

ESTUDIO SOBRE LA ESTRUCTURA LONGITUDINAL DE LA REGION F2

Ana Martínez de Garat (*)

Laboratorio de Ionósfera - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán

RESUMEN

Se hace un análisis del comportamiento del parámetro ionosférico NmF2 (concentración electrónica máxima de la capa F2) para el año 1975 de mínima actividad solar, con el fin de estudiar la estructura de la anomalía ecuatorial. Se consideran dos cadenas de sondadores: la americana y la australoasiática cuyos datos se analizan en función de la latitud geomagnética. A partir del análisis comparativo pueden señalarse algunos hechos importantes: a) la anomalía ecuatorial está mejor desarrollada, con crestas más definidas, en la región americana, a lo largo de todo el año; b) para la zona australoasiática, durante algunos meses, puede decirse que la anomalía no existe; c) para ambas regiones, el máximo se alcanza entre las 14 y las 16 hs TL.

Finalmente, se analizan las ideas físicas que tratan de explicar los hechos globales y estructura fina de la anomalía ecuatorial.

ABSTRACT

An analysis of the behaviour of the ionospheric parameter NmF2 (F2 region maximum electron concentration) for the solar minima activity year 1975, has been made in order to study the equatorial anomaly structure. Data of American and Australian-Asiatic ionosonde networks versus geomagnetic latitude are considered. From the comparative analysis some important results can be pointed out: a) the equatorial anomaly is better developed in the American region during the whole year; b) for several months, the anomaly does not exist in the Australian-Asiatic region; c) for both regions the maximum is reached between 14 and 16 hs LT.

Finally, some physical ideas which explain the global features and fine structure of the anomaly are analyzed.

(*) Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

INTRODUCCIÓN

La producción de la ionización en la zona ecuatorial tiene lugar en la baja región F en su mayor parte, y el pico de la producción está alrededor de los 200 km sobre el ecuador magnético (Anderson, 1971; 1973). La ionización producida es transportada por deriva electromagnética a mayores alturas, difundiendo luego a lo largo de líneas de campo hacia zonas de latitud geomagnética $\pm 20^\circ$ aproximadamente.

El campo eléctrico ionosférico hacia el este, que posibilita el movimiento vertical de la ionización con velocidad $\frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$, juega un papel dominante en la electrodinámica de las bajas latitudes (Woodman y otros, 1977; Fejer, 1981). De esta manera el transporte electromagnético de la ionización ha sido tomado como un proceso básico en la formación de la anomalía ecuatorial.

Bajo las mismas condiciones del ciclo solar, se observan diferencias importantes y significativas en las distintas regiones del globo, lo cual ha sido puesto de manifiesto por diferentes autores (Walker y Strickland, 1981; Walker y Ma, 1980). Sin embargo, al comparar las discrepancias observadas en la anomalía ecuatorial para diferentes zonas, hay que tener en cuenta que éstas pueden ser debidas al uso de datos provenientes de estaciones dispersas sobre un rango de longitud demasiado amplio o a la existencia de muy pocas estaciones a bajas latitudes, que dan así una resolución pobre de las crestas de la anomalía. Además, grandes áreas de la Tierra están cubiertas por océanos, y en particular el hemisferio sur tiene muy pocas estaciones de sondadores. Algunos autores llegaron a usar datos dispersos hasta 98° (Thomas, 1968).

Actualmente, se están haciendo intentos de mejorar esta situación reduciendo el rango de longitud y mejorando la resolución de las crestas mediante el uso de valores horarios de las medianas de foF2 (este procedimiento perfecciona el ajuste estadístico y elimina algún efecto extremo de las tormentas magnéticas) a partir de más estaciones ubicadas cerca del ecuador magnético.

Walker y Strickland (1981), por ejemplo, desarrollaron su análisis en un rango de longitud de 53° para el este asiático y de 24° para la región americana, correspondiente a un período de actividad solar bajo. Es interesante señalar que para realizar este ajuste los mencionados autores han utilizado datos provenientes de años distintos respetando, por supuesto, la condición de mínimo solar. En el presente trabajo, donde se consideran dos grandes regiones:

la americana y la australo-asiática, se ha debido incluir la estación de Dakar para completar la cadena americana, con lo cual el rango de longitud de este sector es de 80° , mientras que el rango de longitud para el sector asiático es de 31° . Excluyendo Dakar se tendrían 46° para la región americana.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS REGIONES AMERICANA Y AUSTRALOASIÁTICA

Se trabaja con datos de NmF2 del año 1975 (de baja actividad solar) con estaciones ubicadas en las regiones americana y australo-asiática (ver tabla adjunta). Se han utilizado las medianas mensuales de todos los meses del año. Para un mejor análisis, las figuras se han ordenado agrupando los meses E (verano del hemisferio sur) que corresponde a las figuras 1 y 2; meses "centrales" (invierno del hemisferio sur), figuras 3 y 4; y meses de equinoccio, figuras 5 y 6.

En líneas generales pueden observarse que la anomalía ecuatorial está mejor formada, presentando un aspecto que sugiere un desarrollo más armonioso de los procesos involucrados para su formación y mantenimiento, en la región americana que en la australoasiática (ver figuras). Para esta última se observa que algunos meses (ver junio y julio en figuras 3b y 4a) la anomalía no existe en absoluto y los valores de NmF2 son más bajos; para otros meses (setiembre y noviembre, por ejemplo, en figuras 6a y 2a) la anomalía apenas llega a insinuarse presentando un único pico a la altura del ecuador geomagnético. Todo esto indica en principio características distintas para los campos eléctrico y magnético entre estas dos regiones ya que ellos son los principales responsables de la existencia y desarrollo de la anomalía.

Para ambas regiones, en la mayor parte de los meses considerados la anomalía aparece entre las 10.00 y las 11.00 TL. En particular en la zona australoasiática a las 10.00 TL todavía no se observa nada. Este hecho muestra una diferencia con lo encontrado por otros autores como Walker y Strickland, que en general coinciden en que ella aparece a las 09.00 TL de la mañana, también bajo condiciones de mínimo solar. Sin embargo, estos resultados no son unánimes, lo que muestra las importantes variabilidades que existen en el interjuego de los mecanismos que dan origen y mantienen a la anomalía.

De acuerdo a lo dicho anteriormente y para precisar, para la región americana en los meses de equinoccio (figuras 5 y 6) e incluso en los meses E (figuras 1 y 2), aunque débilmente, la anomalía

comienza a insinuarse a las 10.00 TL. Para estos mismos meses en esta zona, se mantiene hasta las 20.00 TL, pudiendo existir todavía hasta las 00.00 TL como por ejemplo en el mes de febrero (figura 1b).

Esta situación para la región asiática es bastante diferente. Aquí, según lo que ya se dijo, prácticamente en la mitad de los meses considerados, la anomalía ha desaparecido, reduciéndose en algunos casos a una cresta única. En los meses que así aparece, lo hace entre las 11.00 y las 12.00 TL. A las 18.00 TL, en todos los casos la anomalía ya no existe. En los meses "centrales" para la región americana la anomalía empieza un poco después, termina antes y es más "chata", aunque está bien formada.

Para las dos zonas que se están estudiando, y en todos los casos, el máximo valor en la concentración electrónica NmF_2 se presenta entre las 14.00 y las 16.00 TL, lo cual coincide con las observaciones hechas por la mayoría de los autores (entre ellos el ya citado Walker) que han trabajado bajo condiciones de mínimo solar.

En relación al desarrollo de las crestas, para las dos zonas y en el conjunto de los meses que se analizan en el presente trabajo se observa una marcada tendencia a la asimetría. En los únicos casos en que se encuentra un desarrollo razonablemente parejo de ambos picos con un valle importante a la altura del ecuador geomagnético, es para los meses de setiembre y octubre para la región americana (figura 6) y los meses de febrero, marzo y abril en Asia (figuras 1b y 5b).

En la zona americana puede verse (quizás con la única excepción de mayo, figura 3a) que hay un desarrollo más importante de la cresta sur para los meses de verano del hemisferio sur, y análogamente un mejor desarrollo de la cresta norte para los meses de verano del hemisferio norte (ver figuras). Este resultado es razonable considerando la mayor iluminación del sol. Sin embargo esto no se observa para la red asiática. Toda la estructura de la anomalía se presenta aquí en forma mucho menos definida.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Se intentará discutir algunas ideas físicas que probablemente actúen como base de sustentación a futuras explicaciones sobre los hechos más destacados que pueden observarse al estudiar la estructura de la anomalía.

En el presente trabajo, quizás lo más destacado provenga de las significativas diferencias observadas entre las dos regiones que se analizan. En la región americana, para todos los meses considerados, el desarrollo de la anomalía ecuatorial está perfectamente definido, ratificándose de esta manera la existencia de los mecanismos responsables de su formación y mantenimiento. Por el contrario para la zona australoasiática el desenvolvimiento de la anomalía es comparativamente mucho más pobre, llegándose a la situación extrema de poder afirmar francamente, que no existe durante varios meses. Esta situación se hace más notable si se recuerda que el mes de setiembre, por ejemplo, corresponde al equinoccio época normalmente favorable al desarrollo pleno de la anomalía.

El campo eléctrico \vec{E} hacia el este en conjunción con el campo B horizontal imparte una velocidad hacia arriba $\vec{v} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$ a la ionización. En consecuencia puede esperarse que las variaciones en las magnitudes locales tanto de \vec{E} como de \vec{B} afecten el desarrollo de la anomalía ecuatorial al variar las longitudes. Algunos autores como Walker y Strickland (1981) también encuentran un mantenimiento de la anomalía ecuatorial más pronunciado y prolongado en la región americana que en la del este asiático. Ellos sugieren que este hecho puede explicarse mediante vientos hacia el ecuador que soplando desde los polos mantienen las crestas de la anomalía, de la misma manera que puede existir un incremento en el campo eléctrico E hacia el este. Todo esto debe considerarse conjuntamente con el campo magnético B más fuerte en el sector asiático que en el americano limitando el ascenso de la ionización.

Respecto a la asimetría en la formación de la anomalía, las causas pueden surgir de lo siguiente: 1) se ha observado a partir de mediciones hechas con espectrómetros de masas (Prölss, 1980) que las variaciones en la composición local de la atmósfera neutra en relación al oxígeno atómico y al nitrógeno molecular pueden afectar tanto la velocidad de producción como la de pérdida de la ionización. En este aspecto, no se debe olvidar que hay factores geofísicos que pueden influir decisivamente en la ionósfera de bajas latitudes. Juega un importante rol la ubicación relativa de los ejes geográficos y magnéticos, ya que el ecuador magnético está aproximadamente 9° al norte del ecuador geográfico en el este asiático (longitud aproximada 120° E) mientras que está 12° al sur del ecuador geográfico en la región americana (longitud aproximada 75° O). Tanto la atmósfera neutra como los vientos neutros se supone

que tienden a ser simétricos respecto del ecuador geográfico (Anderson, 1970), y un desplazamiento entre los dos ecuadores implica una evidente asimetría en la dirección de la ionización.

Otro factor geofísico de importancia en relación a la estructura longitudinal de la anomalía está relacionado con las variaciones en la declinación magnética (Challinor y Eccles, 1971). Como la declinación magnética es hacia el este en el hemisferio sur para la región americana (longitud 75° W) y como después de la puesta del sol aparecen vientos zonales hacia el este que mueven la ionización hacia arriba de las líneas de campo, se evita así un decaimiento rápido de la ionización por recombinación dando lugar a las importantes densidades electrónicas observadas en la región americana. Este fenómeno no ocurre en la región del este asiático ya que allí la declinación es cero.

Actualmente se sabe bastante sobre la estructura longitudinal de la región F pero se necesita un conocimiento más adecuado de los vientos neutros y campos eléctricos para resolver y explicar en su totalidad la estructura fina de la anomalía ecuatorial en relación al tiempo local y las variaciones longitudinales. Los modelos deben tener en cuenta también las mediciones de atmósfera neutra para sustentar cabalmente las explicaciones de todos los detalles, poniendo el acento en las bajas latitudes.

Agradecimientos: Quiero agradecer muy especialmente la valiosa colaboración del Dr. José R. Manzano por sus importantes aportes y su gerencias en el desarrollo de este trabajo

BIBLIOGRAFIA

- Anderson D.N., 1970: N.C.A.R. Univ. of Colorado, Thesis.
 Anderson D.N., 1973: Planet. Space Sci., 21, 421.
 Challinor R.A. y Eccles D., 1971: J. Atmos. and Terr. Phys., 33, 363.
 Fejer B.G., 1981: J. Atmos. Terr. Phys., 40, 377.
 Prölss G.W., 1980: Rev. of Geophy and Sp. Phys., 18, 183.
 Thomas L., 1968: J. Geophys., 73, 6319.
 Walker G.O. y Ma J.H.K., 1980: Atmos. and Terr. Physics, 42, 629.
 Walker G.O. y Strickland A.E., 1981: J. Atmos. and Terr. Physics, 43, 763.
 Woodman R.F., 1970: J. Geophys. Res., 75, 6249.
 Woodman R.F., Rastogi R.G. y Calderon C., 1977: J. Geophys. Res., 82, 5257.

TABLA 1

Estación	Latitud		Longitud	
	Geog.	Magn.	Geog.	Magn.
<u>Región Americana</u>				
Islas Argentinas	-65.20	-53.76	295.70	292.65
Pto. Argentino	-51.70	-40.42	302.20	9.48
Buenos Aires	-34.55	-23.26	301.30	9.64
Tucumán	-26.90	-15.45	294.60	3.77
Huancayo	-12.05	- 0.64	284.67	354.27
Dakar	14.70	21.69	341.60	54.08
México	19.40	29.18	260.30	327.05
Wallops	37.90	49.30	284.50	352.70
Goose Bay	53.32	64.61	299.16	12.07
Godhavn	69.30	79.85	306.50	33.49
Resolute Bay	74.70	83.07	265.10	290.00
<u>Región Australo-Asiática</u>				
Terre Adélie	-66.70	-75.60	140.00	231.50
Hobart	-42.30	-51.61	147.30	224.92
Canberra	-35.30	-43.90	149.00	224.80
Brisbane	-27.50	-35.65	152.90	227.36
Townsville	-19.30	-26.39	146.70	219.28
Vanimo	- 2.70	-12.53	141.30	211.57
Manila	14.70	3.41	121.10	190.24
Okinawa	26.30	15.30	127.80	196.02
Yamagawa	31.20	20.36	130.60	198.25
Akita	39.70	29.53	140.10	205.87
Wakkanai	45.40	35.33	141.70	206.45
Yakutsk	62.00	50.90	129.60	194.10

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

Figura 1: Se grafican los valores de la concentración electrónica máxima NmF2 en función de la latitud geomagnética para los meses de enero y febrero, para las regiones americana y australoasiática. El parámetro es la hora local habiéndose separado la mañana de la tarde. Se indica explícitamente el ecuador geomagnético.

Figura 2: Idem anterior pero para los meses de noviembre y diciembre.

Figura 3: Idem figura 1 para mayo y junio.

Figura 4: Idem figura 1 para julio y agosto.

Figura 5: Idem figura 1 para marzo y abril.

Figura 6: Idem figura 1 para setiembre y octubre.

REGION AUSTRALO ASIATICA

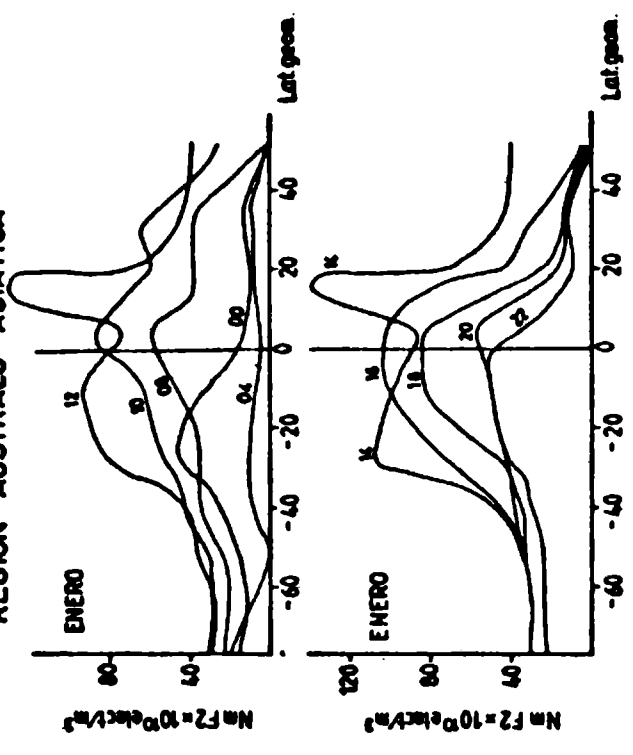


FIG. 1a

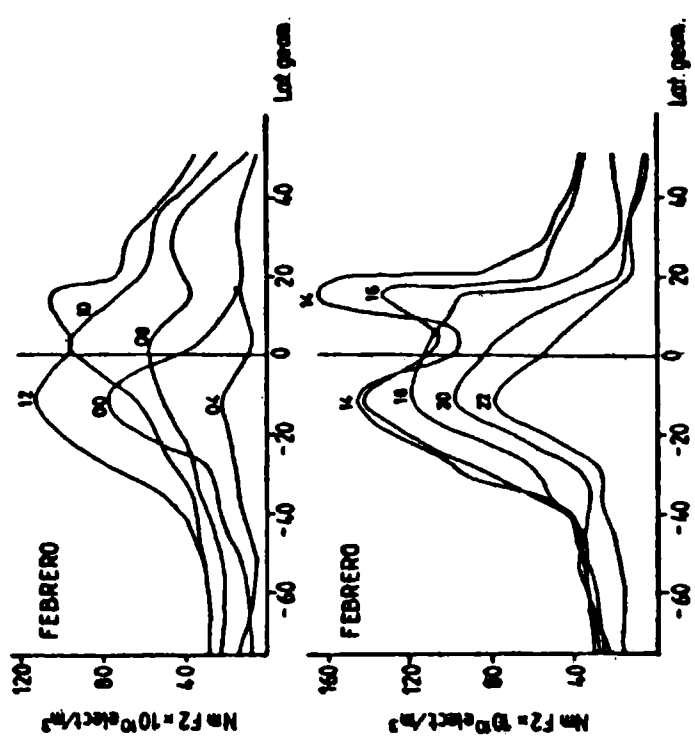
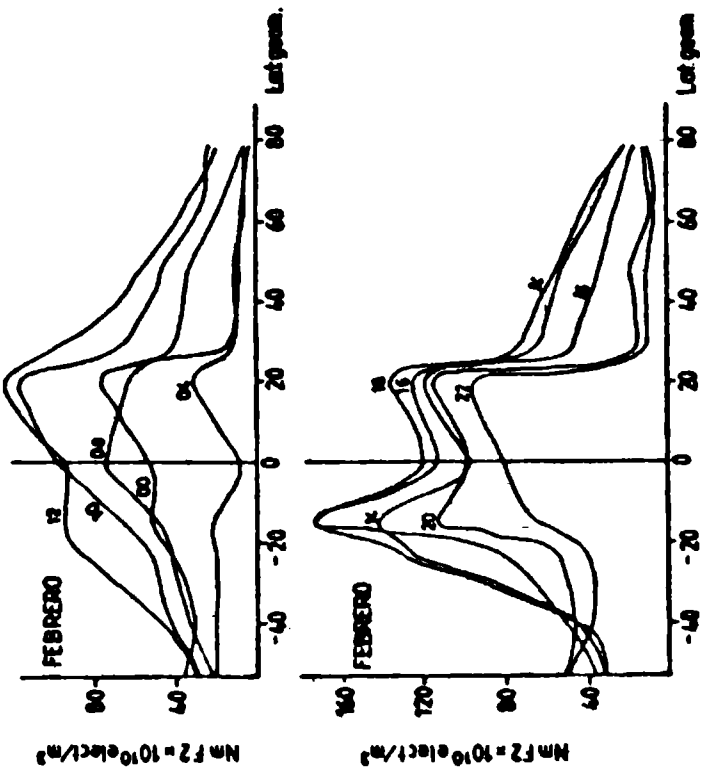
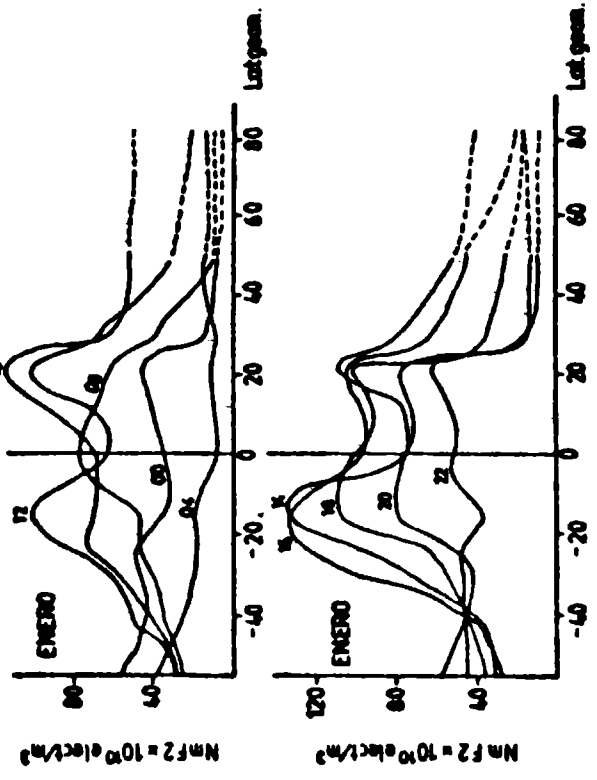


FIG. 1b

REGION AMERICANA



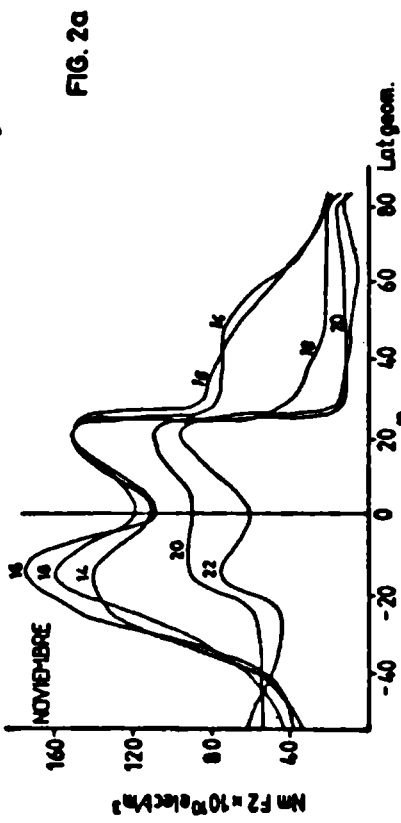
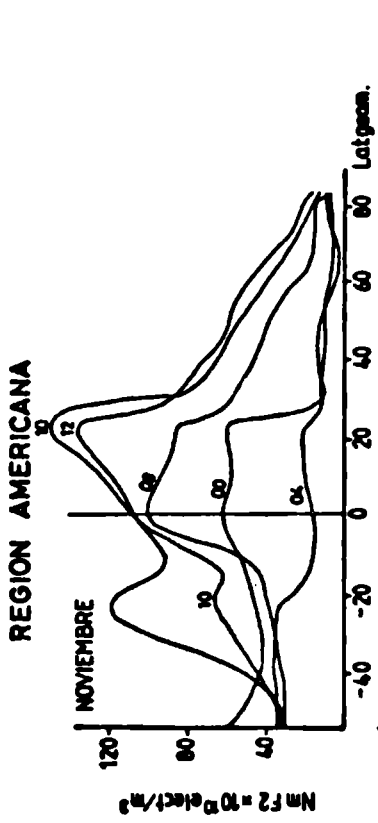


FIG. 2a

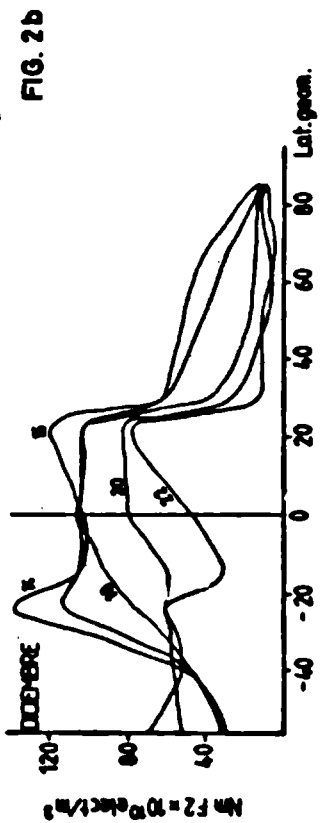
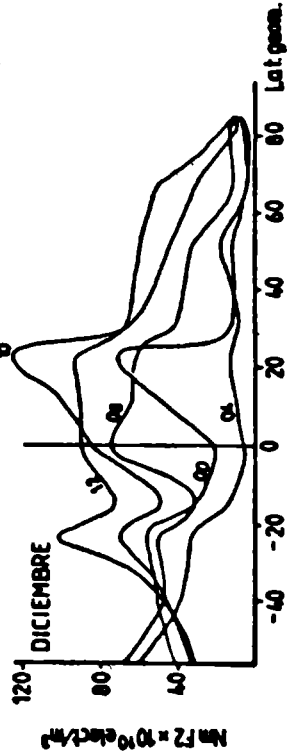
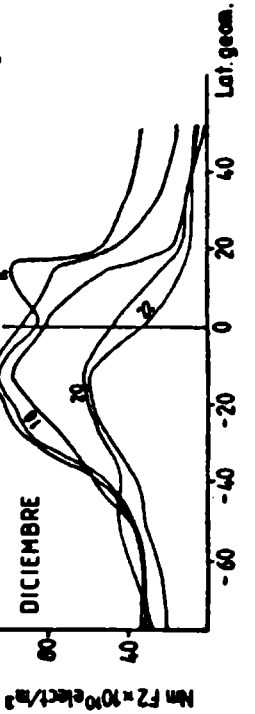
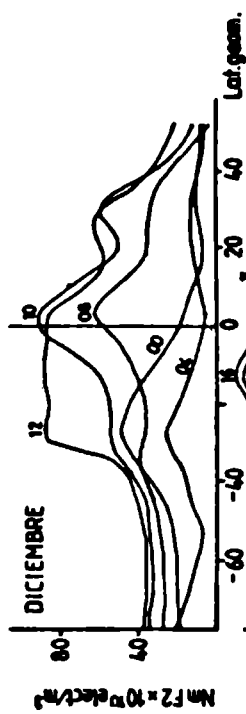
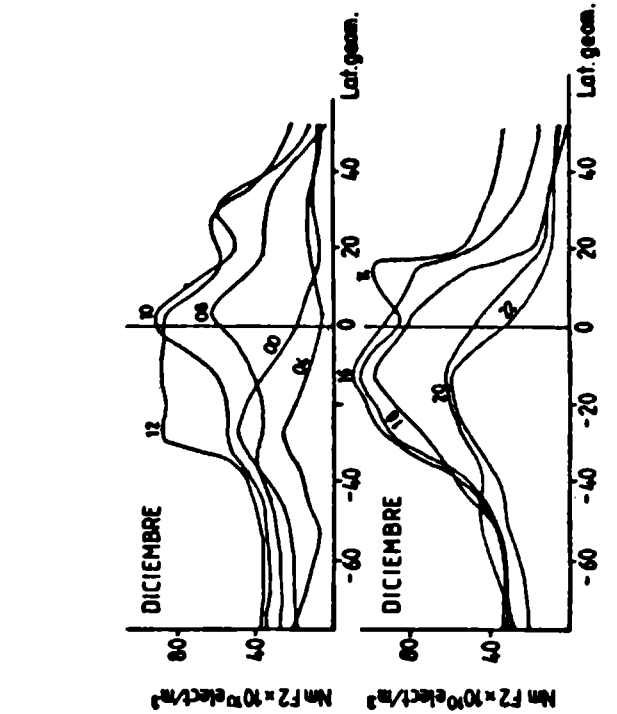
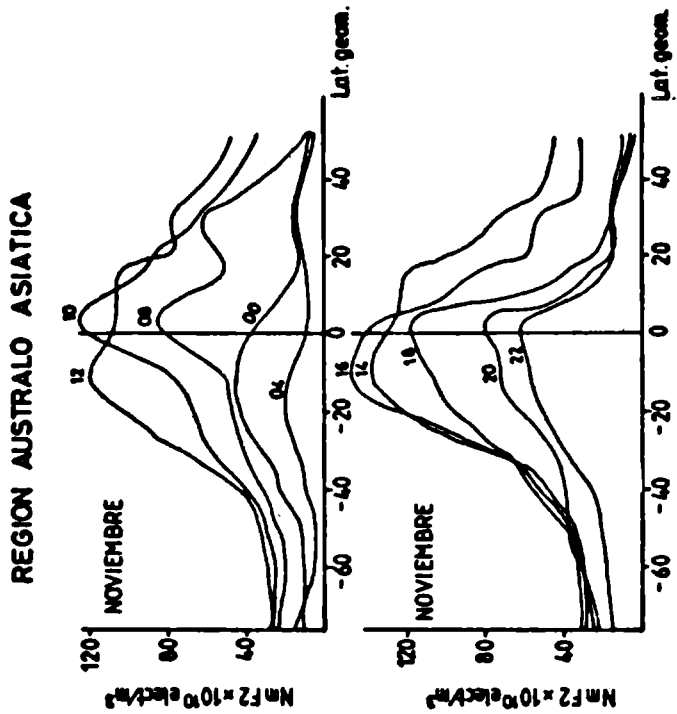


FIG. 2b



REGION AUSTRALO ASIATICA

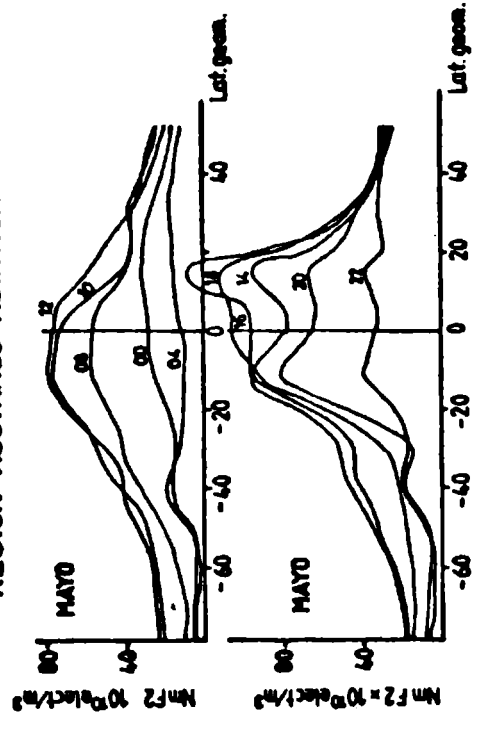


FIG. 3a

REGION AMERICANA

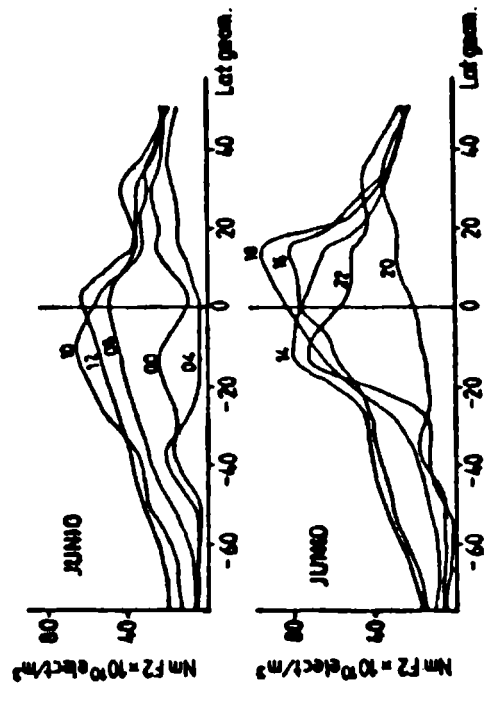
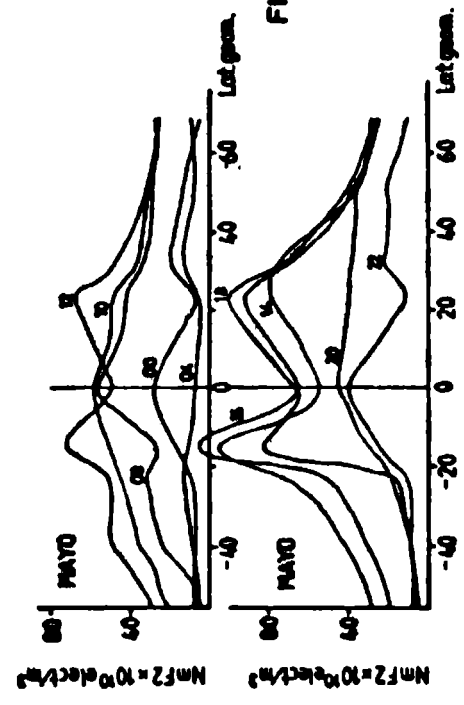
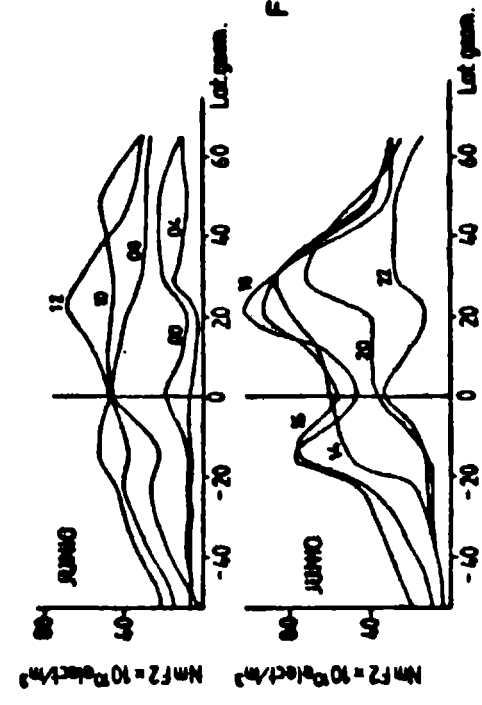


FIG. 3b



REGION AUSTRALO ASIATICA

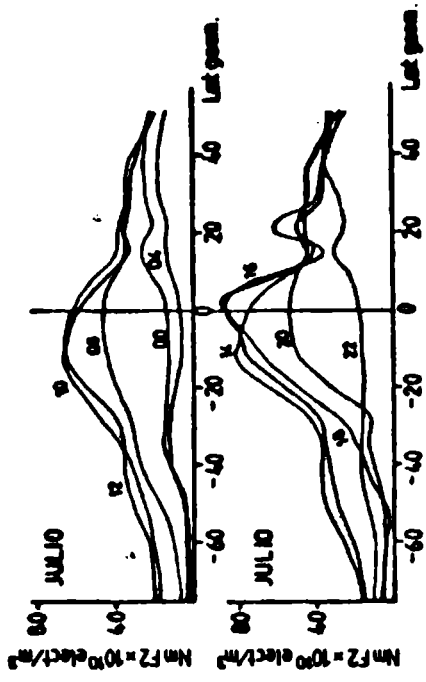


FIG. 4a

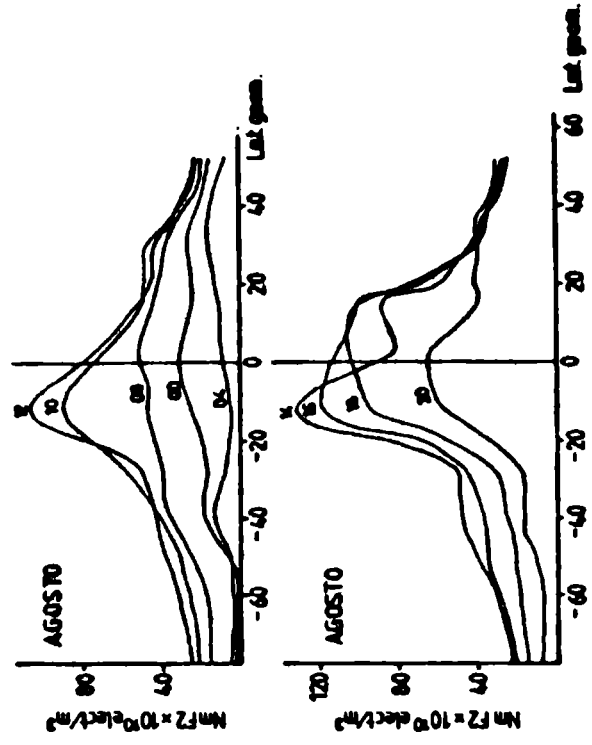
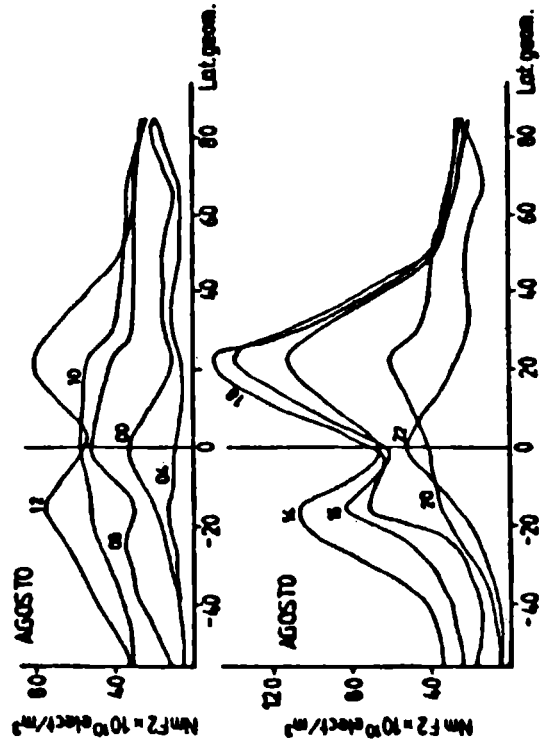
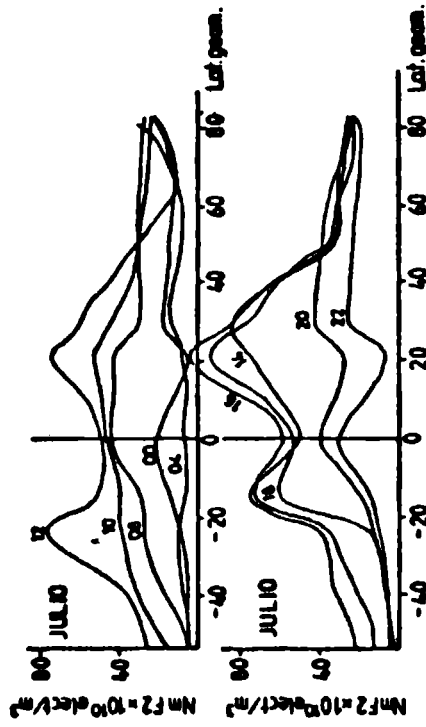


FIG. 4b

REGION AMERICANA



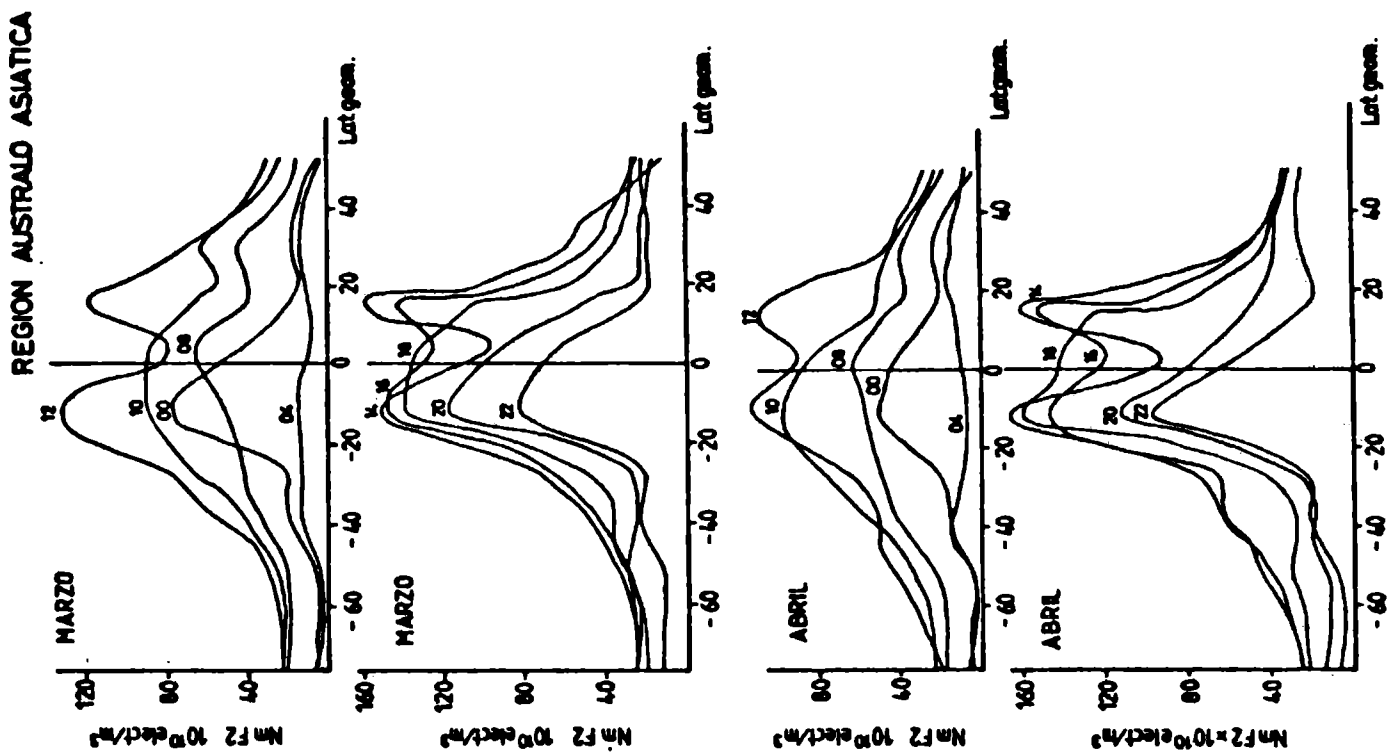


FIG. 5a

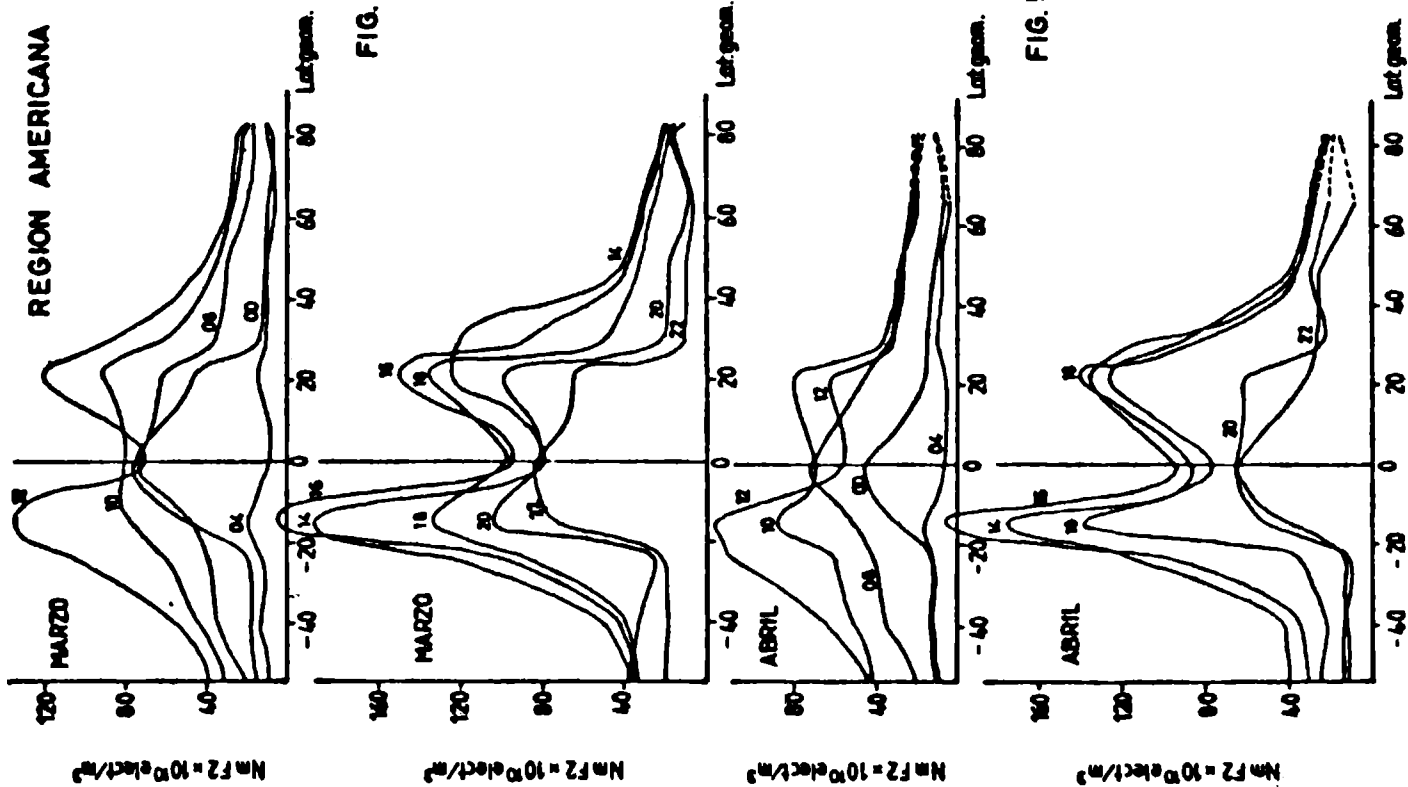


FIG. 5b

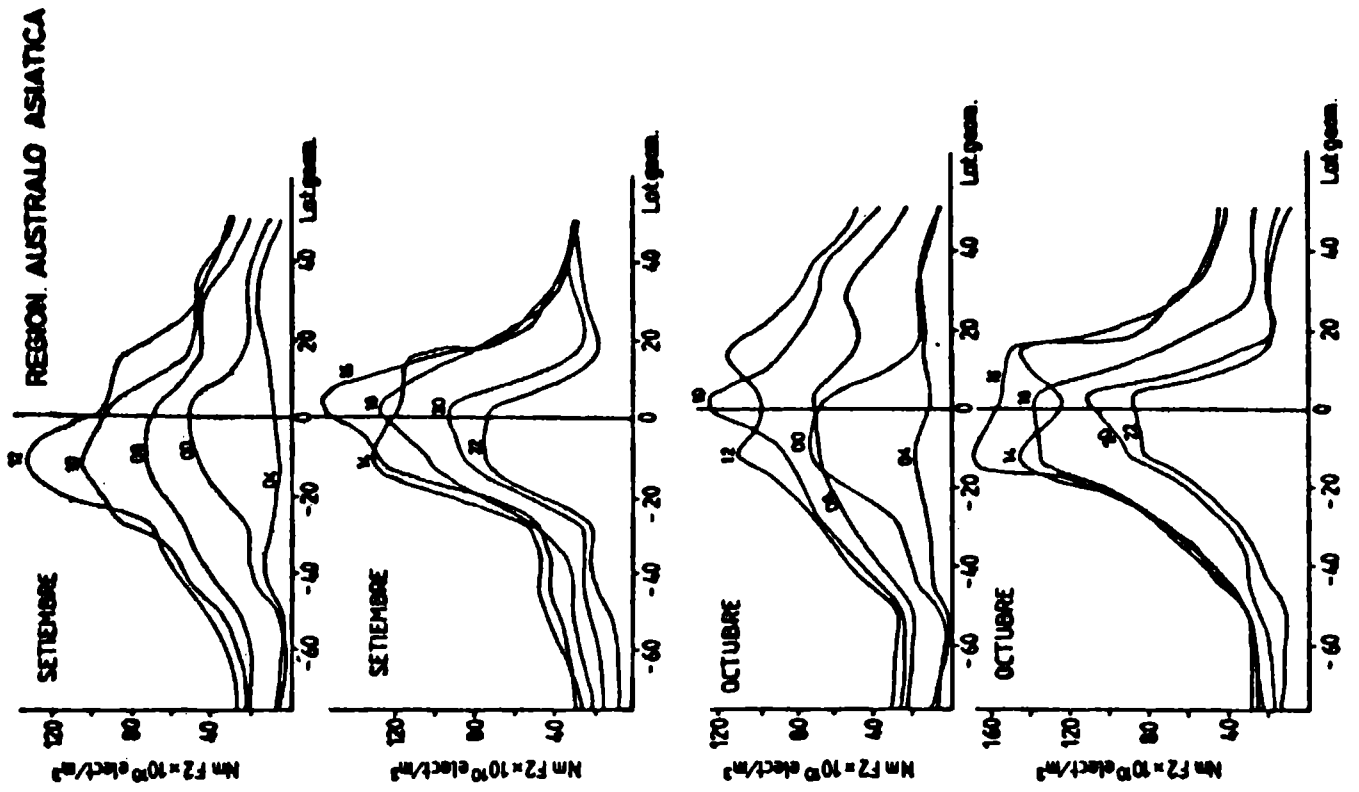


FIG. 6a

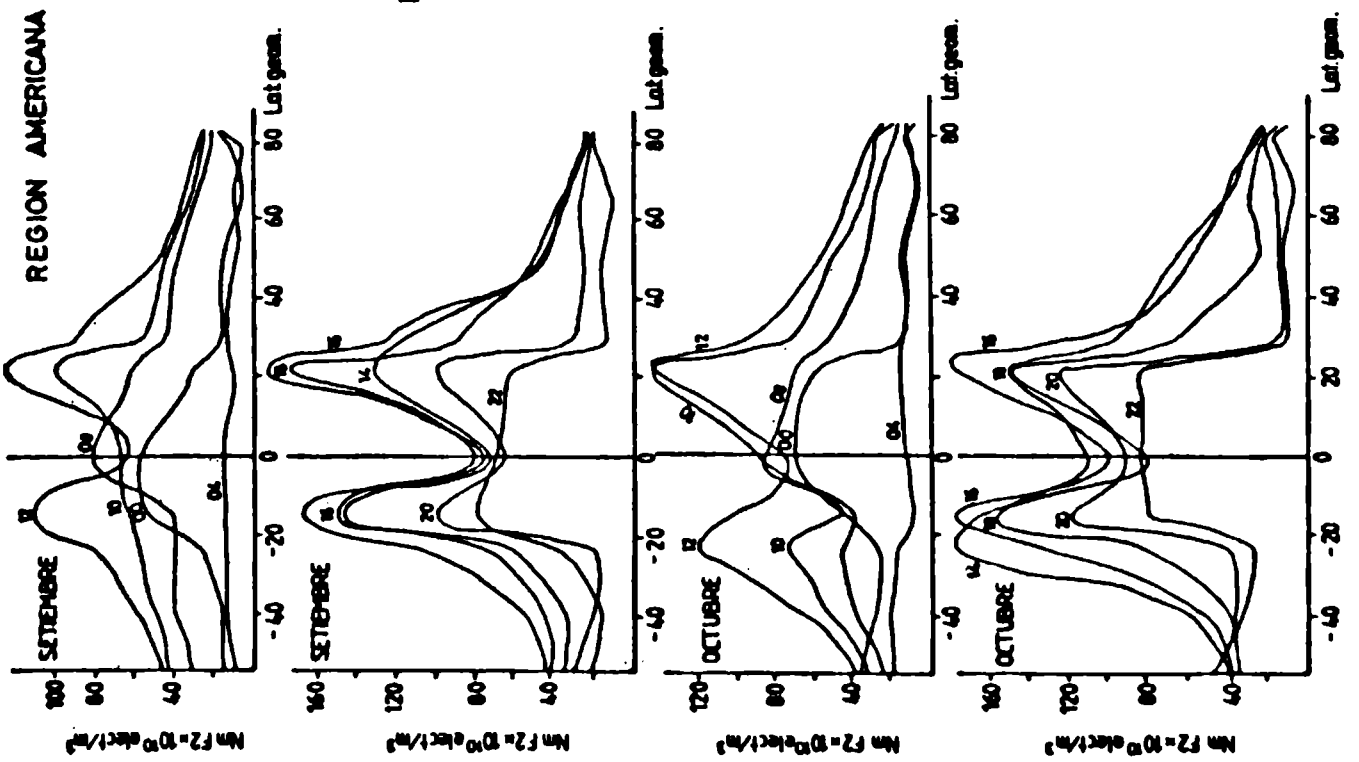


FIG. 6b