

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA REGIÓN F SOBRE TUCUMÁN
DURANTE UN CICLO SOLAR

Jorge V. Lascano

Laboratorio de Ionósfera, Instituto de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad Nacional de Tucumán

RESUMEN

Se analizan datos del sondador ionosférico de Tucumán (26,9°S; 65,4°O) correspondientes al intervalo julio 1957 - diciembre 1970 abarcando algo más de un período completo de actividad solar, siendo foF2 y h'F los parámetros usados a fin de determinar variaciones estacionales y seculares.

Se compara el comportamiento diario de Tucumán con el de Buenos Aires (34,5°S; 58,5°O) en 3 años diferentes, uno de máxima actividad solar, uno de actividad solar media, y uno de baja actividad solar.

Se efectúa un análisis de Fourier con el fin de calcular más rigurosamente la magnitud de las diversas componentes armónicas.

La correlación entre foF2 y Rz adquiere valores muy elevados.

ABSTRACT

Data from the ionospheric sounder of Tucumán (26,9°S; 65,4°O) corresponding to the period July 1957 - December 1970, which is longer than a complete period of solar activity, are analyzed.

In order to determine the seasonal and secular variations, foF2 and h'F are used as parameters.

The daily behaviours of Tucumán and Buenos Aires (34,5°S; 58,5°O) for high, middle and low solar activity conditions taken for a period of one year for each case, are compared.

A Fourier analysis is also made in order to calculate the magnitudes of the different harmonic components.

High values of the correlation between foF2 and Rz have been obtained.

PRESENTACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este trabajo se utilizaron los valores de medianas mensuales de las características foF2 y h'F a fin de determinar sus variaciones temporales (diaria, estacional y con el ciclo solar) y su correlación con la actividad solar.

Cada párrafo siguiente contiene en si mismo las conclusiones.
Variación diaria de foF2.

Para el estudio de la variación diaria de foF2 se han promediado los valores horarios de medianas mensuales correspondientes a los tres grupos de meses V, E e I. V:verano (noviembre, diciembre, enero y febrero), E:equinoccio (mayo, abril, setiembre y octubre) e I:invierno (mayo, junio, julio y agosto) (Fig. 1).

Para este análisis se consideró conveniente dividir al día en tres períodos. El primero, que corresponde al aumento de electrones en la capa F2 debido esencialmente a la acción directa del sol comprende desde la salida del sol a niveles ionosféricos hasta mediodía. El gradiente de la ionización en él es prácticamente constante para las tres estaciones y a través de todo el ciclo solar.

El segundo, es variable en amplitud temporal y en el mismo la capa F2 alcanza su máxima ionización. Se observa que esa máxima ionización varía en forma mucho menos significativa que en el período anterior. Este hecho y la inversión del proceso de producción a pérdida de ionización puede realizarse en un lapso de tiempo que abarca desde una a doce horas en verano, siendo este lapso función directa de la actividad solar en su variación secular.

La situación anterior se repite en equinoccio pero el proceso de inversión de producción a pérdida de electrones requiere un tiempo mayor. En invierno casi no hay una variación definida en tiempo con el ciclo solar.

En el tercer período al desaparecer la fuente ionizante la densidad electrónica disminuye paulatinamente, presentando períodos de casi equilibrio que se desplaza, hacia horas más avanzadas de la noche a medida que disminuye la actividad solar, siendo de mayor duración temporal en invierno y menor en verano.

Variación diaria de h'F.

Para el análisis de este parámetro se utilizó el mismo método descripto para foF2 (Fig. 2).

Período de aumento de electrones (0600 a 1200 hs)

En este período la altura virtual mínima de la región F decrece paulatinamente en todas las estaciones y durante todo el ciclo so-

lar (Fig. 2).

Período de máxima ionización (1200 a 1800 hs)

La altura virtual de la capa F crece constantemente en todas las estaciones y en todos los años.

Período nocturno (1800 a 0600 hs)

Este período se caracteriza por la presencia de un máximo muy pronunciado que aparece después del crepúsculo. La magnitud del mismo es máxima en verano y mínima en invierno o sea, muestra una variación estacional. Un máximo secundario se presenta antes de la salida del sol en todas las estaciones y a lo largo de todo el ciclo en estudio, ocurriendo en invierno el máximo principal, tanto para actividad solar media como alta.

Si analizamos juntamente las variaciones de $h'F$ y $foF2$ en el atardecer, se podría concluir que los procesos de semi estabilidad de Nm allí mencionados se deben a una elevación de la base de la región.

Se comparó el comportamiento diario de Tucumán con el de Buenos Aires en tres años diferentes, uno de máxima actividad solar 1957--1958, uno de actividad solar media 1960-1961 y uno de baja actividad solar 1963-1964; encontrándose que tanto la variación de la densidad electrónica como la densidad máxima en los tres períodos para las tres estaciones del año, es mayor en Tucumán (Fig. 3).

Con relación a las alturas virtuales en máxima actividad solar, $\Delta h'F = h'F_{max} - h'F_{min}$ no representada aquí al igual que los valores de altura (Fig. 4), presentan una variación estacional siendo máxima en verano, mínima en invierno y mayor en Tucumán. Para casi todas las horas la altura virtual es mayor en Buenos Aires que en Tucumán excepto en horas del crepúsculo donde el proceso se invierte.

En período de actividad solar media la amplitud de variación $\Delta h'F$ (no representados), así como los valores de $h'F$, tienen comportamiento similar para ambas estaciones ionosféricas, pero con valores en Tucumán superiores durante todas las horas del día y durante las tres estaciones del año, a los de Buenos Aires.

En mínima actividad solar los comportamientos son prácticamente coincidentes.

Variación estacional de $foF2$.

Se han considerado los comportamientos correspondientes a las horas 0000; 0600; 1200; 1800 y 2000 abarcando los trece años de datos y teniendo en cuenta los períodos diarios de aumento de den-

ridad electrónica en capa F2, de máxima ionización y de disminución nocturna de la misma.

A horas 0600 la variación es anual con máximas alrededor de noviembre y mínimas en invierno (Fig. 5).

A las demás horas analizadas se observa una definida variación estacional de foF2 con máximas cerca de los equinoccios. Esto se ejemplifica con un solo gráfico correspondiente a horas 0000 (Fig. 6).

Variación estacional de h'F.

Se han estudiado las variaciones estacionales de h'F a iguales horas que foF2, encontrándose para todas ellas el mismo comportamiento, variación de tipo anual con máximas en verano y cuya amplitud no presenta variación significativa con la actividad solar (Fig. 7).

Variaciones con el ciclo solar.

Para determinar el parámetro solar a utilizar se calcularon los promedios móviles centrados para 12 meses del flujo solar en 2.800 MHz (Ottawa) y del número de manchas solares Rz para todo el período en estudio, (Fig. 8). Se observa claramente un idéntico comportamiento de ambos, optándose por tomar Rz.

En Fig. 6 se representan en forma conjunta foF2 y Rz, observándose en forma manifiesta un acompañamiento entre ambos en la tendencia, tanto estacional como secular.

Para determinar la magnitud del mismo se calcularon por el método de mínimos cuadrados los coeficientes de correlación y regresión entre ambos parámetros. Esos coeficientes se calculan mediante las expresiones:

$$\rho = \frac{\sum [(y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})]}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}}$$

$$\alpha = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\sum (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}}$$

donde:

- ρ = coeficiente de correlación
- α = coeficiente de regresión
- x_i = valores instantáneos de foF2
- y_i = valores instantáneos de Rz
- \bar{x}, \bar{y} = valores medios

Los resultados se presentan en Tabla 1.

Tabla 1

Hora	0600	0600	1200	1800	2000	0000
ρ	0,935	0,989	0,965	0,862	0,922	0,995
α	0,174	0,352	0,369	0,354	0,464	0,572

que ponen de manifiesto un efectivo y fuerte control solar sobre esta región ionosférica.

Se calcularon las variaciones de amplitud de foF2 para todos los meses de los 13 años, $\Delta foF2 = foF2 \text{ max} - foF2 \text{ min}$, encontrándose para la misma una variación estacional con amplitud máxima en e quinoccios y con tendencia general a seguir la actividad solar (Fig. 9).

Finalmente se efectuó un análisis de Fourier con el propósito de calcular más rigurosamente la magnitud de las diferentes componentes armónicas, de las cuales solo se tomaron en cuenta las tres primeras, (Fig. 10) y (Tabla 2).

Las conclusiones observables para este análisis son: la primera componente armónica presenta una oscilación completa en un período de 11 años, equivalente a un ciclo solar. La segunda componente ma nifiesta dos oscilaciones en igual período no encontrándose para el mismo justificación física, y para la tercera componente existe una media oscilación que podría estar ligada al proceso de inversión del campo magnético solar, cuyo período es de 22 años.

La discusión física de los resultados del presente trabajo se intentará en un trabajo posterior, en el cual se confrontarán mode los existentes.

Tabla 2

Año	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
a_0	14,66	14,38	13,35	10,33	10,71	9,22	9,65
a_1	0,68	0,32	0,54	1,38	0,96	0,70	0,76
ϕ_1	-17,3°	-21,4	25,9	5,43	5,79	-50,7	-82,9
a_2	1,42	1,07	1,14	1,09	1,15	1,04	1,12
ϕ_2	51,5°	62,7	57,1	-83,9	85,7	42,8	21,8

Año	1965	1966	1967	1968	1969	1970
a_0	8,85	10,38	12,33	13,18	13,74	13,23
a_1	0,25	1,02	1,25	1,63	0,89	0,77
ϕ_1	-42,7	-38,2	69,9	36,6	5,0	5,6
a_2	1,15	1,18	1,73	1,48	1,85	1,52
ϕ_2	51,3	20,2	39,5	40,7	42,2	57,8

Agradecimientos.

Al Dr. J. R. Manzano por sus útiles críticas y sugerencias, al Lic. Ch. P. J. Malloy por el programa de computación y cálculo de las series de Fourier; a la Sra. A. H. de Lascano por su colaboración en la confección de gráficos.

BIBLIOGRAFIA

- Gledhill J. A., Williams M. H.; 1971: J. Atmos. Terr. Phys. 33, 1055.
- Jones W. B.; 1962: National Bureau of Standards; T. N. 142
- Kolawole L. B., Isherwood M. C.; 1979: J. Atmos. Terr. Phys. 42, 257.
- Radicella S. M., de Ragone A. H. C., 1965: Estación Ionosférica de Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán.
- Rastogi R. G.; 1960: Zeitschrift Für Geophysik 26, 217.

TUCUMAN 1. F 2

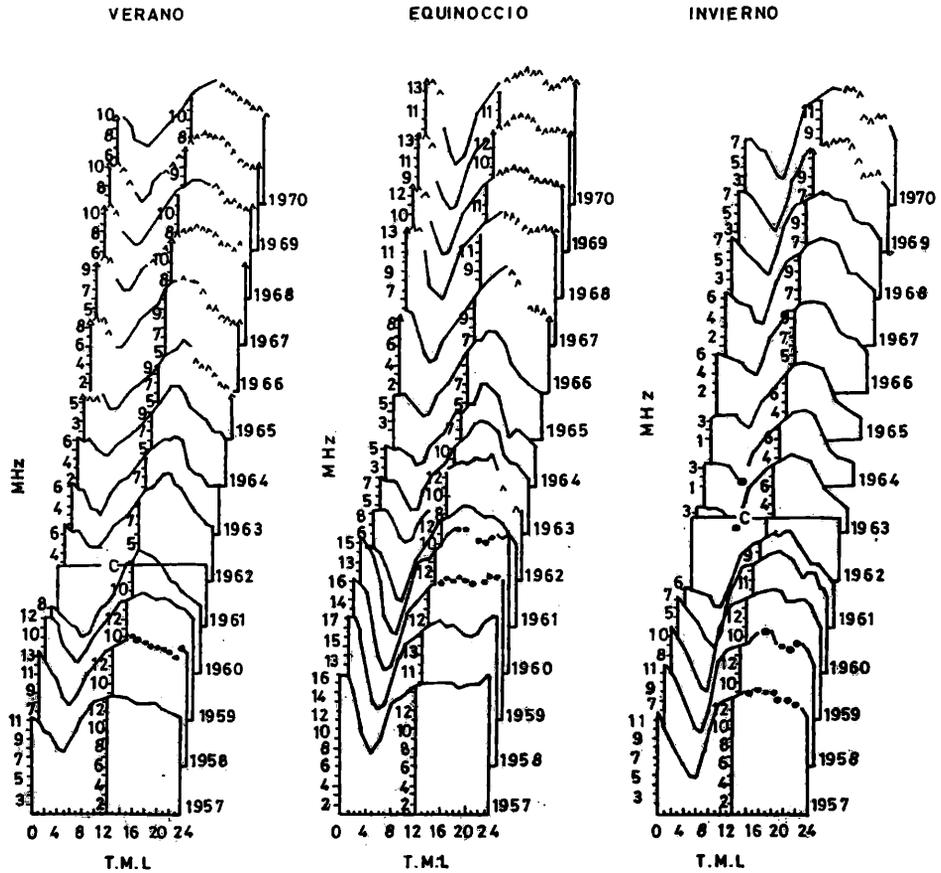


FIG. 1

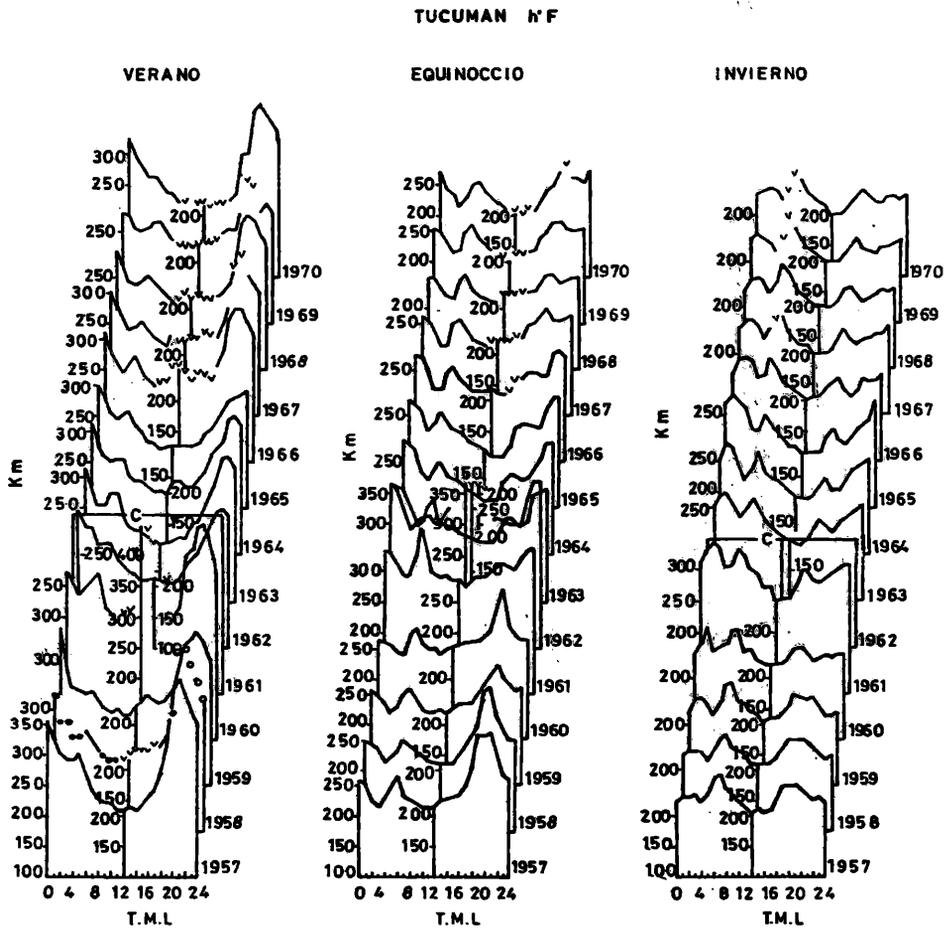


FIG. 2

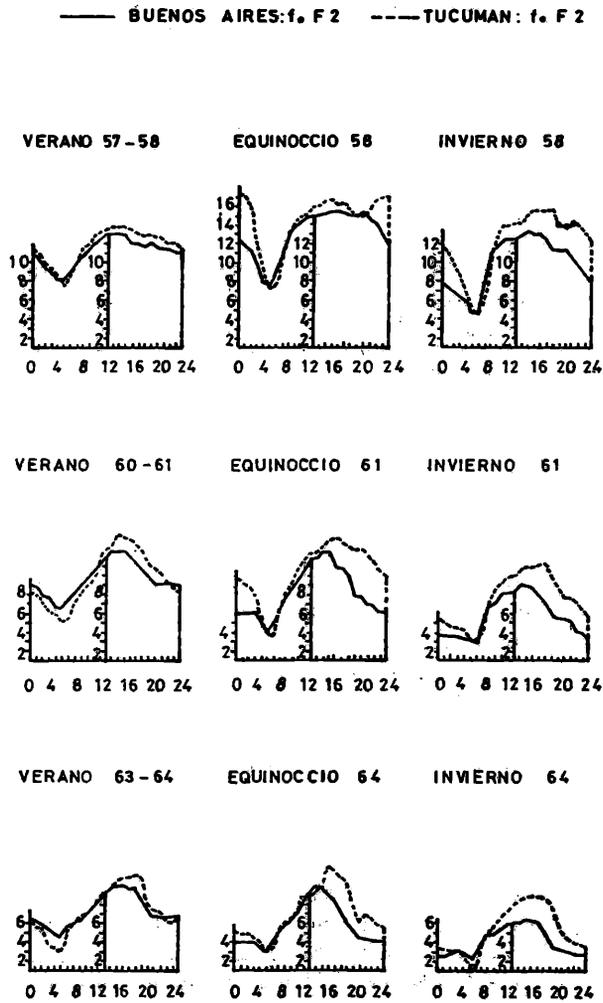


Fig. 3

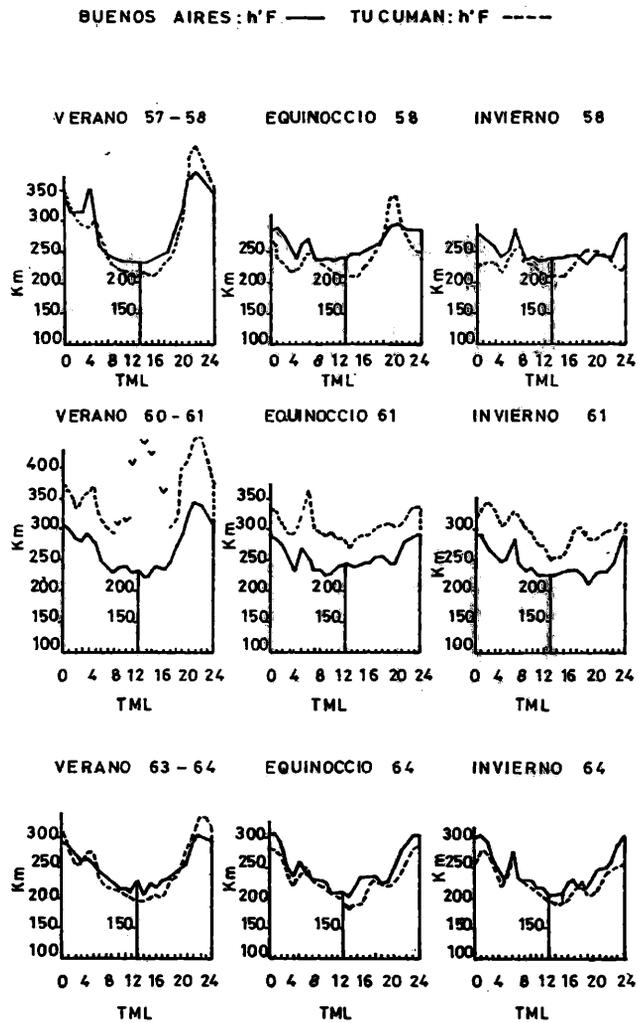


Fig.4

TUCUMAN

Hora 06,00

f_oF₂

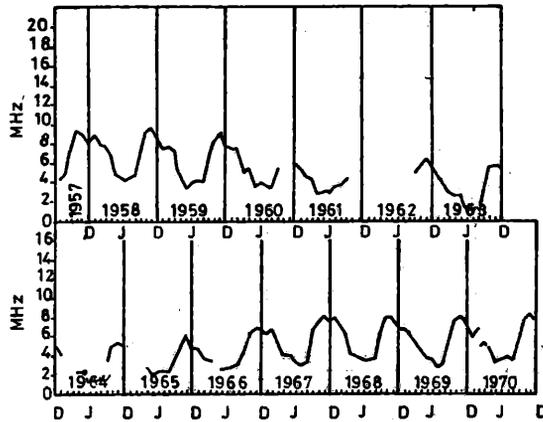


Fig.5

TUCUMAN

Hora 00,00

f_oF₂ —, Rz —, PM(f_oF₂)....., PM(Rz) ----

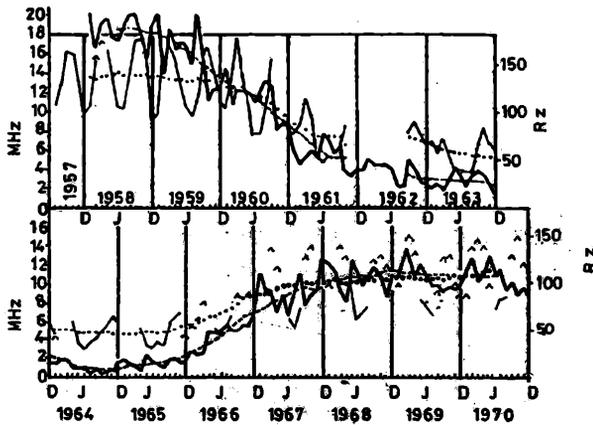


Fig. 6

TUCUMAN
 Hora 00,00
 h' F

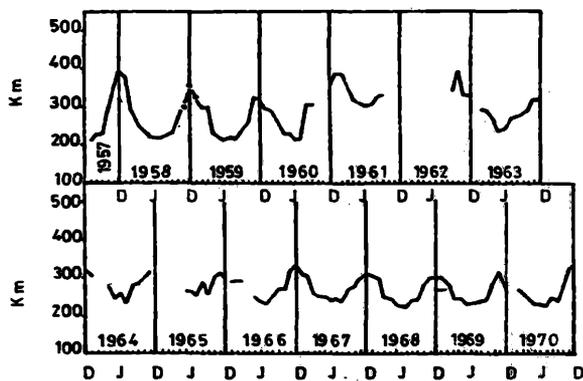


Fig. 7

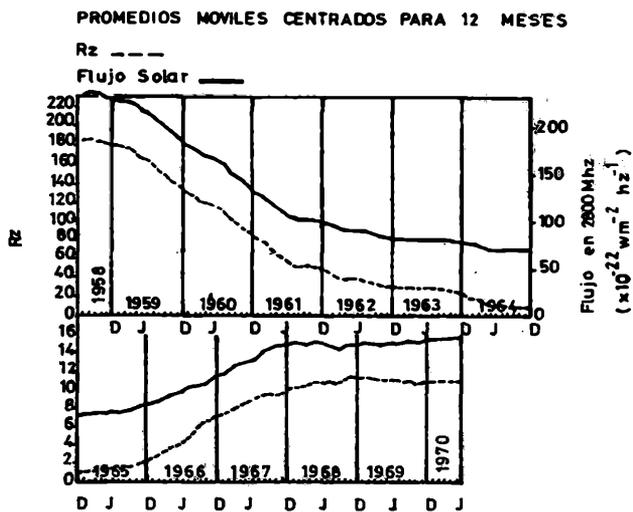


Fig. 8

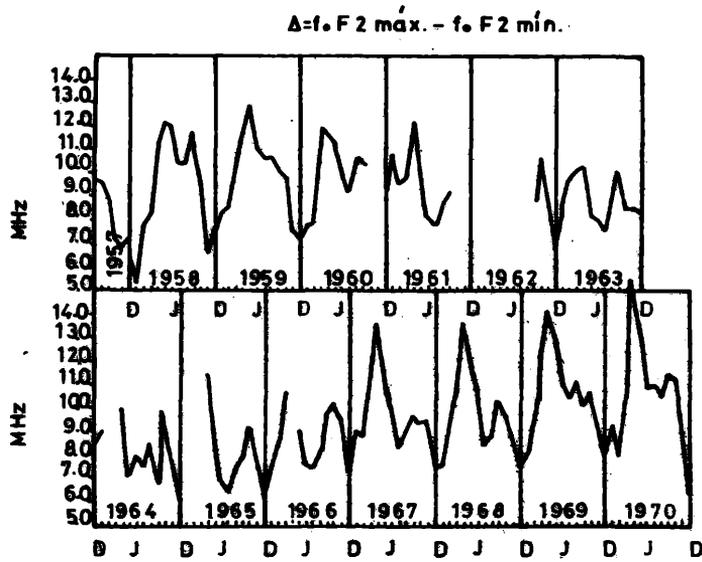


Fig.9

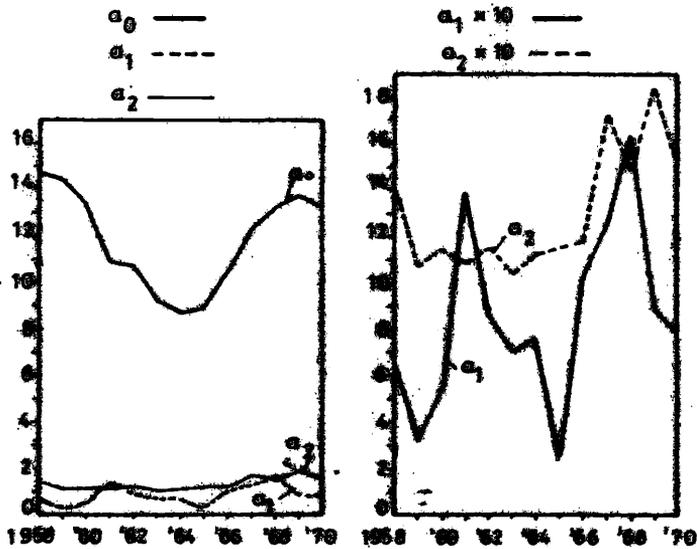


Fig. 10

