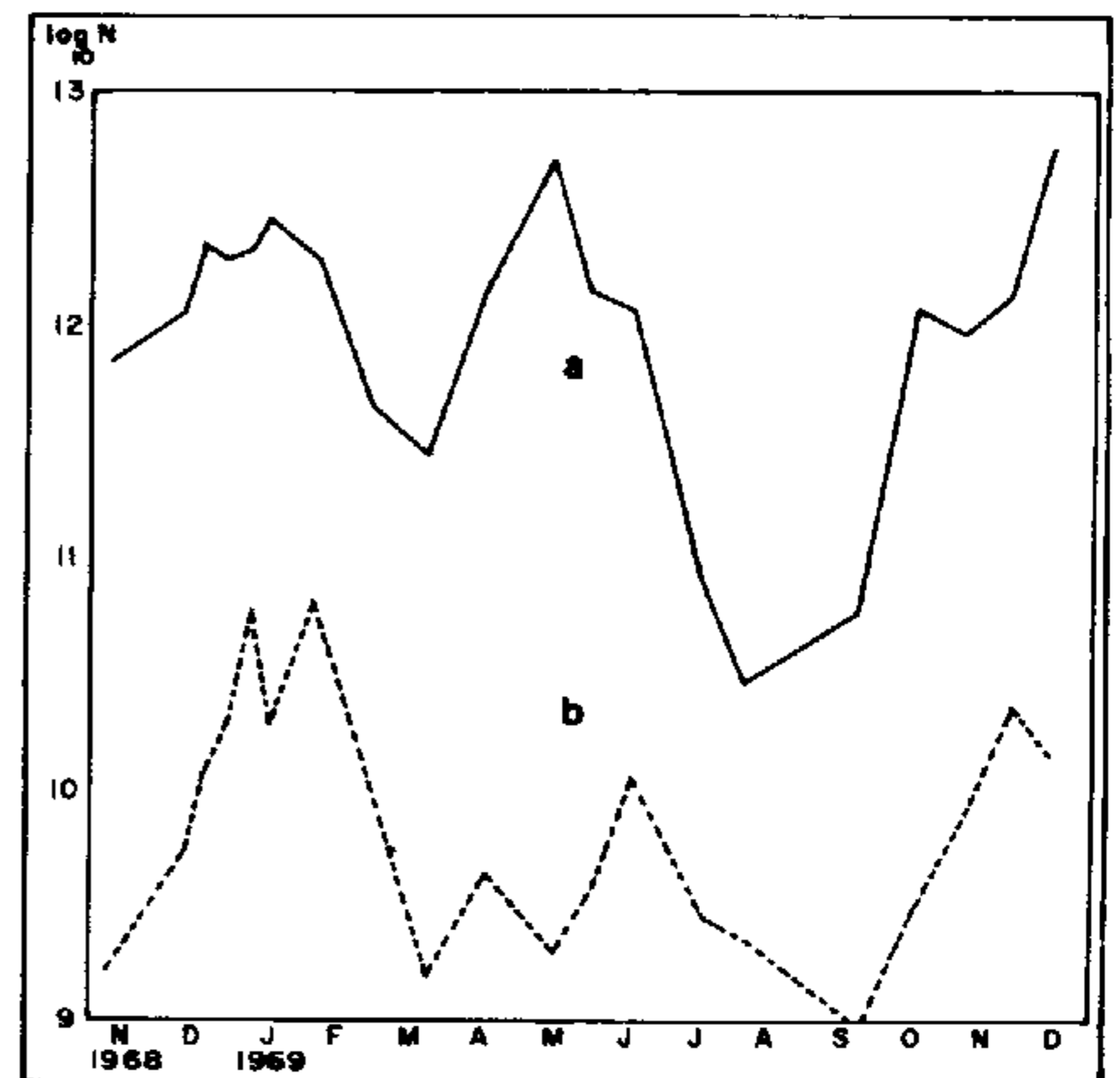


Fig. 6. Variaciones de abundancia de *Creseis acicu-la* y de *Pneumodermopsis sp.* en la Bahía de Ambaro (Madagascar), después de una cartografía y una planimetría según el méto-do explicado en el texto. La segunda espe-cie es carnívora y se alimenta de la primera. De FRONTIER, 1973 b, d.