

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 2	AÑO 1970

05.70.37

R.S.
19/38**NO SE PRESTA**

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROTECCION

CLIMATOGRAFIA DE LA ZONA DE "LOS MOLINOS" (PROVINCIA DE CORDOBA)

Nicolás MAZZEO
Carlos H. MÜLLER
Roberto M. MICHELONI
Miguel VANDER ELST

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROTECCION

CLIMATOLOGIA DE LA ZONA DE "LOS MOLINOS" (PROVINCIA DE CORDOBA) (*)

Nicolás MAZZEO
Carlos H. MÜLLER
Roberto N. MICHELONI
Miguel VANDER ELST

(*) Trabajo presentado en el Primer Congreso Argentino de Meteorología -
Buenos Aires 1970.

R E S U M E N

El conocimiento de la meteorología de una zona se relaciona con la industria nuclear en las siguientes etapas:

- 1) Elección del emplazamiento de una central nuclear.
- 2) Adaptación de su diseño y construcción.
- 3) Operaciones de eliminación de residuos radiactivos y gaseosos.
- 4) Planificación y acción en circunstancias de emergencia.

El estudio climatográfico de la zona de Los Molinos (Prov. de Córdoba) se realizó en base a la información proveniente de la Estación Meteorológica C.N.E.A. ubicada en esa región.

Se estudiaron las distribuciones de velocidad y dirección de viento, la precipitación, la humedad atmosférica y la temperatura ambiente de la zona durante el período 1968-1969.

Se incluyen gráficos relacionados con las variaciones horarias, diarias, mensuales y estacionales de las variables meteorológicas antedichas.

El período de registro (aproximadamente dos años) permitió obtener resultados preliminares válidos para los fines perseguidos. Sin embargo, se estima que un período de tres a cinco años es conveniente para lograr que la información adquiera mayor solidez estadística.

CLIMATOLOGIA DE LA ZONA DE "LOS MOLINOS" (PROVINCIA DE CORDOBA).

1. INTRODUCCION

La experiencia acumulada hasta el presente en lo que se refiere a la instalación de reactores nucleares muestra que, tanto durante las etapas previas de diseño y construcción como durante las posteriores de puesta en marcha y funcionamiento es conveniente realizar diferentes estudios meteorológicos de la zona de la instalación.

En las etapas previas mencionadas, el objeto de la observación meteorológica es cuantificar parámetros generales del clima local, tales como dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa ambiente y precipitación pluvial; esta información es utilizada en la evaluación de estructuras y en la planificación de la construcción de la central. En este caso la información necesaria se obtiene por medio de instrumental meteorológico convencional.

En las etapas posteriores es necesario además analizar en detalle parámetros meteorológicos estrechamente ligados al sitio de la instalación, tales como los perfiles verticales de viento y de temperatura, la nubosidad y la intensidad de la radiación solar. La información, entonces, es utilizada para planificar y controlar la descarga de residuos radiactivos gaseosos al ambiente y para evaluar el impacto de eventuales situaciones de emergencia originadas por accidentes hipotéticos. Estos estudios requieren la instalación de instrumental más específico, general-

mente de gran sensibilidad y precisión, y por ende más oneroso.

Con motivo del Estudio de Preinversión para una Central Nuclear en la Provincia de Córdoba (1) se instaló una estación meteorológica en la Zona del Embalse Los Molinos en vista de la posible construcción de una central Nuclear. El criterio seguido en su instalación tuvo en cuenta los siguientes puntos:

- a) Necesidad de obtener información completa de los parámetros generales del clima local en relación a las etapas previas de diseño y construcción de la central.
- b) Necesidad de obtener información primaria para la planificación de la descarga de residuos gaseosos al ambiente y la evaluación de situaciones accidentales hipotéticas.
- c) Sencillez operativa, economía y versatilidad de la instalación debido al hecho de no tener decisión en firme respecto del tipo de central a instalarse, a la gran distancia entre la zona estudiada y el centro de procesamiento de los datos obtenidos y a las condiciones demográficas particulares de la zona.

El presente estudio resume los resultados de las observaciones realizadas al cabo de los dos primeros años de funcionamiento de la estación y ofrece algunas consideraciones sobre su desarrollo futuro en caso de confirmarse la instalación de la cen-

tral nuclear.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

Para responder al criterio de instalación mencionado se seleccionaron los parámetros meteorológicos a medir, en base a distintas consideraciones sobre la evacuación de residuos radioactivos gaseosos a la atmósfera y su mecanismo de transporte, dispersión y depósito.

Desde el punto de vista radiosanitario, se entiende que en condiciones normales de funcionamiento de una central nuclear y para pequeños incidentes, las descargas de efluentes radioactivos gaseosos son "seguras", es decir son respetadas las normas básicas de protección radiológica preestablecidas. Generalmente esto se consigue inyectando el material radioactivo a dispersar en la atmósfera desde chimeneas suficientemente altas, con lo que se puede lograr que al nivel del suelo la incorporación anual media de radionucleidos en el público sea inferior al límite recomendado por la autoridad competente. No obstante, la atmósfera presenta una cantidad casi infinita de estados físicos instantáneos y por lo tanto puede ocurrir que en ciertas épocas del año o en determinados momentos del día la configuración y los movimientos del aire no permitan una dispersión eficaz de los aerosoles contaminantes. Por este motivo la planificación de la descarga de efluentes radioactivos gaseosos a la atmósfera exige el estudio y medición continuos de variables meteorológicas con el fin de regular adecuadamente la operación.

Debido a estudios teóricos y experimentales realizados por diversos autores (2) (3) (4) (5) se dispone de modelos físicos que permiten apreciar los procesos que involucran el transporte, la difusión y el depósito de aerosoles inyectados a la atmósfera. Para poder aplicar estos métodos es necesario, ante todo, conocer los valores numéricos de ciertas propiedades atmosféricas de modo que puedan introducirse en las ecuaciones que permiten evaluar aproximadamente las concentraciones en aire, la deposición de material radioactivo sobre el terreno y sus posteriores consecuencias.

Suponiendo que los aerosoles se mueven en el aire, es necesario conocer los valores de la dirección y velocidad del viento de una zona determinada en base a una serie de observaciones. Estos valores se representan de un modo completo por medio de las rosas de frecuencias o de viento que sirven para determinar la probabilidad que el material radiactivo liberado sea transportado en las diferentes direcciones.

La dilución de los aerosoles en la atmósfera se debe casi exclusivamente al movimiento turbulento del aire, cuyo origen es mecánico y térmico. La corriente del aire en la zona inferior de la atmósfera se parece en muchos aspectos al movimiento turbulento de un fluido en tubos rectos y largos, aunque en la atmósfera el proceso es más complejo pues la capacidad de difusión del aire está influida por la variación de la temperatura con la altura, llamada gradiente térmico vertical.

Este gradiente es una medida del grado de estabilidad de la atmósfera. (2) (4). Por esa razón resulta necesario instalar en los alrededores de los reactores nucleares instrumentación especial destinada a medir la variación vertical de la temperatura. Si las circunstancias no hacen posible dicha medición, se puede estimar indirectamente conociendo la intensidad de la radiación solar, la nubosidad, la temperatura del aire y la dirección del viento.

En base a estas consideraciones y al punto c) del criterio mencionado en la sección anterior, se decidió que la instalación debía incluir sensores destinados a la medición de dirección y velocidad del viento, temperatura y humedad del aire, y precipitación pluvial. Se considera que esta información es suficiente para cubrir el asesoramiento en las etapas previas de construcción de la central y para servir de base en lo referente a la evaluación de la descarga de residuos radioactivos y de situaciones accidentales hipotéticas.

3. DESCRIPCION DEL SITIO

La zona donde eventualmente se instalaría la Central Nuclear (Península "El Panqueque") es la terminación del extremo S.O. de la parte occidental de la Sierra de Tala (Sierra Chica de Córdoba). Su altura aproximada es de 760 m sobre el nivel del mar. Se encuentra ubicada en el denominado "Valle de los Reartes", que en su máxima depresión alberga al embalse "Los Molinos" . (1) (Fig. 1)

No se pueden emplear las extrapolaciones de los datos de las estaciones meteorológicas circundantes por las características orográficas e hidrológicas de la zona y porque no existe un estudio climatológico previo. Debido a ello, el funcionamiento de la estación meteorológica CNEA "Los Molinos" constituye un aporte fundamental para el estudio de las condiciones atmosféricas locales de la Zona del Embalse Los Molinos.

4. CLIMATOLOGRAFIA

4.1. Datos

La estación meteorológica CNEA "Los Molinos" provee información de la temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, humedad relativa ambiente y precipitación pluvial a las alturas convencionales requeridas por la Organización Meteorológica Mundial (6). Para su mejor desarrollo, se dividió el estudio climatológico en diversos puntos relacionados con los distintos parámetros meteorológicos. El período de registro (aproximadamente dos años) permitió obtener resultados preliminares válidos para los fines perseguidos. Sin embargo, se estima que un período de tres a cinco años es conveniente para lograr que la información adquiriera mayor solidez estadística (7).

4.2. Temperatura del aire

El sensor de medición de la temperatura del aire se encuentra ubicado a una altura de 1.50 m del suelo y consiste en una resistencia de níquel, que forma parte de una de las ra

mas de un puente de Wheastone, balanceado alrededor de los 21°C. Cualquier variación de la temperatura hará que el puente se desequilibre, permitiendo que circule corriente por el instrumento registrador (10). Los valores medio (\bar{T}), máximos (T_{max}), mínimos (T_{min}), máximos y mínimos medios (\bar{T}_{max} y \bar{T}_{min}) mensuales de la temperatura están graficados en la figura 2.

Los valores promedio y extremos de la temperatura durante el período 1968/69 fueron los siguientes:

Temperatura media: 16°C
Temperatura máxima: 38°C
Temperatura mínima: 0°C

En las figuras 3,4,5,6 y 7 están representadas respectivamente las temperaturas horarias medias para las diferentes estaciones del año y las correspondientes a ese período. En las figuras se observan también las variaciones de la velocidad horaria media del viento y la humedad relativa horaria media. Se nota la correlación existente entre los valores de la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa.

En la figura 8 se graficó la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas mensuales (Amplitud térmica ΔT). Se observa que el valor máximo corresponde al mes de octubre con $\Delta T = 32^\circ\text{C}$ y el mínimo al mes de diciembre con $\Delta T = 18^\circ\text{C}$. La diferencia entre las temperaturas extremas durante el período 1968/69 fué de 38°C.

4.3. Viento

Las mediciones de velocidad y dirección del viento se realizan a 10 m de altura sobre el terreno. El instrumento que se utiliza para medir la velocidad del viento es un anemómetro de tres copelas, al que se le anexó un sistema fotoeléctrico con el objeto de reducir el valor de su umbral por debajo de 0.5 m/s. La veleta utilizada es de las denominadas de "copa simple" y su umbral es similar al del anemómetro (10).

El flujo del aire en la zona de "Los Molinos" se encuentra perturbado por los accidentes topográficos. El aire circula, canalizándose entre las montañas. Por lo tanto la orientación del sistema orográfico desempeña un rol muy importante en la predominancia de las direcciones del viento.

Otro aspecto, aunque menos influyente, que modifica el esquema de la circulación general de la atmósfera en esta región es el efecto de la brisa del lago. Es posible notar en los meses de verano este fenómeno, análogo al de la brisa de mar-tierra (8).

También es de esperar que las tormentas, frecuentes en verano, alteren esta configuración. Por lo tanto, en los meses estivales es probable la ocurrencia de vientos de cualquier dirección.

4.3.1. Dirección del viento

Las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 representan las rosas de viento para cada estación y la correspondiente al período 1968-1969. Las rosas de viento representan la frecuencia, en porcentaje, de dieciséis direcciones de viento (una dirección cada 22.5°) para intervalos de velocidades seleccionadas y períodos de calma.

De estos gráficos es posible deducir:

- a) Existe el efecto de canalización del aire, mencionado anteriormente, que determina que las direcciones de viento más frecuentes sean: NE-ENE y SO-SSO.
- b) Las menores frecuencias corresponden a las direcciones NO-ONO.
- c) Alta frecuencia de calmas en invierno.
- d) Velocidades muy altas para vientos del NE-ENE.
- e) Alta frecuencia de calmas durante la noche en los meses correspondientes a otoño e invierno. (Fig.14)

4.3.2. Velocidad del viento

Las velocidades media y máxima mensuales es-

tán representadas en la figura 15. Se observa, en la figura 16, que existe una mayor frecuencia de velocidades mensuales medias ≥ 3 m/s en verano coincidentemente con el desarrollo de las tormentas tropicales.

La velocidad media para el período 1968-1969 es 2.8 m/s. Las figuras 3,4,5,6 y 7 muestran las velocidades horarias medias del viento. Se nota que las velocidades más altas se registran en horas del mediodía durante el período de mayor temperatura.

4.4. Humedad atmosférica

El aparato que registra directamente la humedad relativa atmosférica es un higrógrafo cuyo elemento sensible consiste en un haz de cabellos cuya longitud varía según el estado higrométrico de la atmósfera.

En las figuras 3,4,5,6 y 7 se graficó la variación de la humedad relativa horaria media para cada estación y para el período 1968-1969. Se nota que el valor más alto de la humedad relativa media, que ocurre en invierno, coincide con el valor más bajo de la temperatura media.

Dado que la lluvia no es el factor más importante en el incremento de la humedad atmosférica, puesto que el invierno es la estación menos lluviosa (Fig. 18), se deduce que la disminución de la temperatura es la causa primordial del aumen-

to de la humedad relativa atmosférica (Figuras 2 y 17).

4.5. Precipitación pluvial.

El pluviógrafo utilizado para la medición de la lluvia caída es de tipo standard a "cangilones" con transmisión mecánica y registrador.

En la figura 18 se observa que existe una marcada variación estacional de la precipitación. Como consecuencia de las masas de aire tropical e inestable que se desplazan sobre la zona durante la primavera y verano, los meses más lluviosos son noviembre y diciembre, y los días con precipitación son más frecuentes en estos meses (Fig. 18).

La distribución horaria de la precipitación para cada estación y el período 1968-1969 está representada en la figura 19. Se observa que en primavera la precipitación es mayor durante la noche mientras que en verano la distribución es inversa. La precipitación anual media de este período es de 500 mm.

El estudio de las precipitaciones intensas es primordial para los proyectos de construcciones, entre otras aplicaciones (9). En la figura 20 están representadas las curvas de intensidad-duración de la precipitación para diferentes frecuencias (n = frecuencia anual o "expectancia" de una lluvia). La representación de las curvas cantidad de lluvia caída - duración de la precipitación para distintas frecuencias se encuentra en la fi-

gura 21.

Los siguientes ejemplos ayudarán a interpretar los gráficos mencionados anteriormente.

a) Cúal será la expectancia de una lluvia de intensidad = 0.4 mm/min y de duración = 60 minutos?
Del gráfico 20 se obtiene n : 1 o sea una vez cada año.

b) Cúal será la cantidad esperada de lluvia para una precipitación que ocurra 1 vez cada 6 meses y tenga una duración de 100 minutos?
Usando el gráfico 21 se encuentra el valor de 18.5 mm.

4.6. Turbulencia

Los registros de los anemómetros y de las veletas demuestran, en general y especialmente, que en las capas más bajas de la atmósfera el movimiento del aire es muy turbulento oscilando en períodos que varían desde una fracción de segundo hasta varios minutos y con amplitudes que son una parte importante del valor medio de la variable. Los remolinos, que dan lugar a las variaciones de los parámetros meteorológicos, tienen dimensiones diversas y su eficacia difusora de aerosoles depende de su tamaño. Por ejemplo un volumen de aire contaminado puede ser transportado en bloque por un remolino de grandes proporciones, en cambio un remolino pequeño deshilaría dicho volumen en proporciones menores que se

repartirán en toda la masa de aire. La turbulencia es un estado característico de las capas inferiores de la atmósfera y su estimación cualitativa o cuantitativa se puede realizar mediante la determinación de diversos coeficientes vinculados a variables meteorológicas (3).

En el presente estudio la turbulencia atmosférica fue clasificada en cuatro categorías de acuerdo a la amplitud del trazo (rango) del registro de la veleta. Dichas categorías están relacionadas con las condiciones atmosféricas y el rango de la veleta según el siguiente cuadro:

CLASE	CONDICION ATMOSFERICA	RANGO
A	Gran inestabilidad	$> 90^\circ$
B	Moderada inestabilidad	$45^\circ-90^\circ$
C	Moderada estabilidad	$15^\circ-45^\circ$
D	Gran estabilidad	$0^\circ-15^\circ$

Las frecuencias de las diferentes clases de turbulencia atmosférica horarias para cada estación y para el período 1968-1969 están representadas en las figuras 22, 23, 24, 25 y 26. Se deduce que prevalece la inestabilidad atmosférica en verano y la estabilidad en invierno.

5. CONCLUSIONES

La estación meteorológica "Los Molinos" suministró, al cabo de los dos primeros años de funcionamiento información meteorológica necesaria para las etapas previas de construcción de una central nuclear en la zona del Embalse Los Molinos. La estación proporcionó además información de base para la planificación de la descarga de residuos radioactivos gaseosos y la evaluación de situaciones accidentales hipotéticas. Debe puntualizarse que, si bien los resultados resumidos en este estudio presentan una idea general de las características climáticas de la zona, el período de registro es demasiado corto para darles solidez estadística. Se estima que el funcionamiento de la estación debería prolongarse durante tres años más para lograr mayor firmeza en los resultados obtenidos hasta el presente.

La decisión de efectuar la instalación de la Central Nuclear debería ser acompañada por un desarrollo adicional de las instalaciones actuales a fin de obtener una información micrometeorológica más detallada, en particular en lo referente a la determinación de los gradientes verticales de velocidad de viento y de temperatura. Este desarrollo sería imprescindible para fijar los límites operativos de descarga de residuos radioactivos al ambiente y contribuir en la planificación de contramedidas a tomar en el caso de situaciones de emergencia.

BIBLIOGRAFIA

- (1) COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA - Estudio de Pre-inversión Central Nuclear para la Provincia de Córdoba (1968).
- (2) SUTTON, O.G. - Micrometeorology. Mc.Graw - Hill (1953).
- (3) PASQUILL, F. - Atmospheric Diffusion - Van Nostrand (1962).
- (4) UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION - Meteorology and Atomic Energy - U.S.A. (1968).
- (5) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - Application of Meteorology to Safety at Nuclear Plants - Safety Series N° 29. Vienna (1968).
- (6) ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL - Guide des instruments et des observations météorologiques - S.I.P.3 - Ginebra (1963).
- (7) ROSENTAL, N. FEIGE, Y. y SURKES, M. - Meteorological data for the IRR-1 Reactor site during the period November 1960 - December 1961 - IA-916. (1964).
- (8) PETTERSEN, S. - Introducción a la Meteorología - Espasa Calpe - Argentina (1956).
- (9) MARCHETTI, A. - Frecuencia de lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires - Meteoros Año 2. N° 1 - 2 (1952).

- (10) GONZALEZ, A.J.; DÍAZ, E; DUNN, P.C, etc. -"Estación micrometeorológica automática" - XXI Semana de la Ingeniería Electrica y Electrónica - Buenos Aires 1969.

EMBALSE LOS MOLINOS

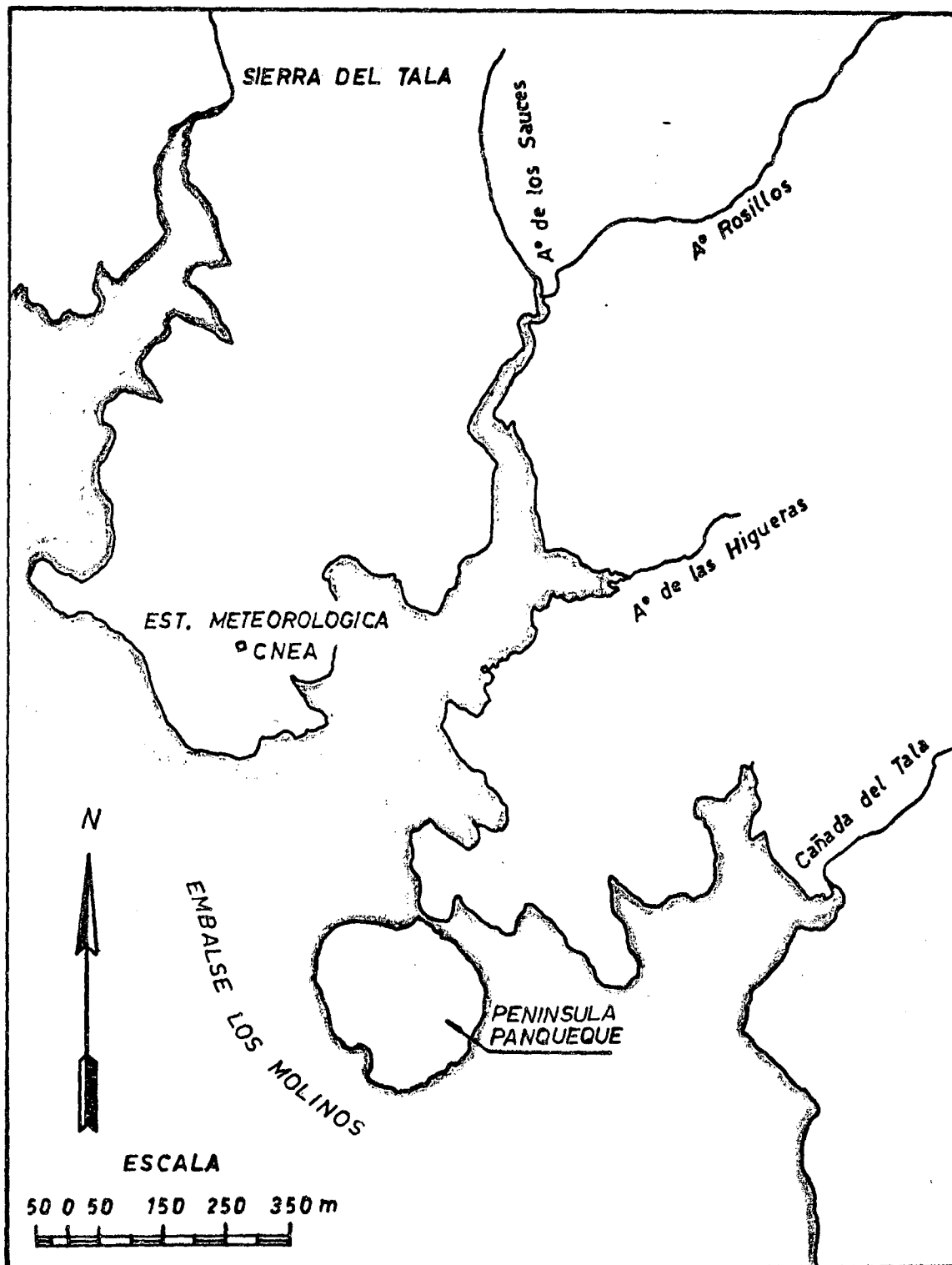


Figura 1

Variación de la Temperatura con los Meses (Período 1968-1969)

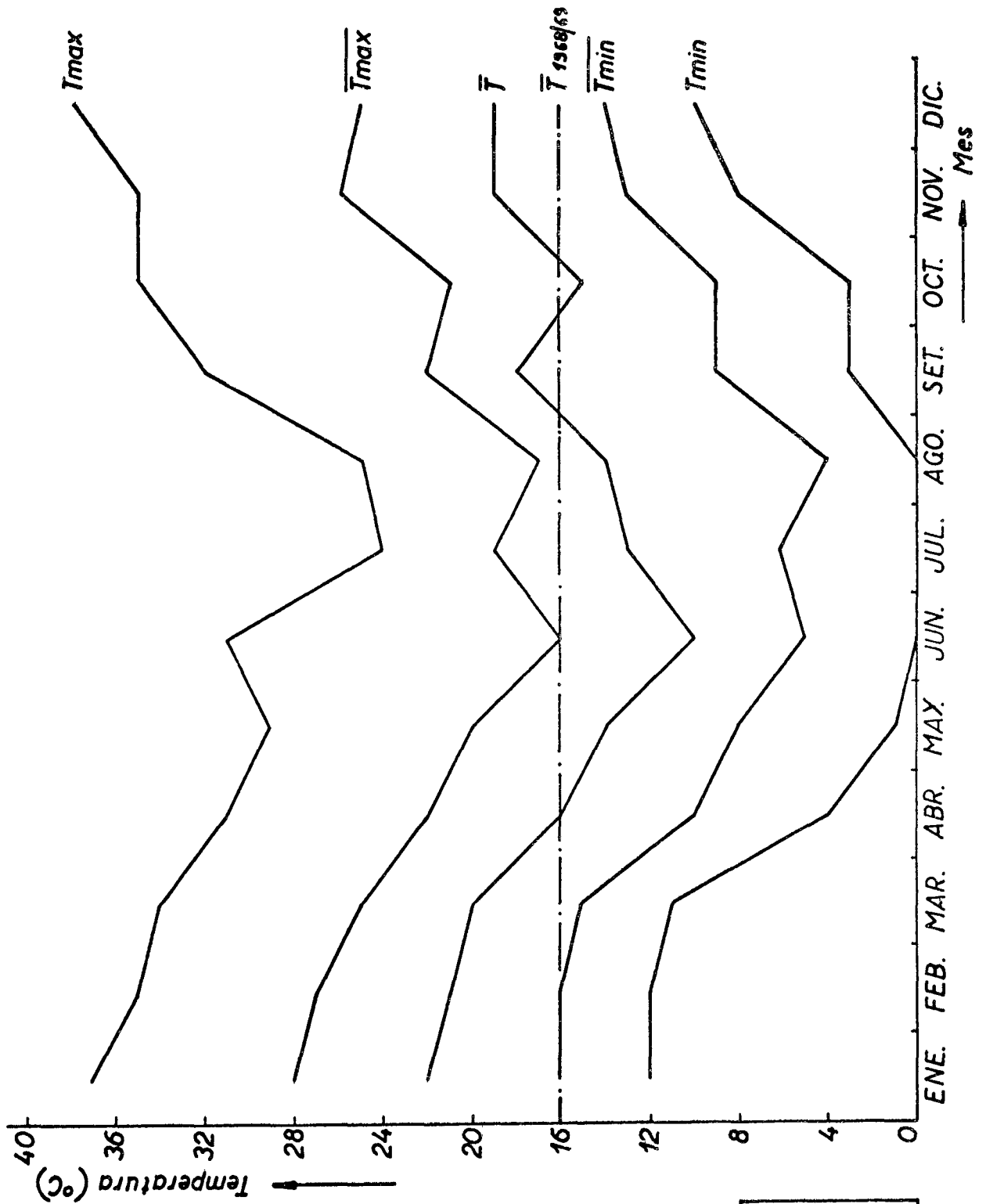


Figura 2

Variación de los Valores Horarios Medios de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento (Verano 1968-1969)

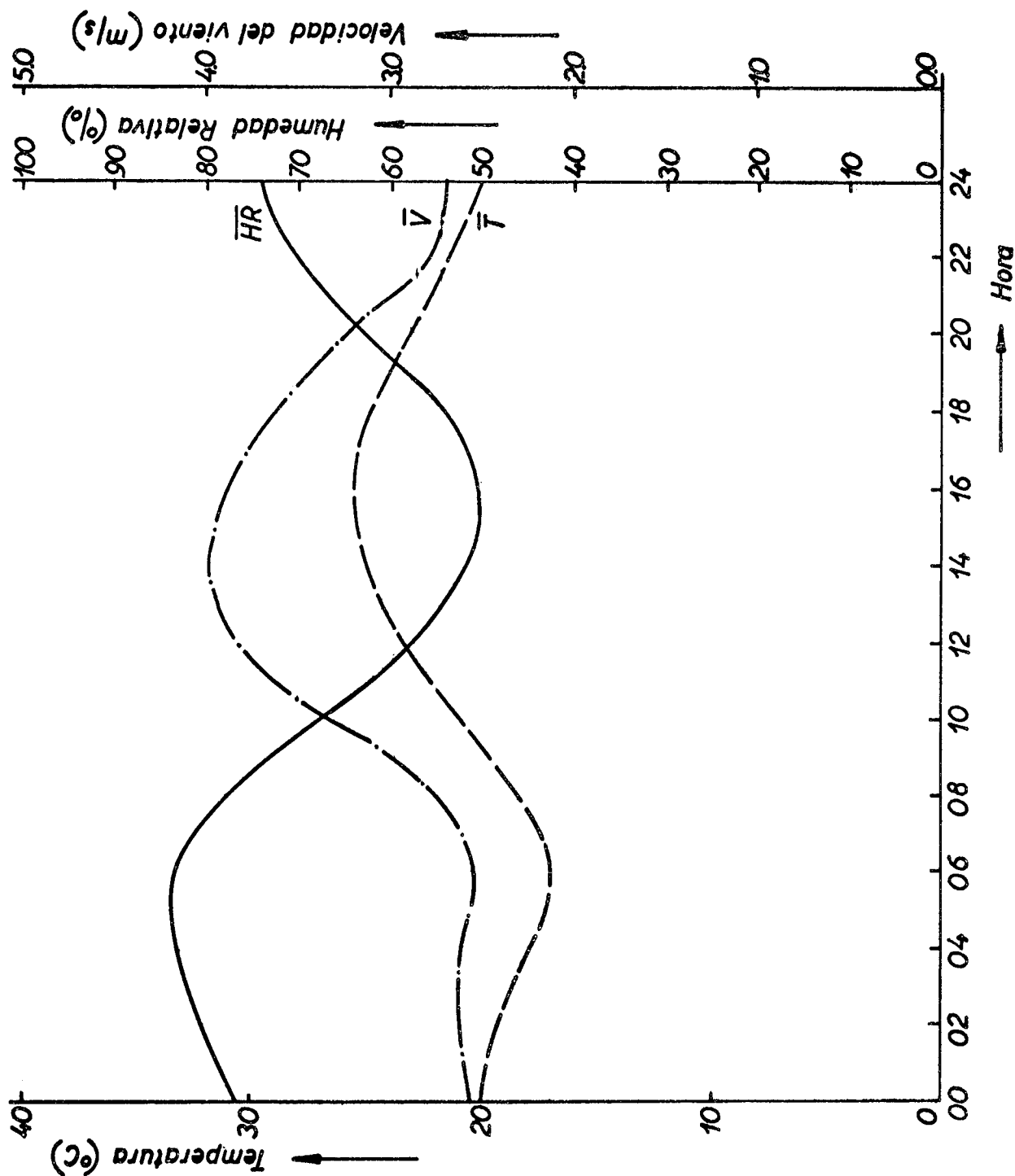


Figura 3

Variación de los Valores Horarios Medios de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento (Otoño 1968-1969)

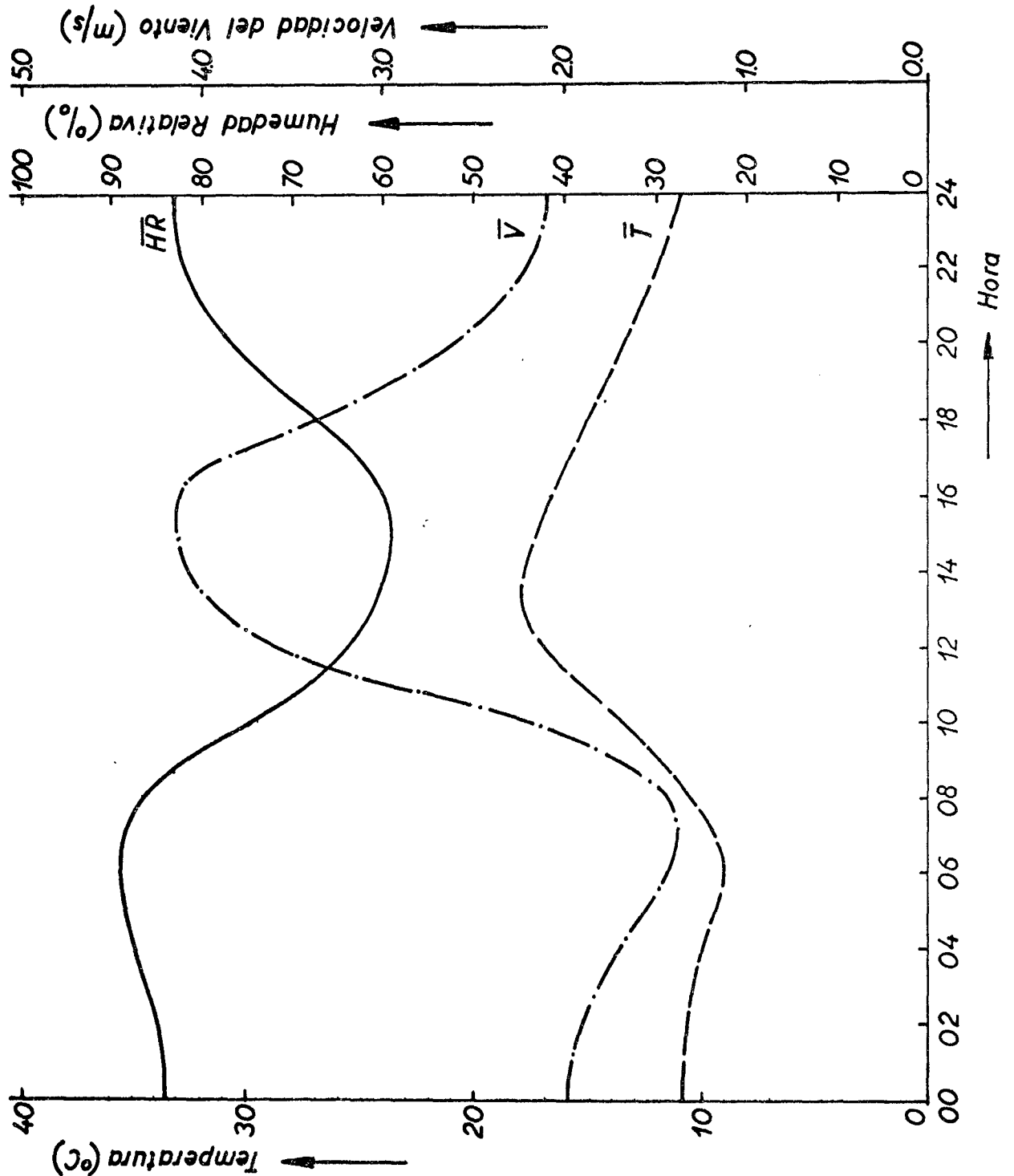


Figura 4

Variación de los Valores Horarios Medios de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento (Invierno 1968-1969)

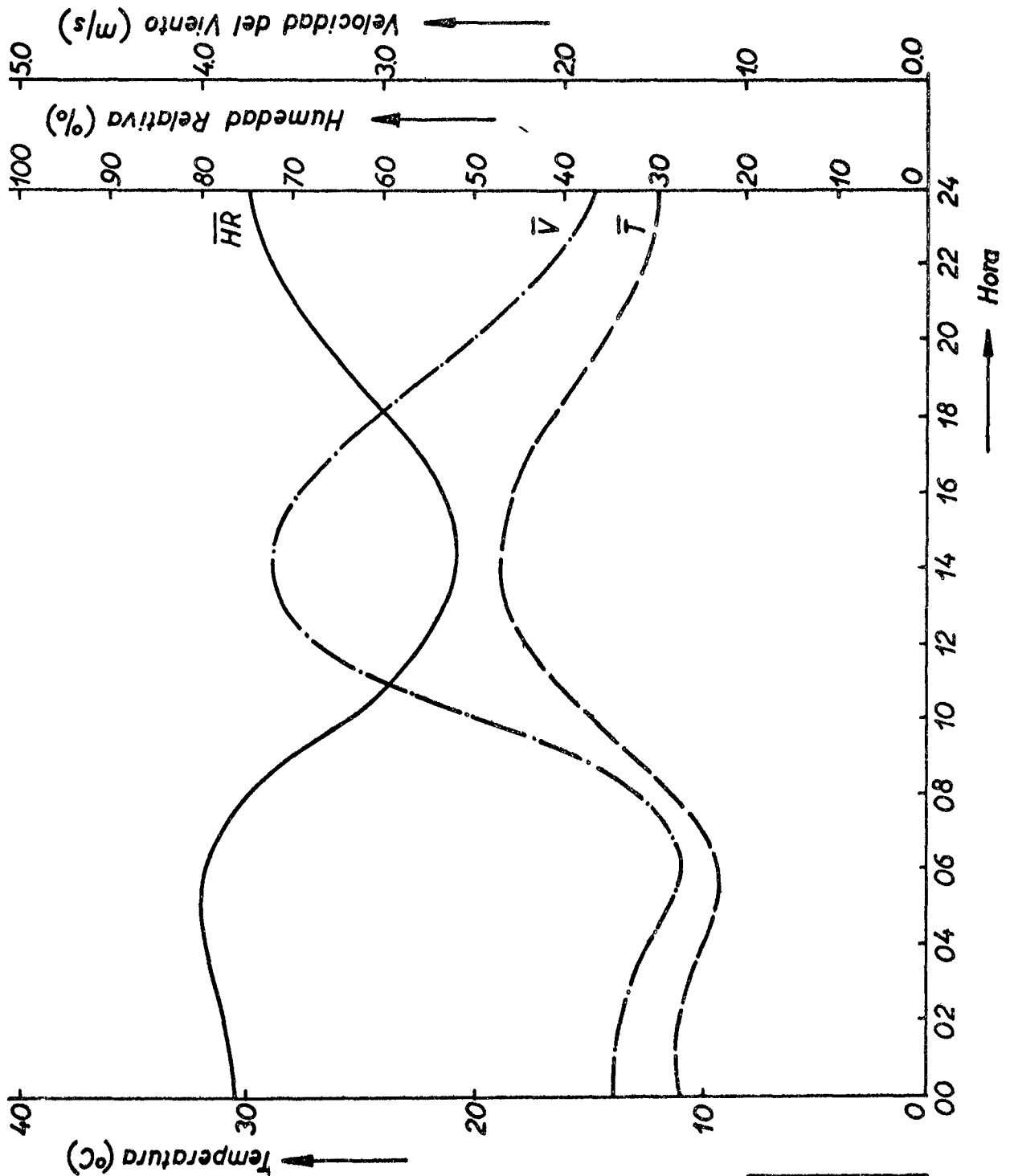


Figura 5

Variación de los Valores Horarios Medios de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento (Primavera 1968-1969)

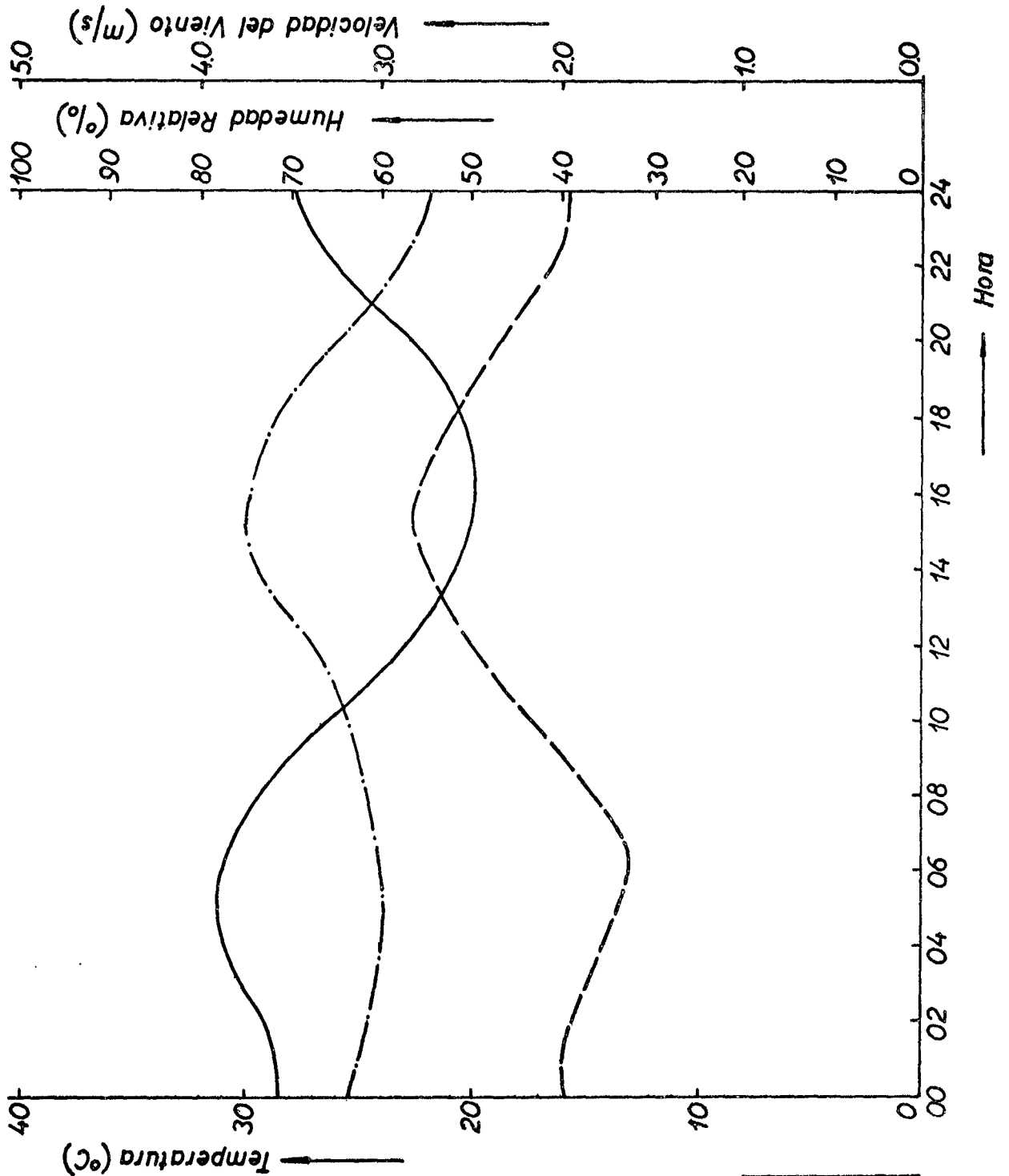


Figura 6

Variación de los Valores Horarios Medios de Temperatura, Humedad Relativa y Velocidad del Viento (Período 1968-1969)

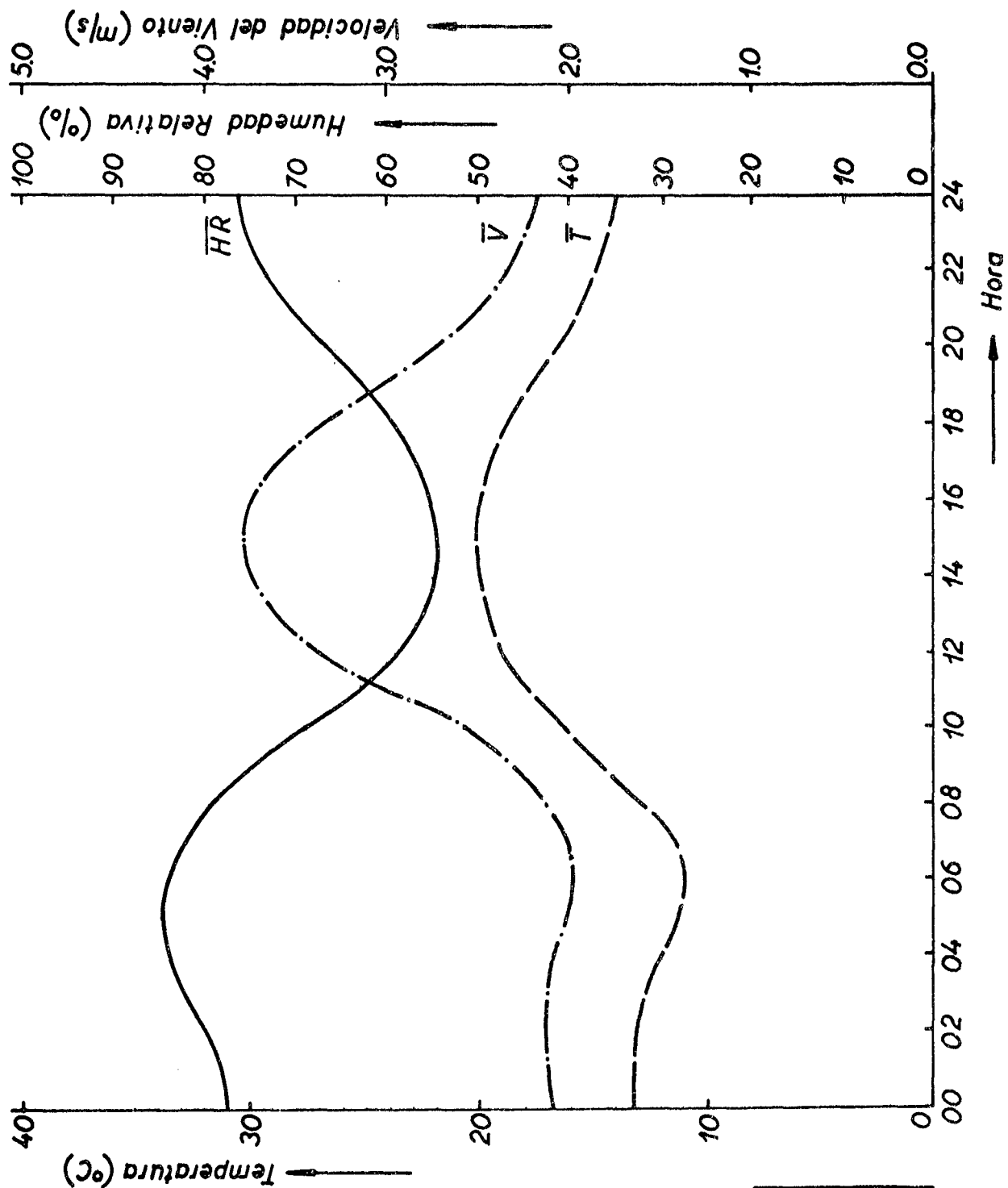


Figura 7

*Diferencia entre las Temperaturas Extremas Mensuales (ΔT) en
Función de los Meses (Período 1968-1969)*

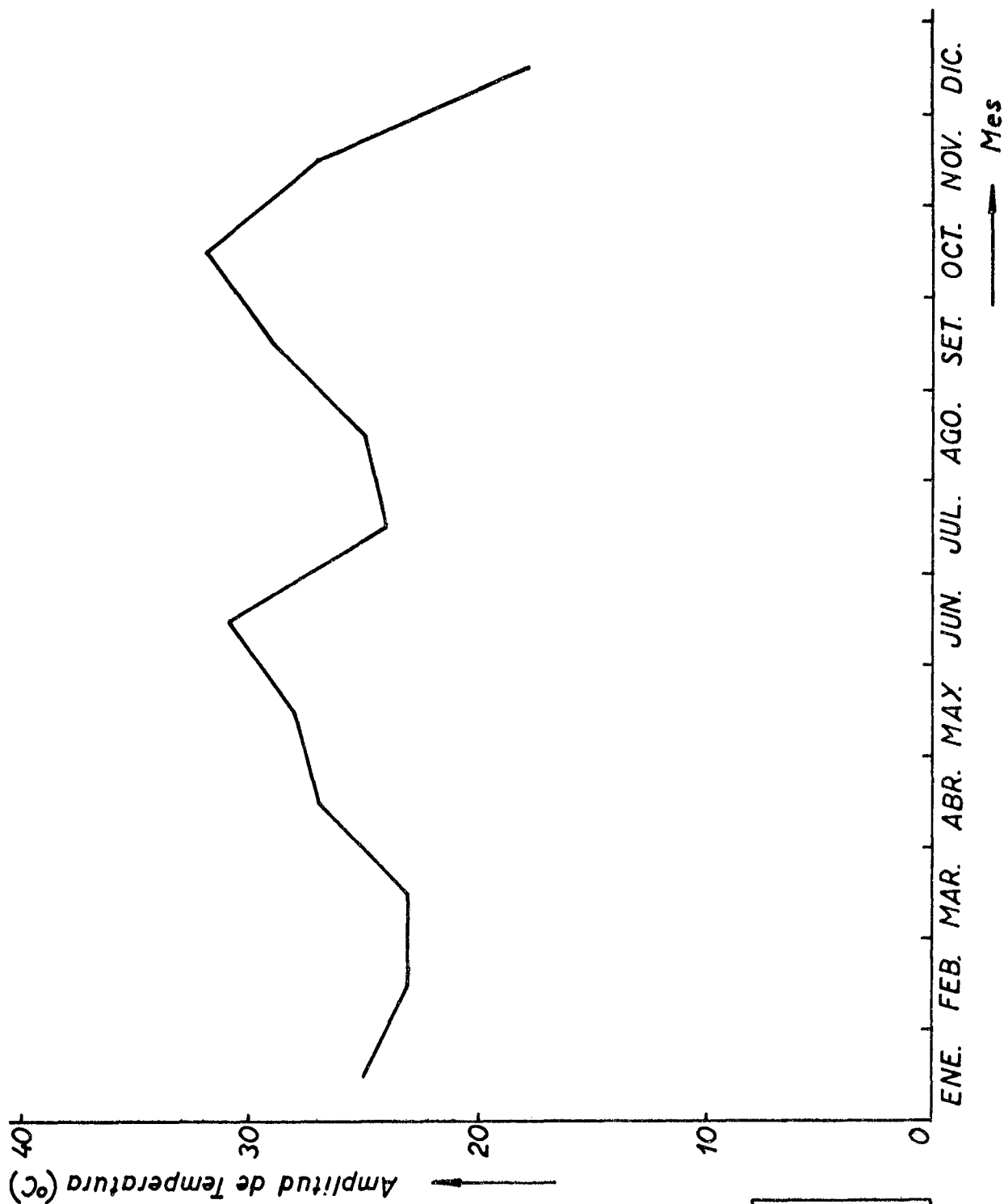


Figura 8

Rosa de Viento
Verano (1968-1969)

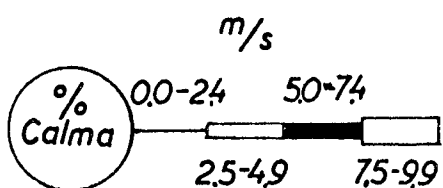
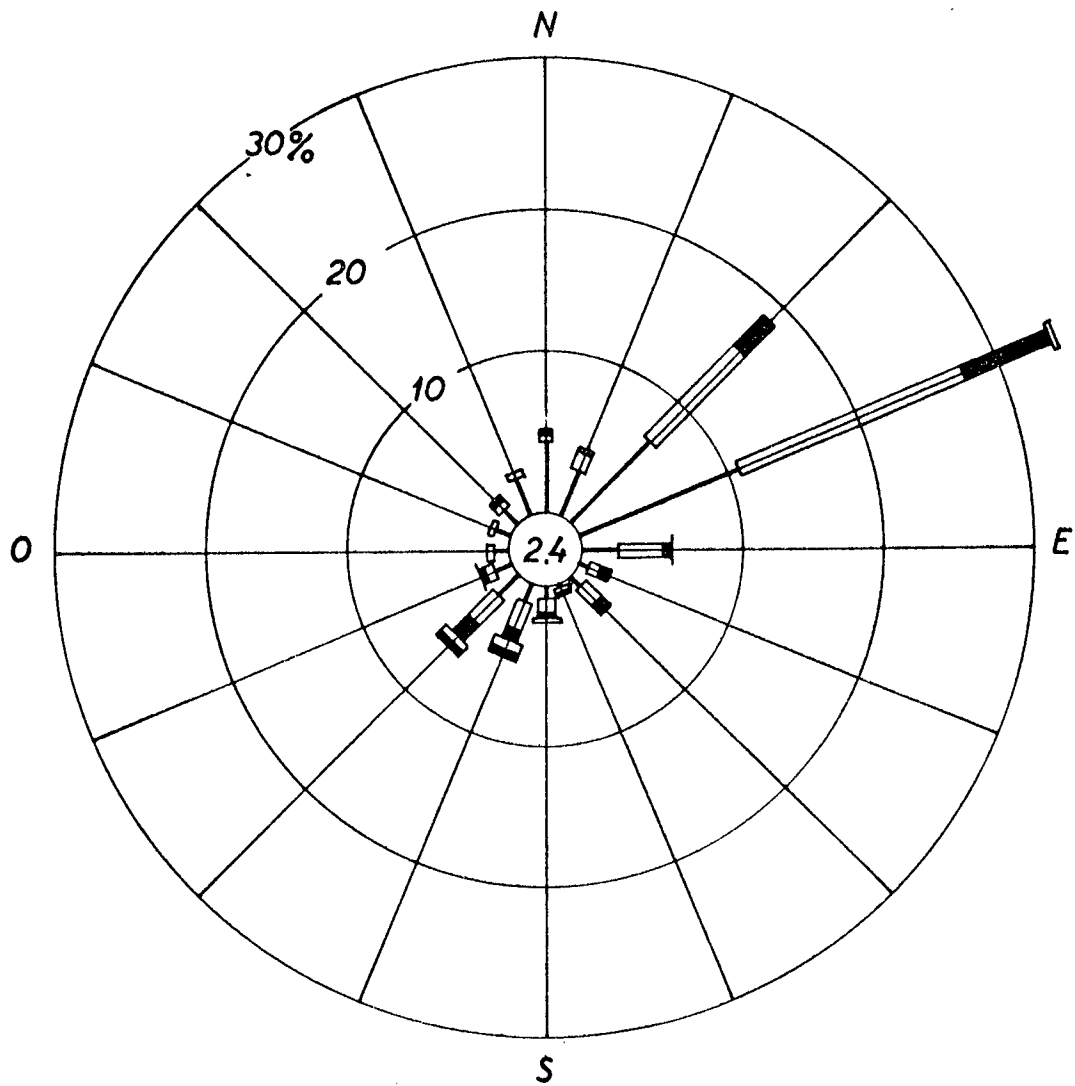


Figura 9

Rosa de Viento
(Otoño 1968-1969)

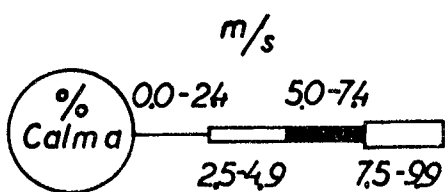
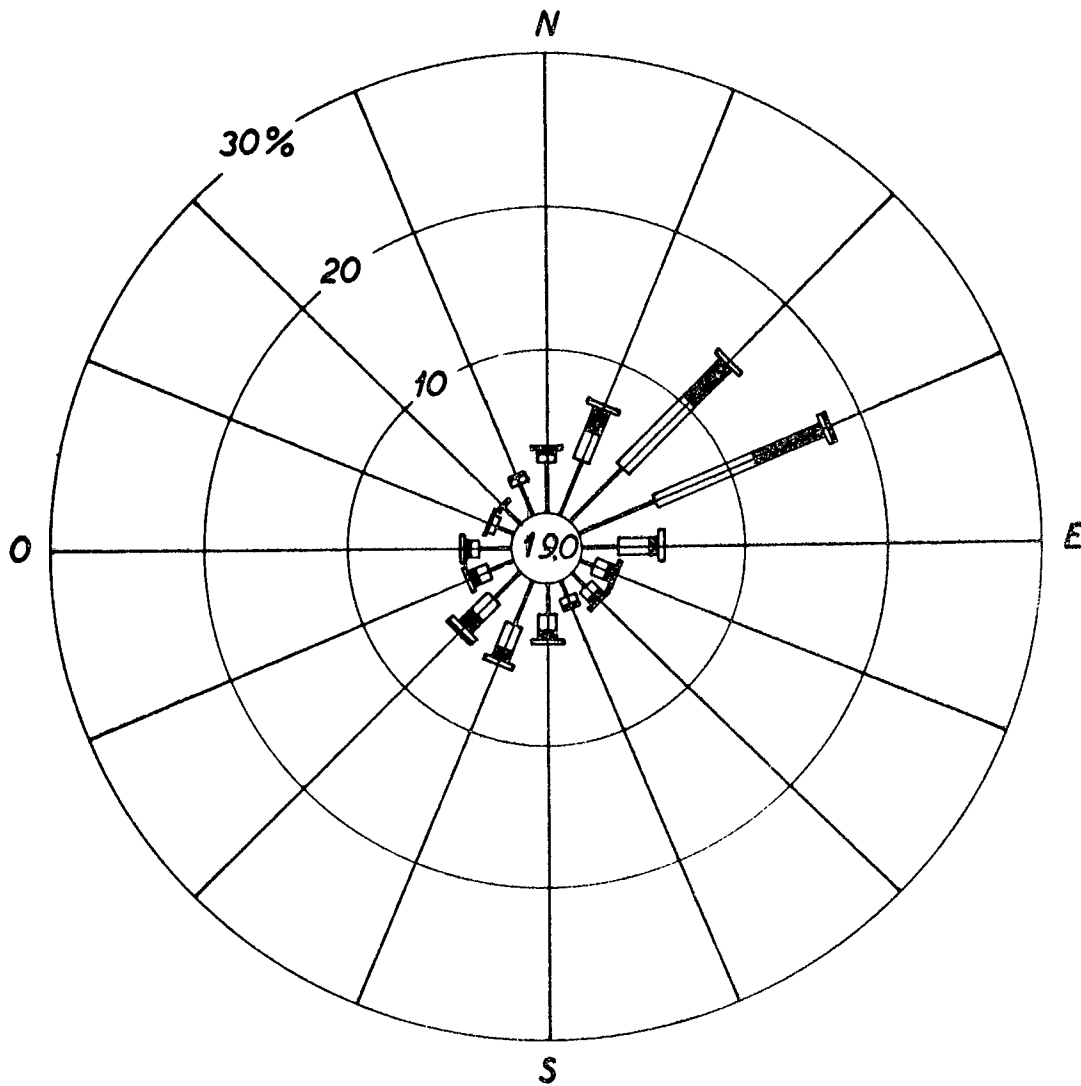


Figura 10

Rosa de Viento
(Invierno 1968-1969)

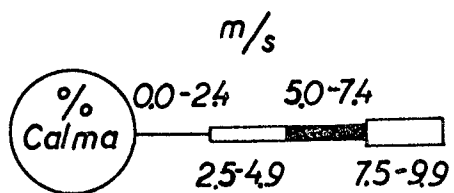
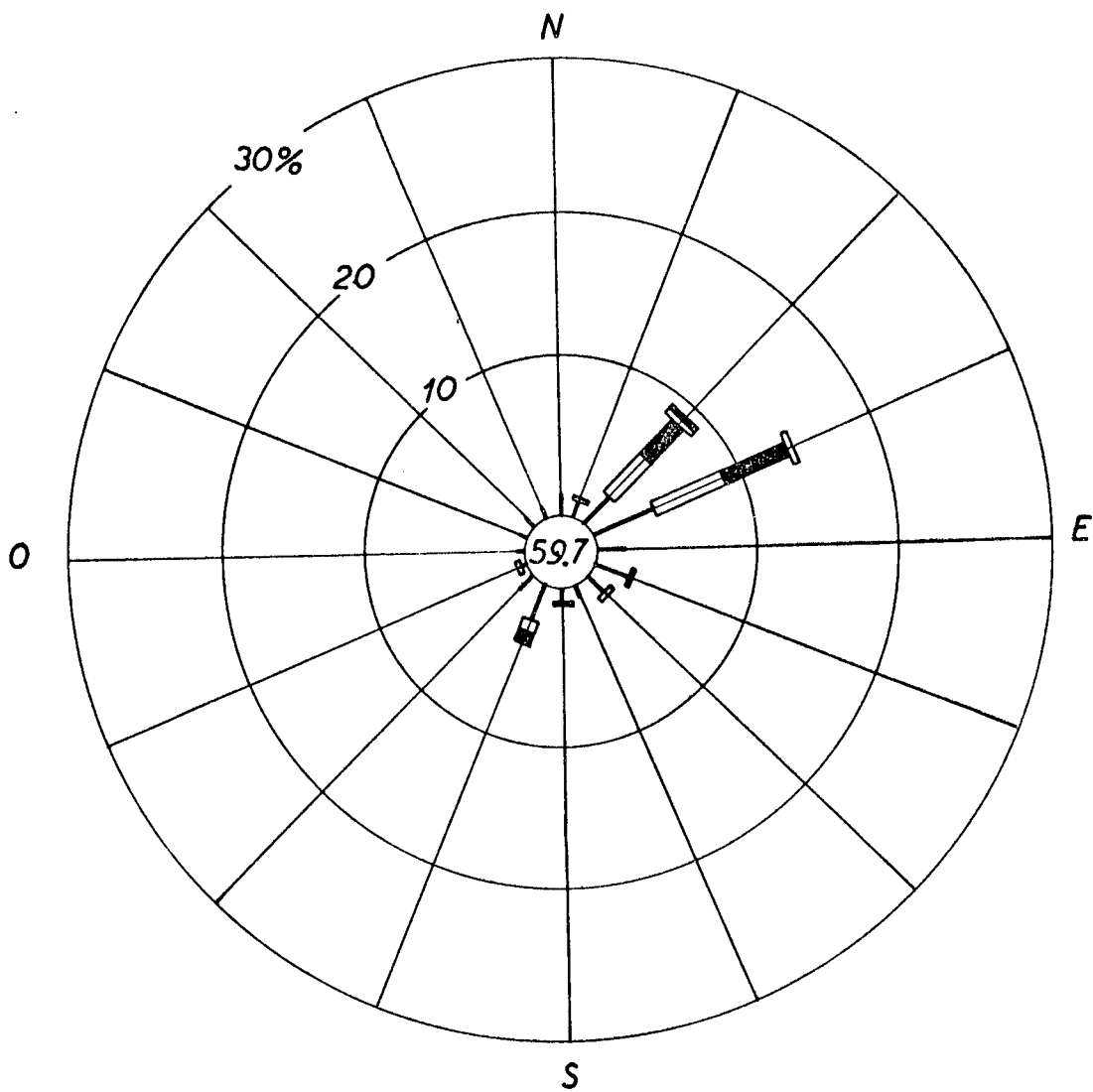


Figura 11

Rosa de Viento
(Primavera 1968-1969)

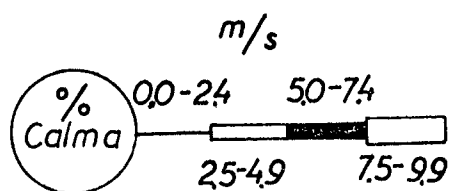
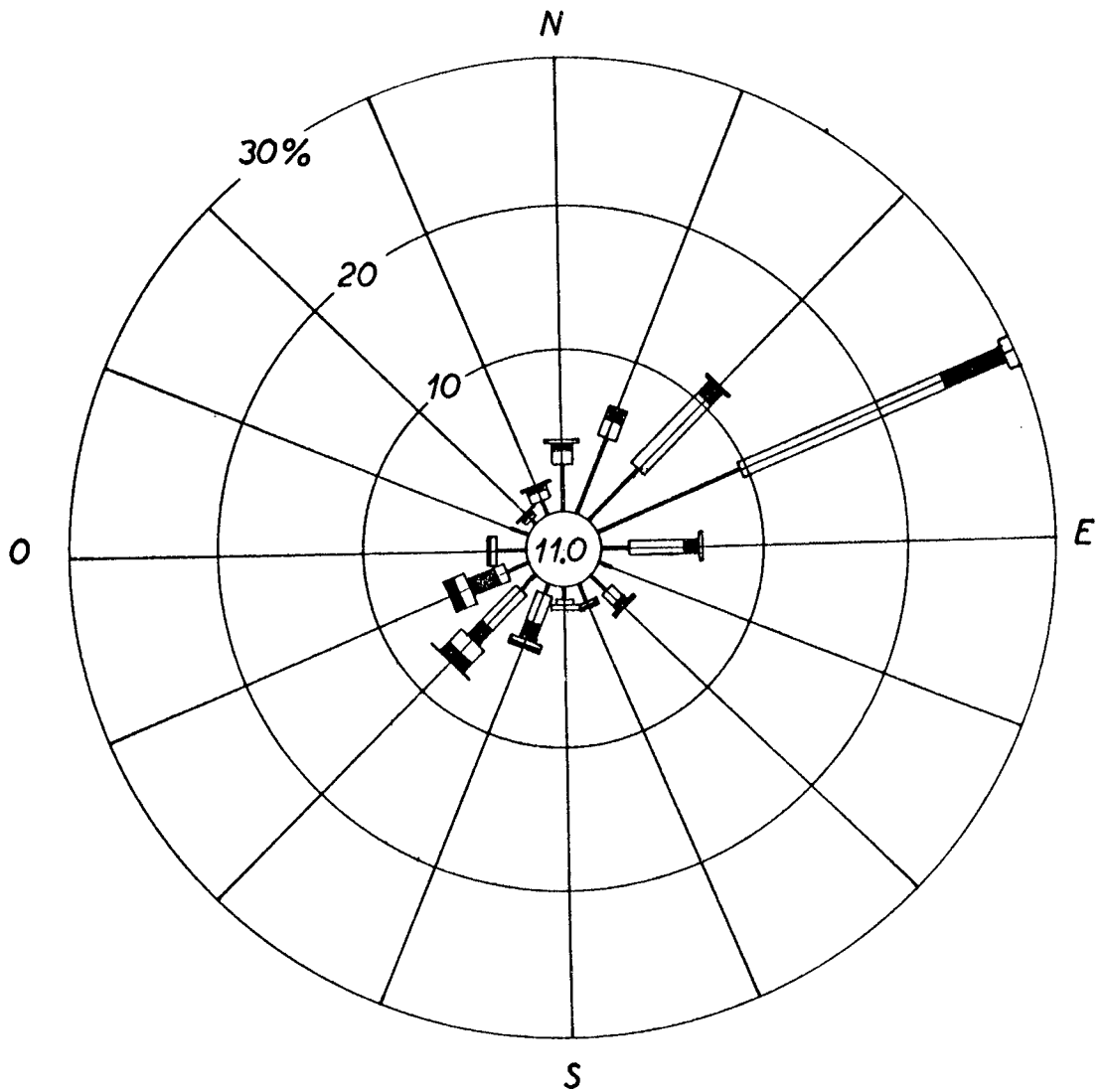


Figura 12

Rosa de Viento
(Período 1968 - 1969)

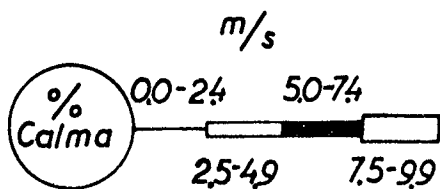
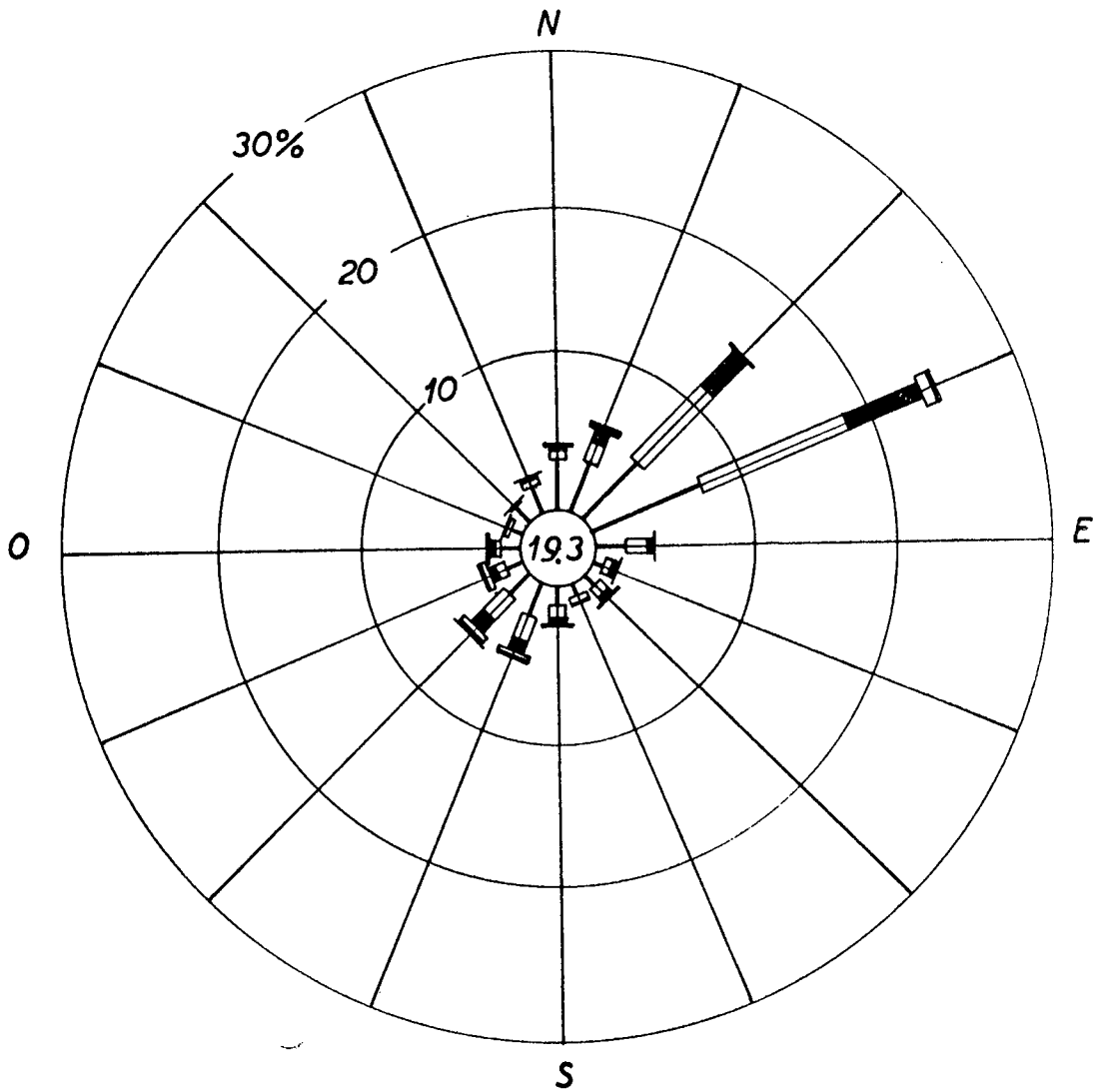


Figura 13

Frecuencia de Calmas en las Distintas Estaciones (Período 1968-1969)

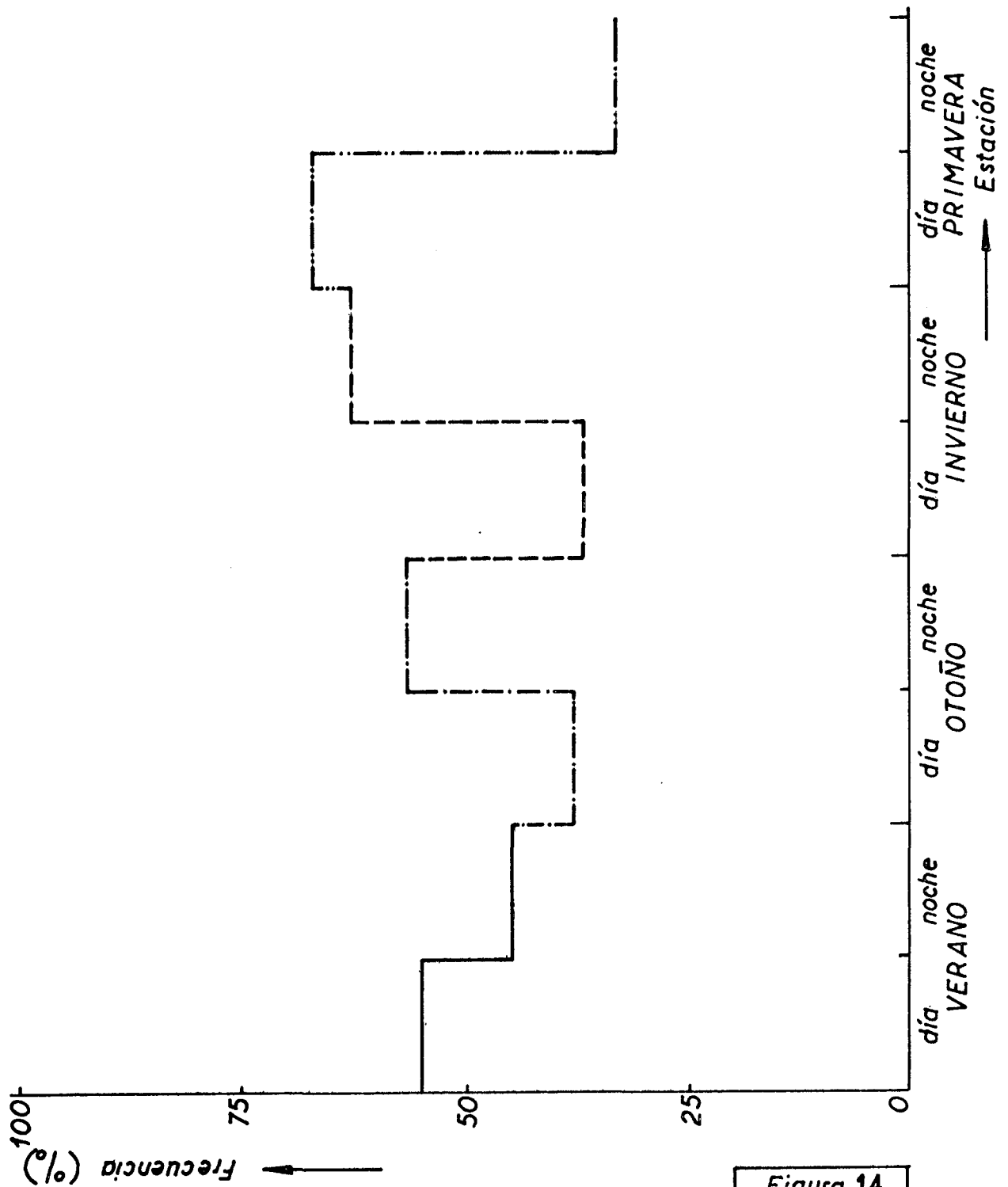


Figura 14

Variación de la Velocidad del Viento con los Meses
(Período 1968-1969)

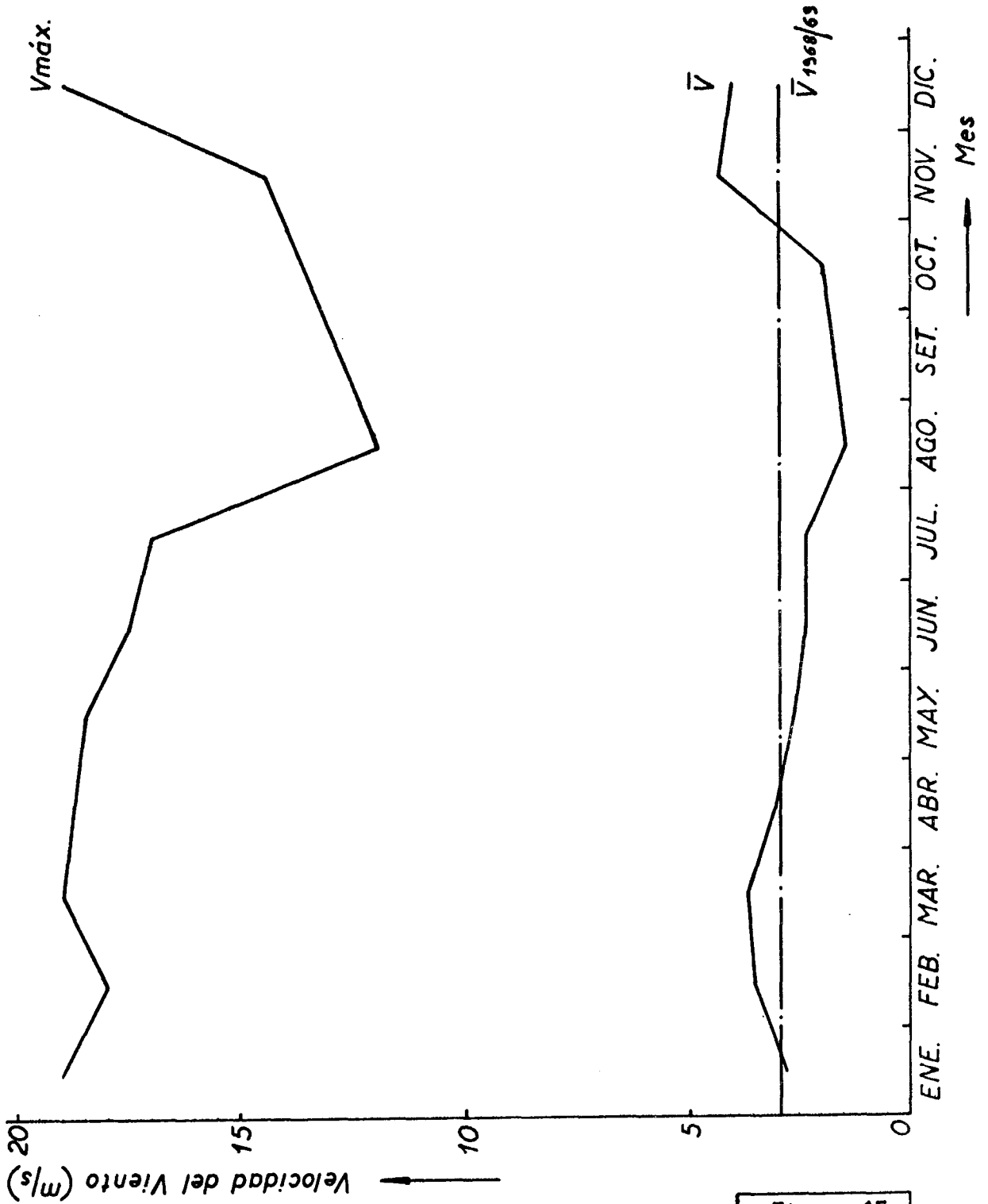


Figura 15

Frecuencia de Viento con Velocidades $\geq 3.0 \text{ m/s}$ y $< 3.0 \text{ m/s}$ (Período 1968-1969)

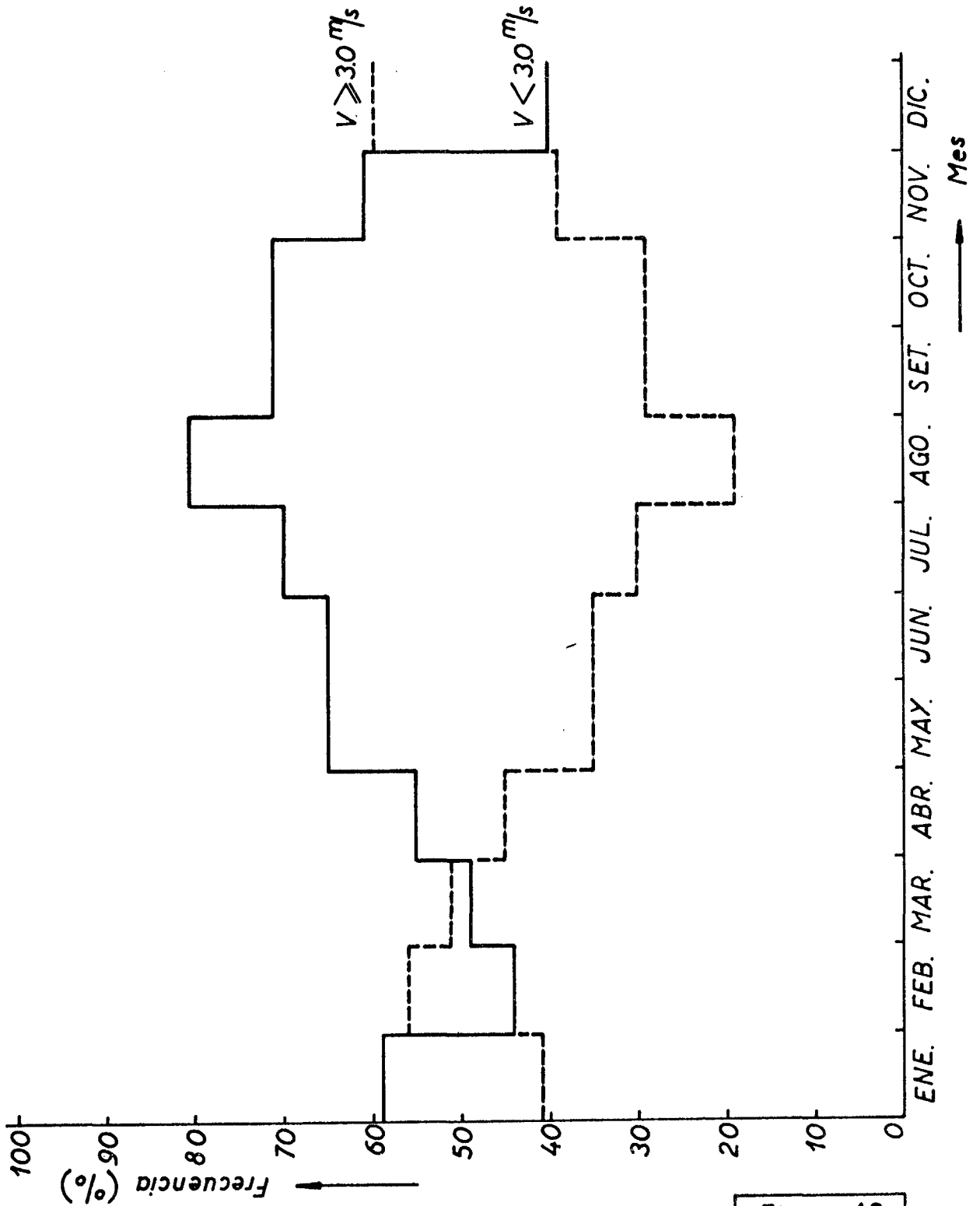


Figura 16

Variación de la Humedad Relativa con los Meses
(Período 1968-1969)

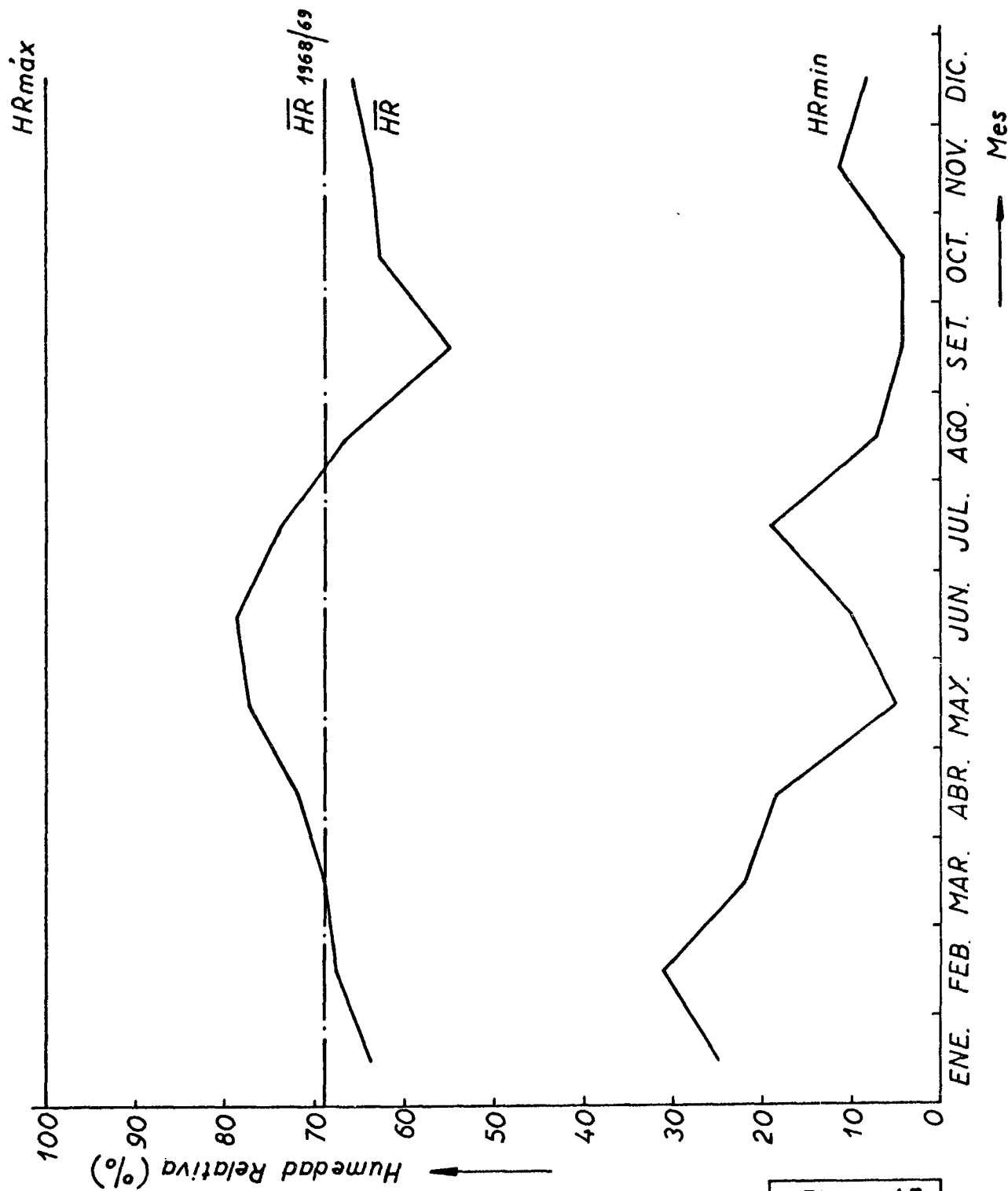


Figura 17

Variación de la Precipitación y Cantidad de Días Lluviosos (Período 1968-1969)

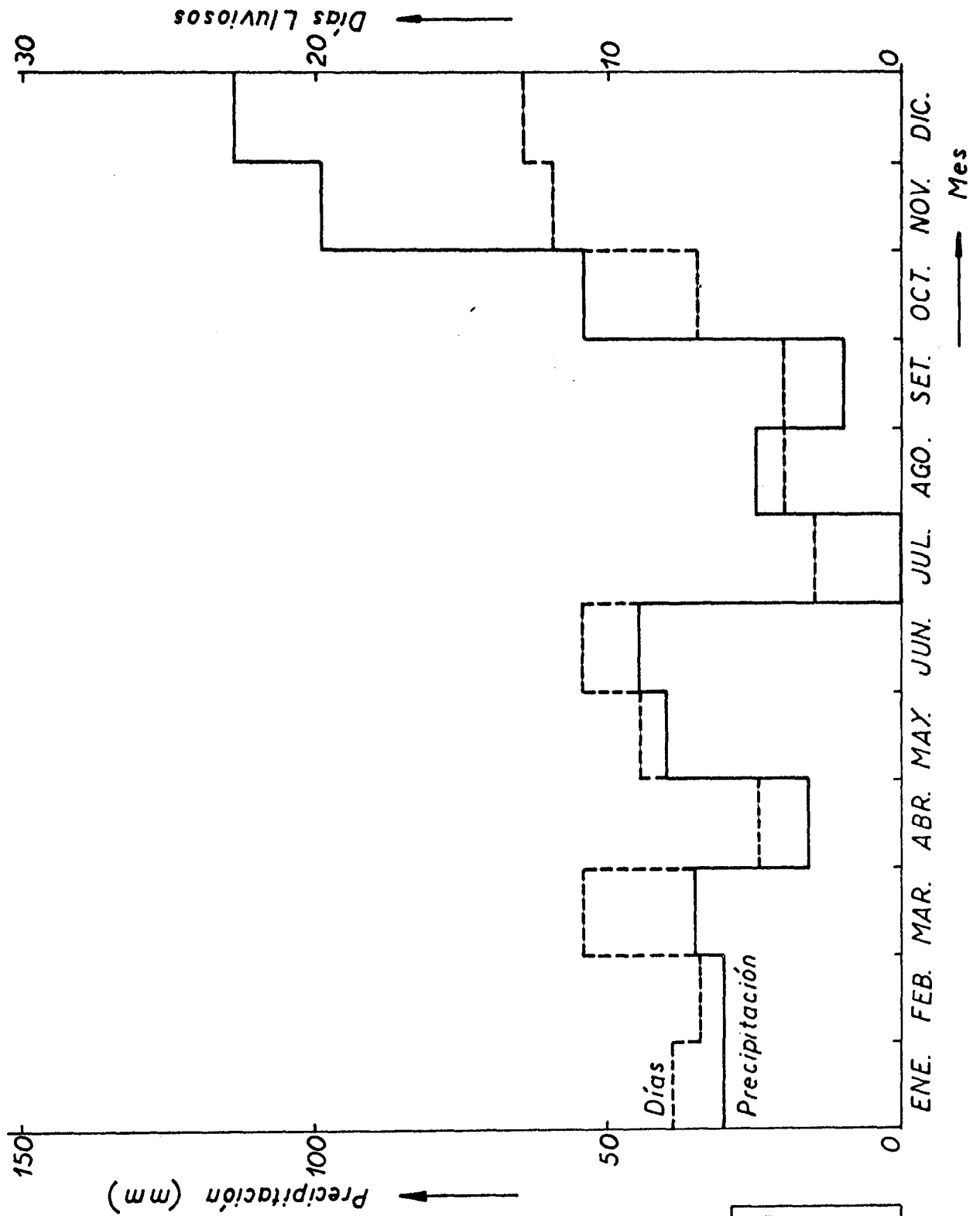


Figura 18

*Variación de la Precipitación Horaria Media Estacional y Anual
(Período 1968-1969)*

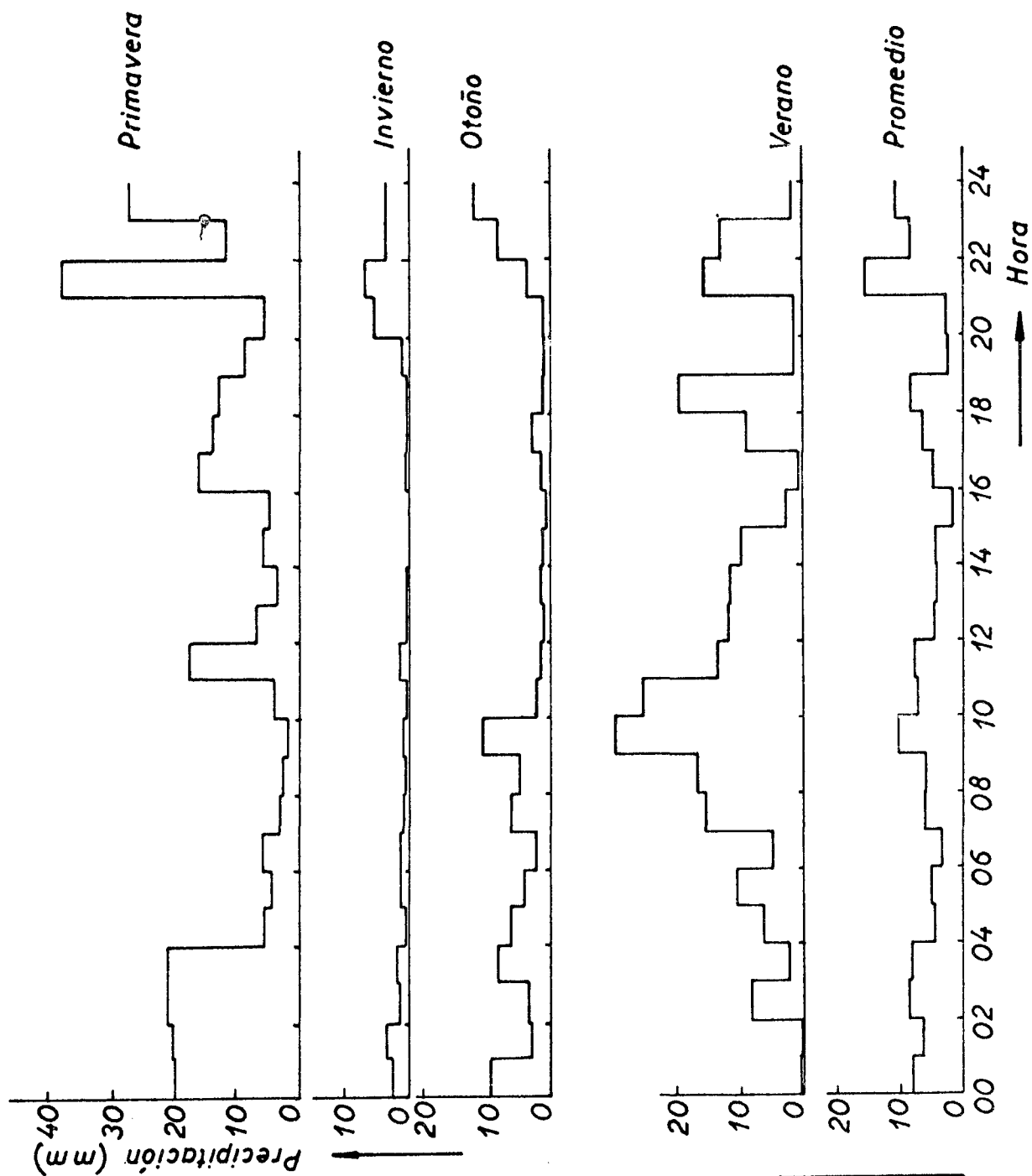


Figura 19

Curvas Intensidad-Tiempo para Diferentes Frecuencias (Período 1968-1969)

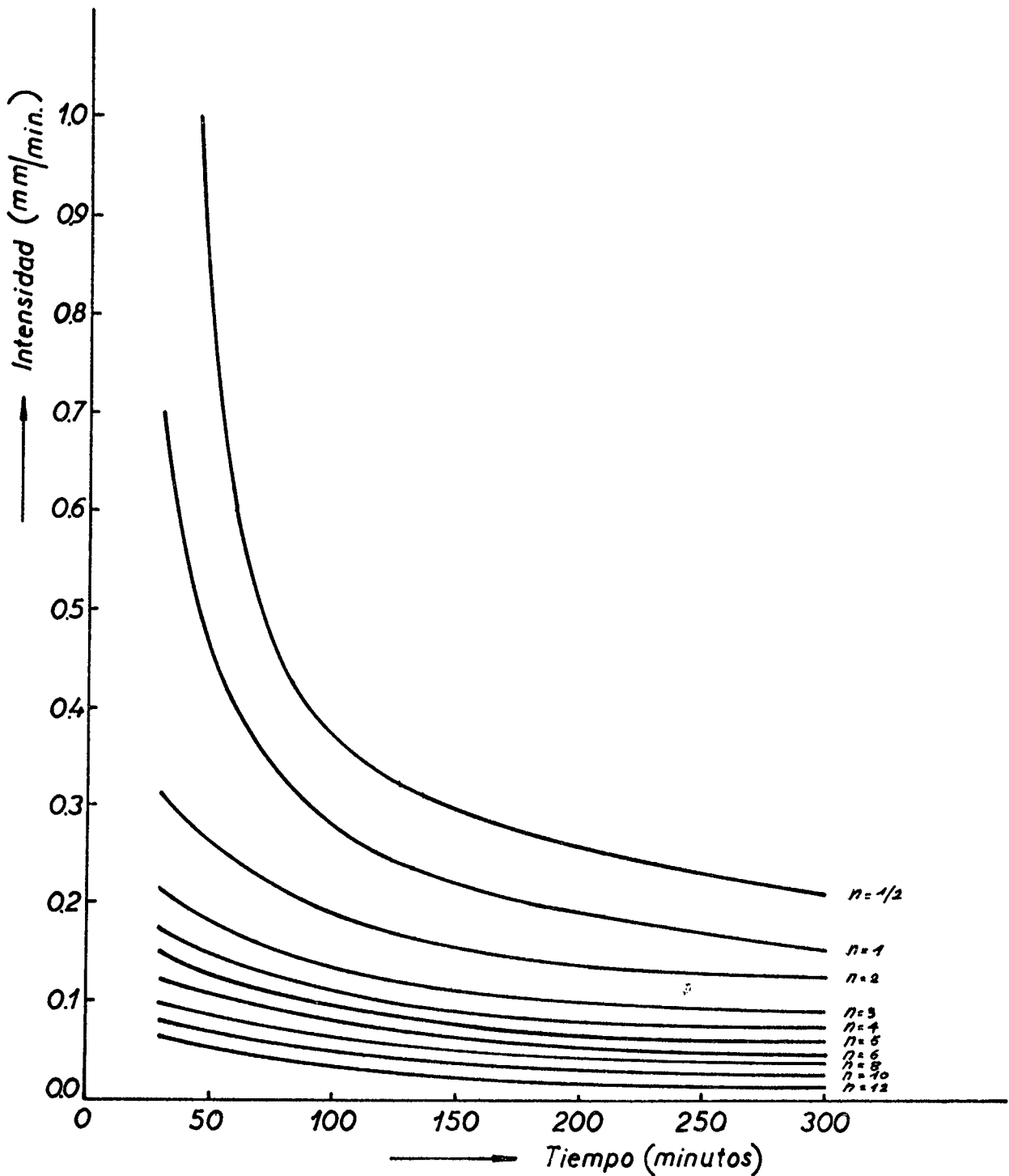


Figura 20

Curvas Cantidad-Tiempo para Diferentes Frecuencias (Período 1968-1969)

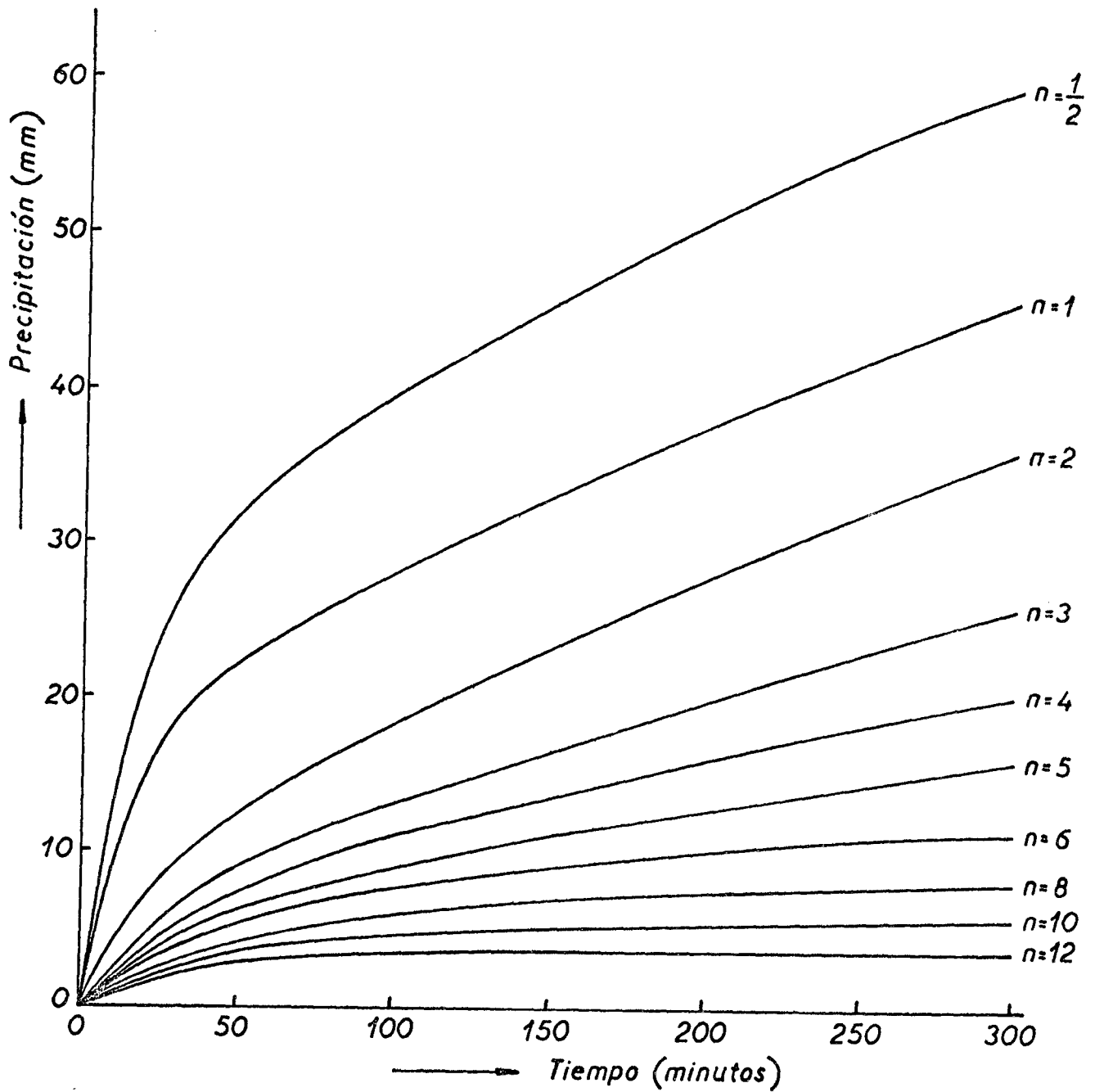


Figura 21

Variación de la Frecuencia de Clases de Turbulencia
(Verano 1968-1969)

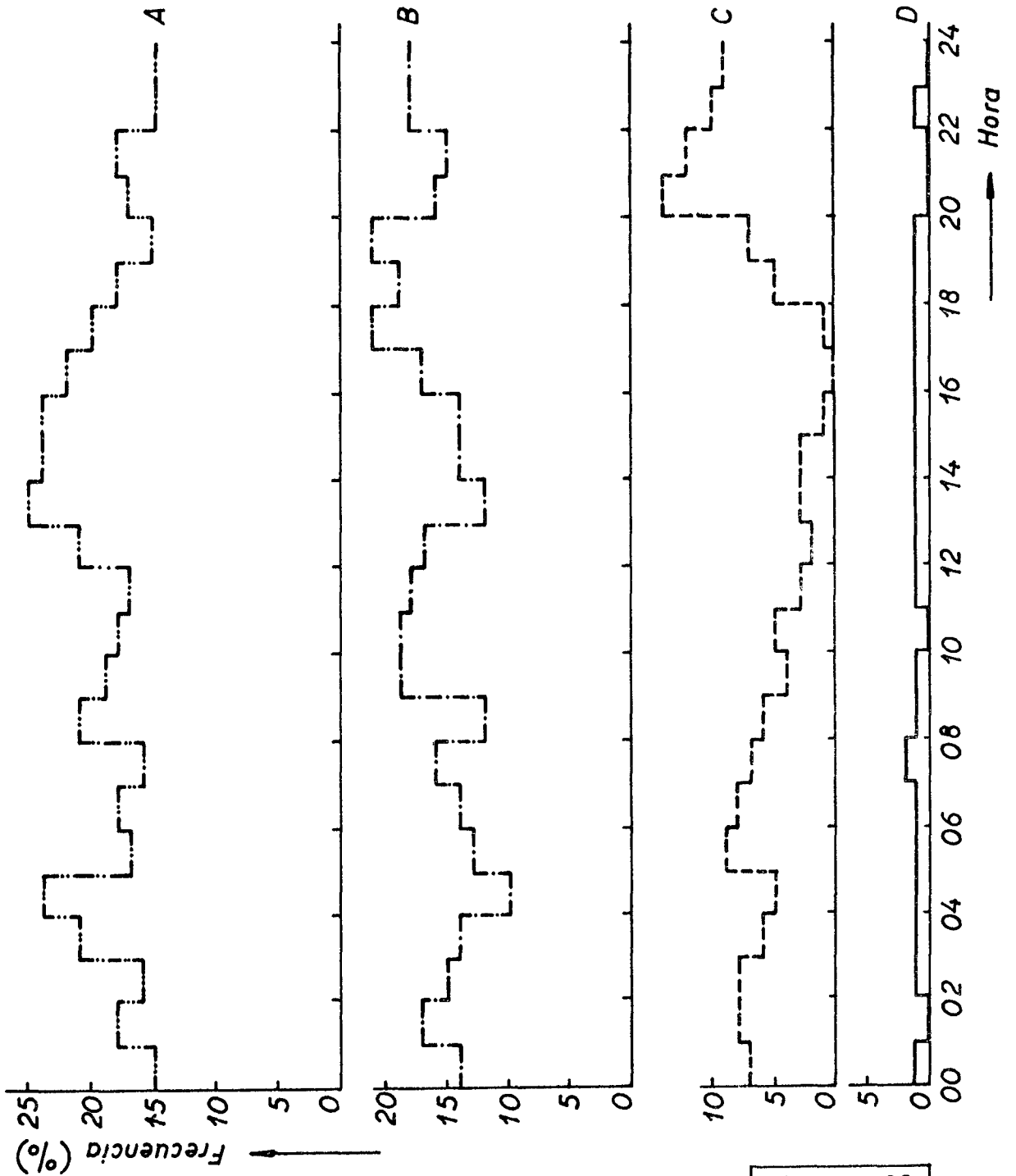


Figura 22

Variación de la Frecuencia de Clases de Turbulencia
(Otoño 1968-1969)

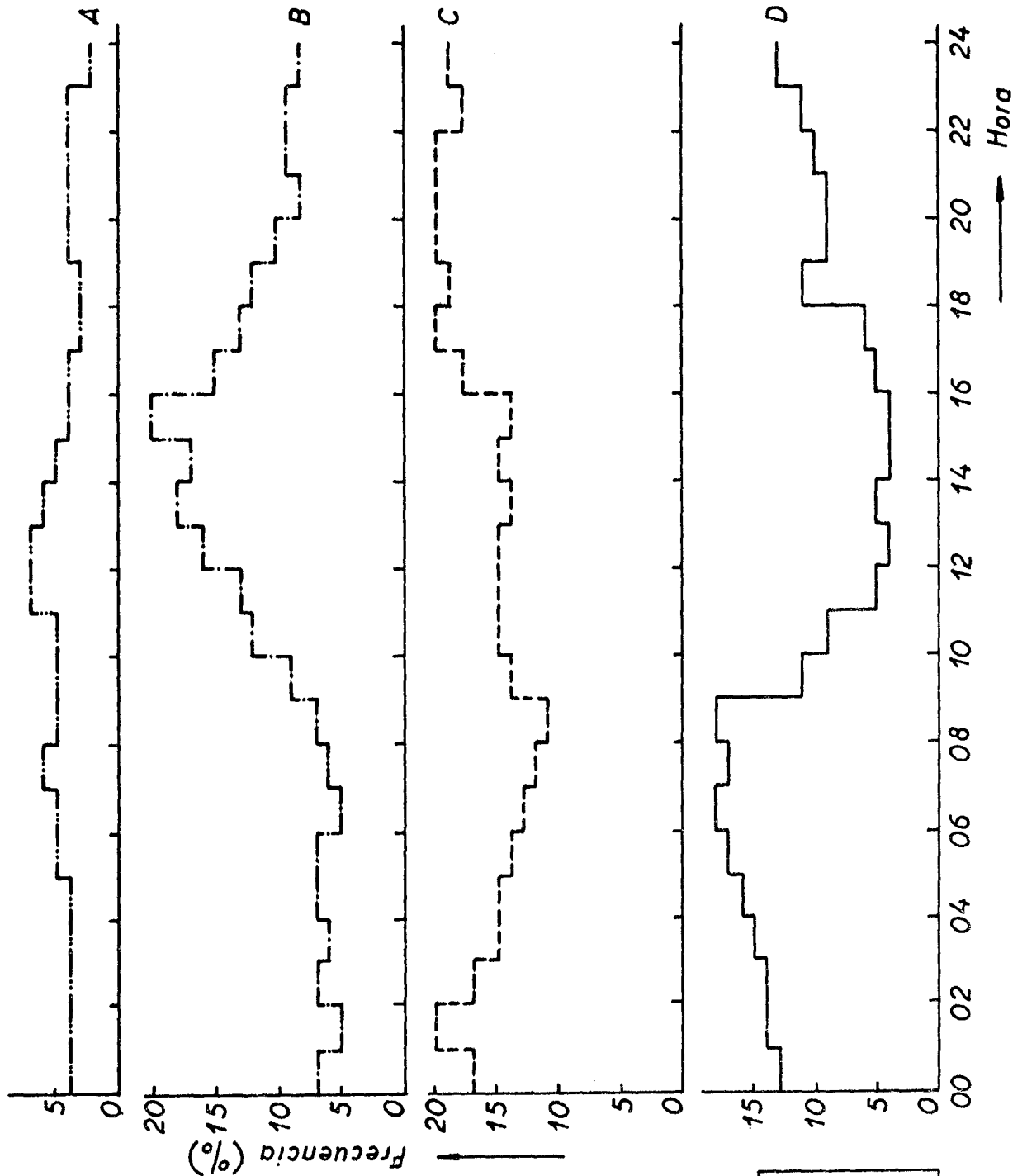


Figura 23

Variación de la Frecuencia de Clases de Turbulencia
(Invierno 1968-1969)

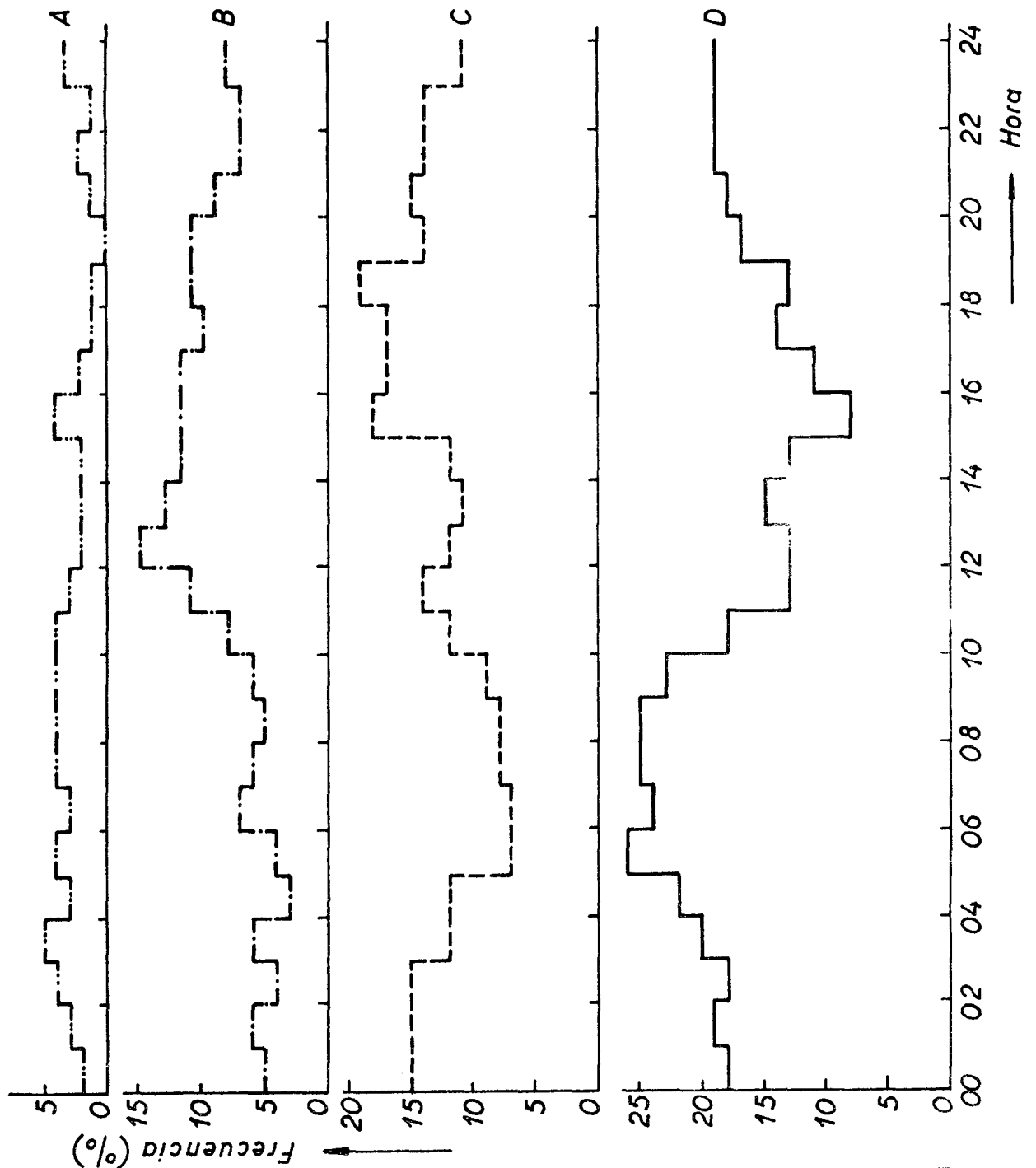


Figura 24

Variación de la Frecuencia de Clases de Turbulencia
(Primavera 1968-1969)

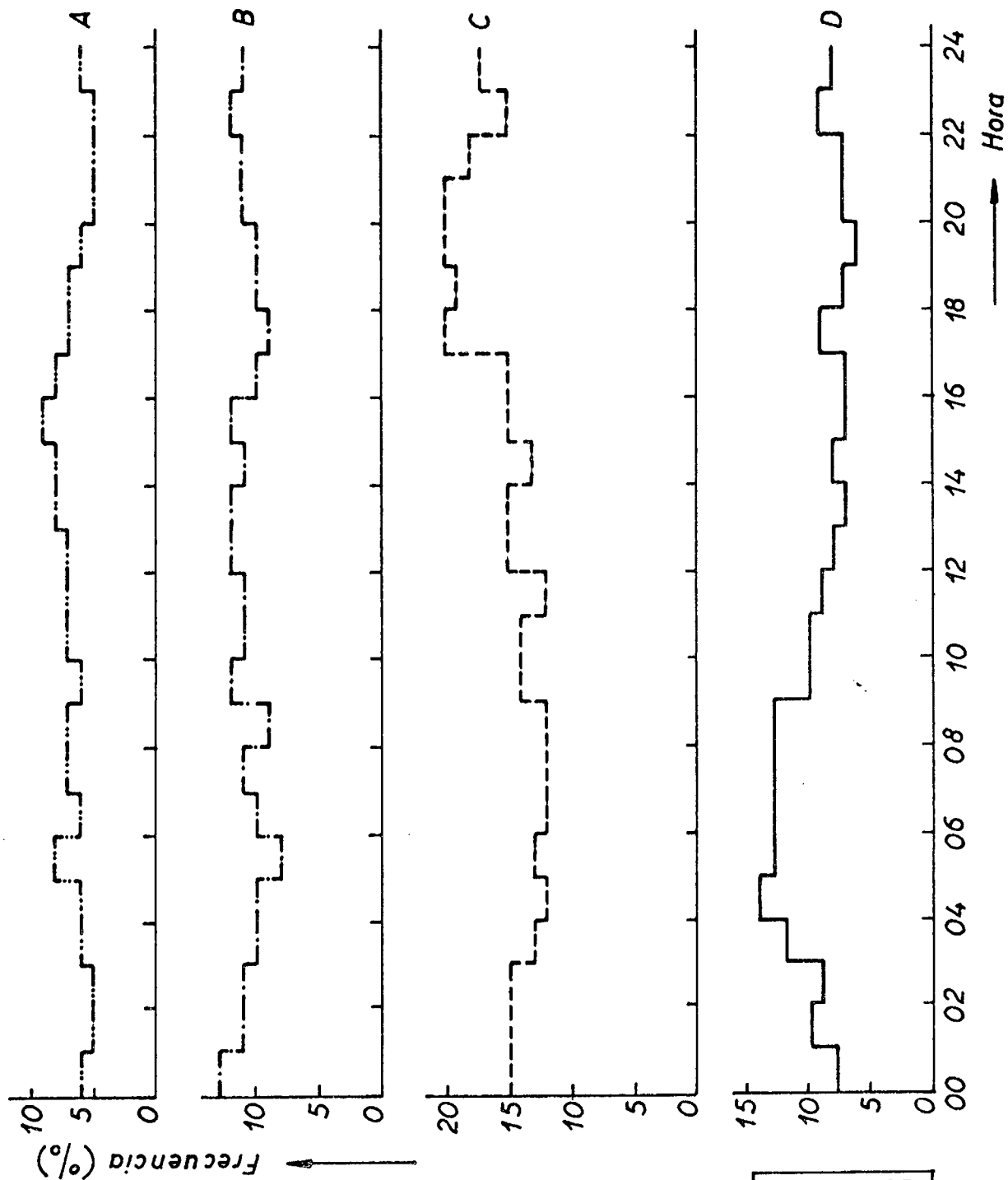


Figura 25

Variación de la Frecuencia de Clases de Turbulencia
(Período 1968-1969)

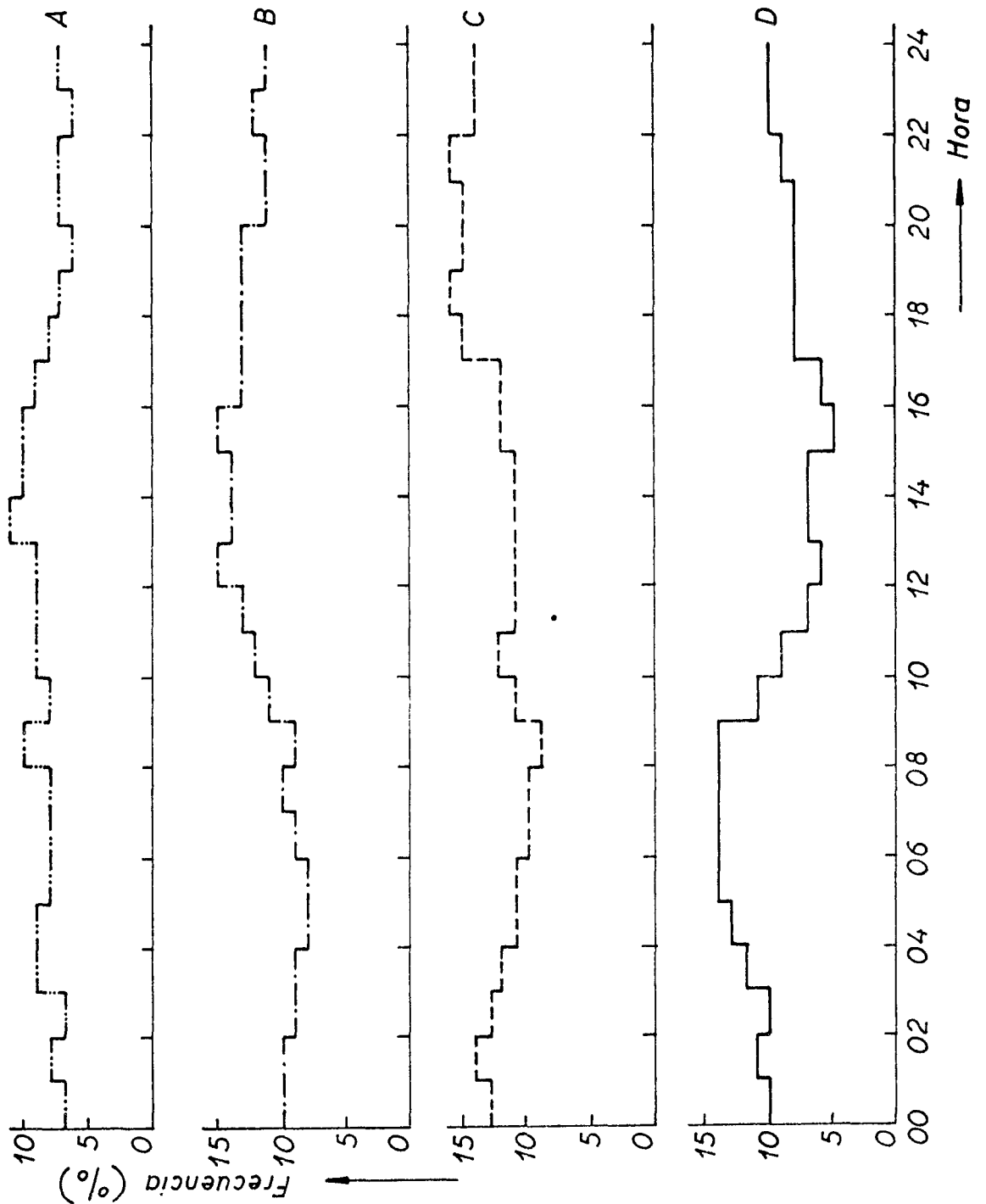


Figura 26