

Despliegues aurales observados desde la Estación Belgrano

V. M. SILBERGLEIT

*Departamento de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires. Ciudad Universitaria. Pabellón II.
1428-Buenos Aires. Argentina*

(Manuscrito recibido el 14 de sept. 1994; aceptado en forma final el 23 de enero de 1995)

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es realizar una síntesis de observaciones aurales anuales (espectroscópicas, fotográficas y visuales) obtenidas en la Estación Antártica Belgrano cuyas coordenadas geográficas son: 78.0°S y 38.8°W.

Se considera la estadística correspondiente a 145 noches, comprendidas en el período oscuro abril-septiembre de 1971.

Una primera evaluación de los datos, demuestra que para el período mencionado, se registraron un 45% de noches sin auroras (este valor incluye las noches: nubladas, con fuerte brillo lunar y con ventiscas que impiden la clara visualización del cielo).

Se observaron un 41.4% de intensificaciones súbitas en la línea de 557.7nm, un 37.5% en la de 630.nm y un 21% en la de 427.8nm.

En los meses de julio, agosto y septiembre se verificó un aumento de las intensificaciones luminosas del oxígeno y una disminución de las correspondientes al nitrógeno.

Se observó que el número de apariciones aurales era máxima alrededor del equinoccio de primavera (en el Hemisferio Sur), y que las mismas ocurrían con mayor frecuencia alrededor de la medianoche local, es decir las 3 hs (Tiempo Universal).

ABSTRACT

Our research was based on different kinds of auroral observations at Belgrano Station (78.0°S, 38.8°W). We have studied 145 dark days, from March to September, 1971.

We have obtained about 45% nights without identified auroral displays, because periods with bright moonlight and blizzards were rejected.

Sudden enhancement of emissions occurred about 41.4%, 37.5% and 21% (for the lines of 557.7nm, 630.0nm and 427.8nm, respectively) of the identified events.

During July, August and September we have seen the increases of sudden enhancement of atomic oxygen emissions and the corresponding decreases of the nitrogen bands.

The annual period of auroras observed at Belgrano Station, shows a peak at the time of the spring-equinox, and they are most frequent around the local midnight with a maximum at around the 3 hs (Universal Time).

1. Introducción

La Aurora es la imagen luminosa producida por la interacción del plasma magnetosférico y la atmósfera superior. Existiendo una continua pero altamente variable transferencia de energía desde el viento solar a la ionosfera.

Los numerosos estudios sobre la distribución de arcos y despliegues aurorales en el Hemisferio Sur, se iniciaron aproximadamente en la década del treinta (Schneider, 1959). Desde los comienzos de la década del cincuenta, se ha verificado su relación con los índices geomagnéticos planetarios (Chapman, 1957; Bartels, 1962).

En la Estación Belgrano, se realizaron estudios con cámara "todo-cielo" con anterioridad a la década del sesenta (IAA, 1969).

El fenómeno auroral ocurre a más de 100 km de altura y con buenas condiciones de visibilidad puede ser observado desde lugares ubicados a más de 1000 km de distancia desde el lugar de la superficie terrestre donde se halla la proyección del cenit (Arnoldy, 1971; López *et al.*, 1990; McPherron, 1991).

En consecuencia en la región cis-auroral, la aurora generalmente se observa como una zona luminosa, con apoyo en el horizonte en la dirección de los polos. Esta luminosidad sólo es parte del despliegue que se encuentra a mayor latitud. Todo el despliegue o su mayor parte, podrá ser observado desde la región auroral o desde sus proximidades. Durante los períodos de gran actividad solar, las auroras pueden ser observadas desde menores latitudes, aunque rara vez han sido vistas desde los trópicos.

De acuerdo con la clasificación Internacional de Auroras, las mismas se pueden identificar a través de:

a) Su color: Rojo sólo en la parte superior.

Borde inferior rojo.

Aurora verde o blanca.

Aurora de color rojo.

Aurora de color rojo y verde.

Azul o violeta predominante.

b) Su brillo: se utiliza el índice de luminosidad que puede adquirir los valores 1, 2, 3 ó 4.

Valor 1: aurora débil comparada con el brillo de la Vía Láctea.

Valor 2: comparable con el brillo de una nube *cirrus* iluminada por la Luna.

Valor 3: *idem* 2 pero nube tipo *cirrus*.

Valor 4: brillo mucho mayor que 3.

c) Su condición: quietas y activas.

d) Su estructura: homogéneas, estriada y rayada.

e) Su forma: bandas, rayos y difusas.

Las características espectrales de la luz, excepto para las emisiones del hidrógeno, son controladas por las condiciones locales del volumen radiante (composición, densidad, temperatura, movimientos de deriva, etc.). Las emisiones del hidrógeno proveen generalmente, una medida directa de la energía precipitada en la atmósfera.

Las observaciones Terrestres (WDC A, 1975 y WDC A, 1977) proveen información espacial y temporal de estos procesos tan dinámicos y complejos, que pueden llegar a afectar las comunicaciones, las órbitas satelitales, etc. A su vez, las partículas y la radiación existentes en el espacio, pueden contaminar las mediciones satelitales (Maezawa, 1979).

II Antecedentes

II.1 Ovalo auroral

La distribución global de auroras ha sido difícil de determinar con anterioridad a las imágenes satelitales. Existen dos soluciones al problema de describir la distribución espacial de auroras.

1. Se considera la distribución instantánea de auroras.
2. Se realiza un promedio estadístico de las observaciones durante un largo período.

Los contornos de igual probabilidad de observaciones aurorales, son aproximadamente círculos de latitud geomagnética constante. Se denomina Zona Auroral a la banda existente entre las latitudes geomagnéticas de 65° y 70° en la cual la probabilidad de observar auroras cada noche, es prácticamente unitaria.

Akasofu (1964), describió la dinámica de los desplazamientos aurorales individuales, introduciendo el concepto de subtormenta auroral. Los conceptos de óvalo auroral y de subtormenta auroral, proveen las herramientas para la descripción de la morfología auroral y han tenido una gran influencia en el desarrollo de los modelos teóricos aurorales (Maezawa, 1979; Silbergleit and Schneider, 1992).

II.2. Observaciones espectroscópicas

Las observaciones, han mostrado que la luz auroral está compuesta por líneas y bandas que han sido fehacientemente identificadas (Chapman y Bartels, 1940).

1. La línea verde del oxígeno atómico: denominada línea auroral (557.7 nm). La larga vida de esta línea limita su utilidad para la observación de la dinámica auroral. Esta línea se ve debilitada por colisiones dentro de la atmósfera, de esta manera permite la visualización de la línea roja por debajo de los 95 km de altura. Frecuentemente, se utilizan filtros que eliminan la línea verde con el fin de registrar las imágenes aurorales con cámaras de TV sensibles al rojo.
2. La línea roja del oxígeno atómico: llamada la línea nebulosa, corresponde al doblete de 630.0 y 634.4 nm. Su vida media es de 110 seg. En las auroras normales, es posible visualizarla debido a que está dentro del umbral visible del ojo humano. Las auroras rojizas ocurren más frecuentemente en las proximidades de los máximos del ciclo solar. Cuando estas auroras aparecen, frecuentemente se extienden hacia las latitudes bajas.
3. Las bandas del nitrógeno molecular ionizado: son conjuntamente con las líneas del oxígeno atómico, las responsables del brillo de las emisiones aurorales. La apariencia visual puede variar desde el azul (cuando predominan las bandas de 391.4, 427.9 y 470.9 nm) hasta el rojo (650.0 a 690.0 nm). En la aurora, esta mezcla produce el tono rosa.
4. La emisión del hidrógeno: correspondiente a la línea de 486.1 nm provee una medida del flujo de protones dentro de la ionosfera auroral, en este caso, los átomos radiantes no pertenecen a la atmósfera.
5. Emisiones ultravioletas: provienen del oxígeno (130.4 nm) y del nitrógeno atómicos (146.4, 155.4 and 161.1 nm). Estas emisiones son fuertemente absorbidas en la atmósfera. Se las utiliza en la producción de imágenes aurorales desde satélites.

III. Resultados

III.1 Observaciones aurorales desde la estación Belgrano

En la Estación Belgrano, que estaba situada sobre la plataforma de hielo Filchner en las coordenadas geográficas: 78.0°S y 38.8°W , operaban durante el año 1971 los siguientes instrumentos:

- a) Cámara a "todo cielo", que fotografiaba el cielo, cada minuto. Se utilizaron películas de 250° ASA y objetivo de luminosidad f/8. El tiempo de exposición fue de 15 a 50 seg. Se especificaron el día, la hora, los minutos y los segundos.
- b) Magnetómetro Flux-Gate, que proveyó registros continuos de las tres componentes del campo geomagnético.
- c) Fotómetro orientado hacia el cenit, cuyos registros continuos corresponden a las emisiones de 427.8, 557.7 y 630.0 nm.
- d) Operador visual, que registraba las imágenes de la bóveda celeste cada 15 minutos.

Se realizaron observaciones continuas durante el período del crepúsculo y oscuridad, los datos del operador visual se registraron en tarjetas Formulario N° 89 "Informe Observación Visual de Auroras", versión ligeramente modificada para uso de los observadores argentinos en el Antártico de la tarjeta diseñada por el Profesor Dr. Gartlein, de la Universidad de Cornell (de acuerdo con las Instrucciones para observar visualmente auroras, del I.A.A., 1969).

Las alturas de los bordes inferiores de las formas fueron determinadas mediante el uso de un clinómetro, y su acimut apreciado teniendo como guía un limbo graduado ubicado en la torre de observación.

Los símbolos utilizados para representar las formas fueron similares a los definidos por Gartlein y Kimball, 1957. Las nomenclaturas adoptadas son las que figuran en el International Auroral Atlas (1963), vigente en la actualidad. Para el presente trabajo, se analizaron aproximadamente 180 mil fotos blanco y negro, unas 12 mil tarjetas visuales y aproximadamente 200 días de registros fotométricos continuos (Silbergleit and Schneider, 1992; Silbergleit, 1995) .

III.2 Morfología de las auroras

Los estudios correspondientes a 145, durante los cuales las observaciones aurorales fueron posibles, dieron las siguientes distribuciones morfológicas de auroras:

El 39% de las estructuras detectadas correspondieron a despliegues rayados, mientras que en

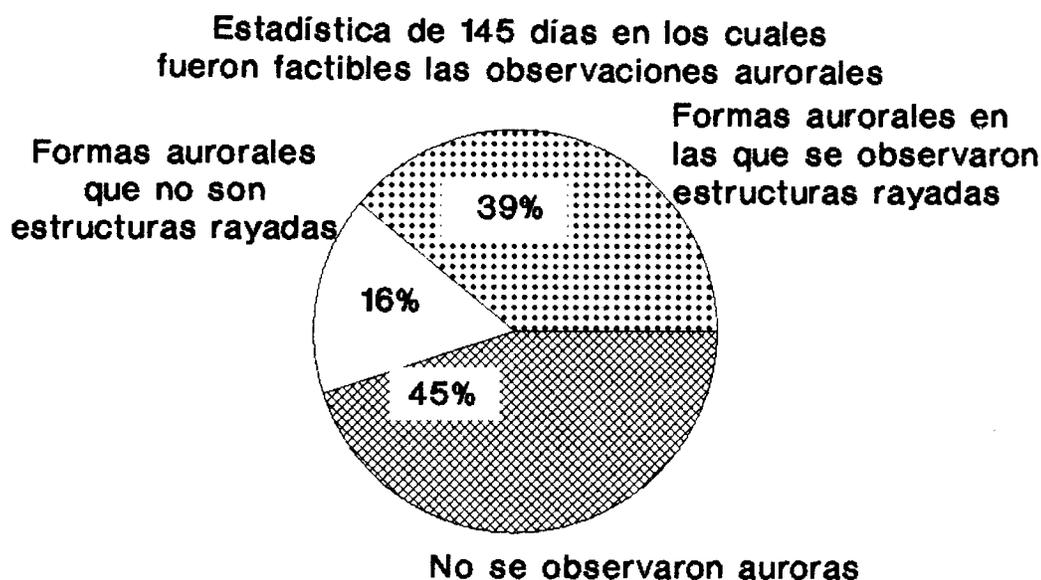


Fig. 1. Representación porcentual de las formas aurorales observadas desde la Estación Belgrano durante los meses de oscuridad correspondientes al año 1971.

el 16% de las ocurrencias restantes se registraron otras formas. Un 45% de los días no fueron aptos para su detección por hallarse el cielo nublado, ser el brillo lunar intenso, registrarse fuertes ventiscas o no existir despliegues. (Fig. 1).

III.3 La luz auroral

Para el análisis de los registros fotométricos, se consideraron las intensificaciones bruscas simultáneas de dos o tres líneas y/o bandas. Los resultados promedio a los que se arribaron han sido:

Línea verde: 41%

Línea roja: 37.5%

Banda azul: 21.0%

Estos valores son mostrados en la Figura 2.

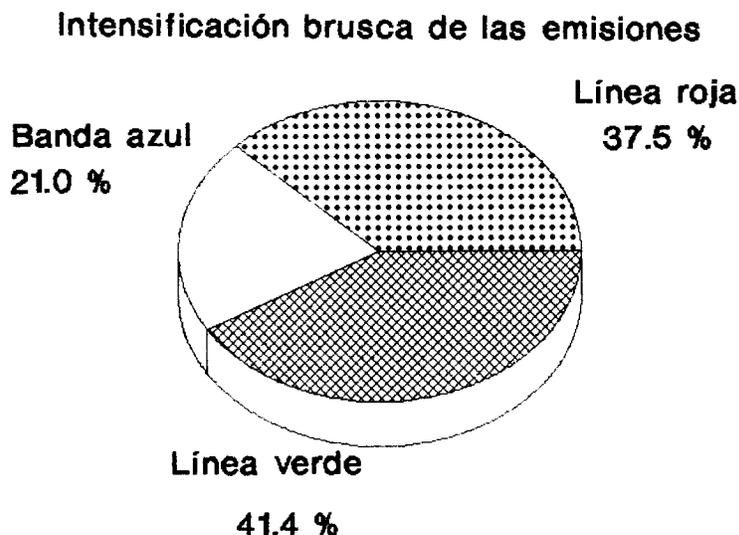


Fig. 2. Porcentajes de intensificaciones bruscas de las emisiones aurorales observadas desde la Estación Belgrano durante el período oscuro de 1971.

De las observaciones mensuales de las bruscas intensificaciones simultáneas de las emisiones, se observa que durante los meses de abril, mayo y junio, se mantienen proporciones semejantes, en tanto que en los meses de julio, agosto y septiembre se verifica un crecimiento de las líneas pertenecientes al oxígeno a expensas de las bandas del nitrógeno, en cada mes. En la Figura 3 se grafican los correspondientes valores.

Intensificación de las emisiones aurales detectadas en la Estación Belgrano

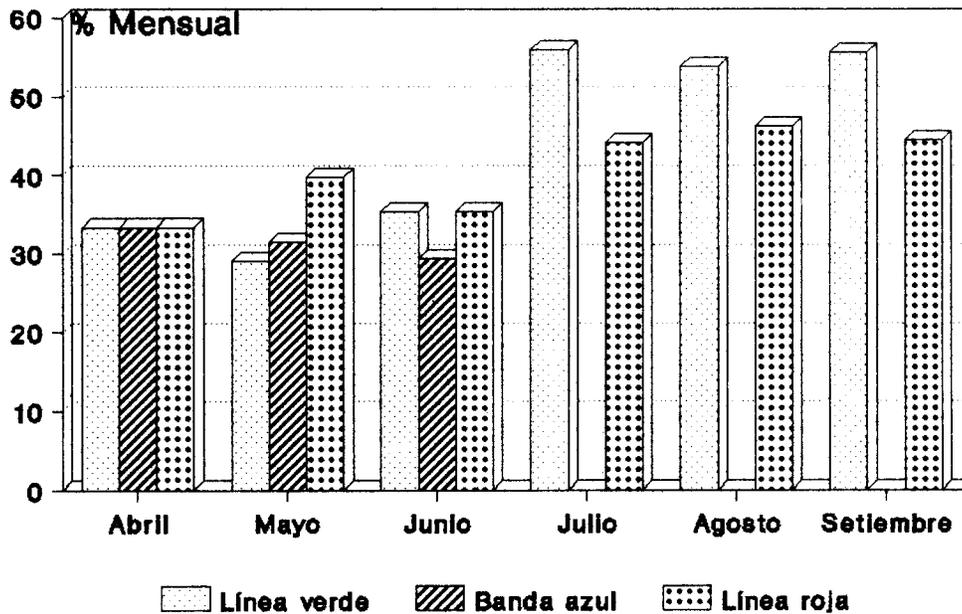


Fig. 3. Porcentajes mensuales correspondientes a las intensificaciones bruscas de 2 ó 3 longitudes de onda visibles, observadas desde la Estación Belgrano durante el periodo comprendido entre abril y septiembre de 1971.

III.4 Estadísticas de estructuras rayadas

Del análisis de las apariciones aurales mensuales, correspondientes a estructuras rayadas, se observa la tendencia a tomar valores máximos en las proximidades de los equinoccios de otoño y primavera (sólo se consideraron para el mes de septiembre las observaciones obtenidas durante

Brusca aparición de estructuras rayadas observadas desde la Estación Belgrano durante el invierno de 1971

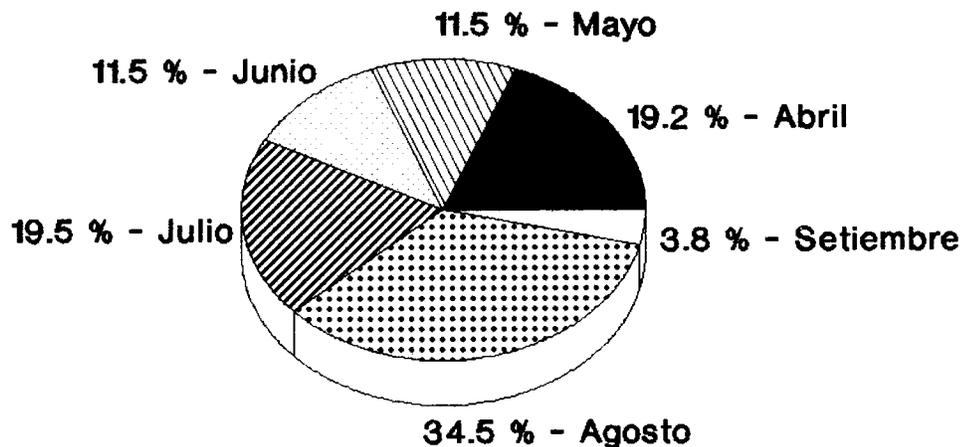


Fig. 4. Porcentajes mensuales de aparición de despliegues aurales rayados, observados en la Estación Belgrano. El mes de septiembre sólo ha contado con la contribución de 7 días debido al comienzo del periodo de claridad.

la primera semana de ese mes, pues a partir de la misma comienza el período de claridad), estos resultados son mostrados en la Figura 4.

El estudio de la frecuencia observacional diaria de auroras da como resultado una máxima probabilidad de visualización de las mismas alrededor de las 3 hs (Tiempo Universal), sin embargo, también existe una alta probabilidad de detectar un despliegue alrededor de la medianoche (Tiempo Universal). Estos datos han sido graficados en la Figura 5.

Variación promedio de la frecuencia auroral en la Estación Belgrano durante la noche

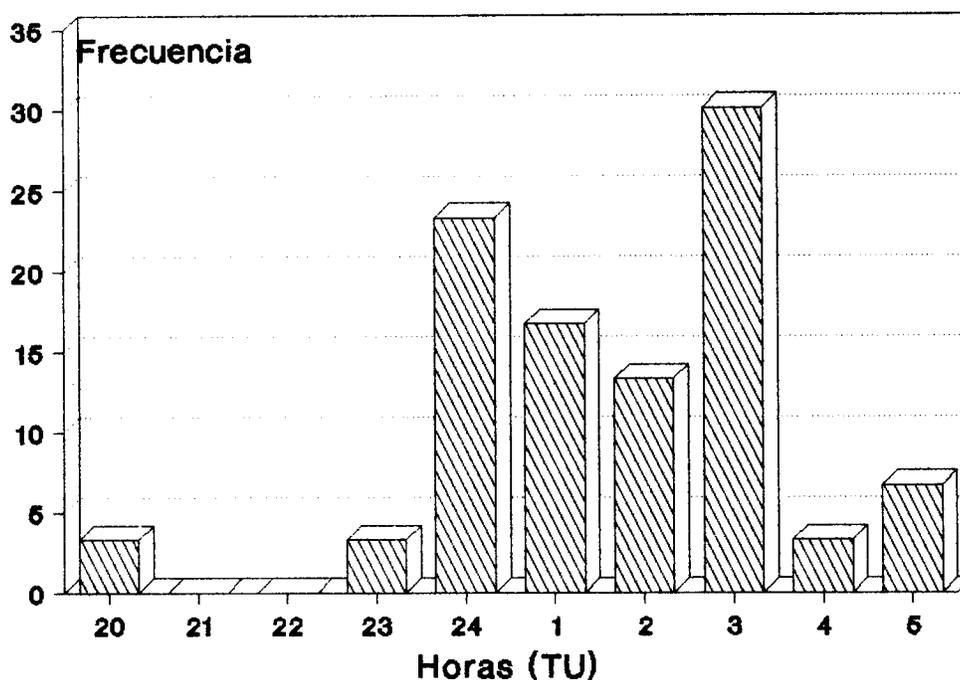


Fig. 5. Frecuencia de aparición de estructuras rayadas durante el período comprendido entre la 20 hs y las 5 hs. Se observan dos máximos correspondientes a las 24 hs y a las 3 hs (Tiempo Universal).

IV. Discusión de los resultados

El estudio anual de auroras, correspondiente a los meses oscuros de 1971 desde la Estación Antártica Belgrano muestra:

1. Un máximo de apariciones aurorales en las proximidades del equinoccio de primavera (como también lo han verificado para el Hemisferio Norte, Silverman y Schapiro, 1983) en coincidencia con lo que ocurre con la actividad geomagnética (Chapman y Bartels, 1940). El mismo resultado fue obtenido para la intensificación de las dos líneas correspondientes al oxígeno atómico.
2. En el óvalo auroral correspondiente al Hemisferio Sur, la aparición de auroras es más frecuente alrededor de la media noche local (Schneider, 1964). En la Estación Belgrano, durante el período oscuro de 1971 dicha probabilidad registró dos máximos de ocurrencia a las 0 h y 3 hs (Tiempo Universal).

3. El estudio estadístico de 145 días durante los cuales fue posible la observación de despliegues aurorales da como resultado que la relación entre estructuras rayadas y otras formas está representada por el cociente $5/2$.
4. Las intensificaciones bruscas de las emisiones aurorales observadas, siguen la relación: Banda azul/Línea roja/Línea verde = $1/2/2$
5. A través de las observaciones de las fotos tomadas con la cámara "todo cielo", con una resolución temporal de un minuto, se verificó que la evolución temporal de las auroras seguía el siguiente esquema:
 - a) Existencia bajo el horizonte de un arco luminoso.
 - b) Gradualmente, el arco luminoso aumenta su intensidad y se mueve hacia el cenit.
 - c) El arco luminoso pierde brillo y se aleja del cenit, extinguiéndose en la zona donde apareció.
 - d) Otras veces, la banda se vuelve brillante y despliega rayos concéntricos hacia el polo magnético, revelando su íntima conexión con las fuerzas magnéticas de la Tierra.
 - e) La aurora cambia continuamente de lugar, forma intensidad y color, sin embargo la intensidad absoluta de la misma es baja. Frecuentemente, desaparece durante pequeños períodos y vuelve a aparecer repentinamente.

Una descripción semejante correspondiente a observaciones aurorales realizadas en la Estación Científica Ellsworth (cuyas coordenadas geográficas son: $77^{\circ}43' S$ y $41^{\circ}07' W$) ha sido presentada por Schneider, 1964.

V. Conclusiones

El presente estudio presenta la compilación de las observaciones aurorales realizadas durante el período oscuro de 1971, desde la Estación Antártica Belgrano, situada en uno de los bordes del cinturón auroral del Hemisferio Sur.

Se utilizaron los registros fotográficos de una "cámara todo cielo", un fotómetro orientado hacia el cenit y tarjetas de observaciones visuales.

Se registraron un 45% de noches sin auroras (considerando dentro de este valor: noches nubladas, con fuerte brillo lunar y con ventiscas).

Se observaron un 41.4% de intensificaciones súbitas en la línea de 557.7 nm, un 37.5% en la de 630 nm y un 21% en la de 427.8 nm.

En los meses de julio, agosto y septiembre se verificó un aumento de las intensificaciones luminosas del oxígeno y una disminución de las correspondientes al nitrógeno.

Se observó que el número de apariciones aurorales era máxima alrededor del equinoccio de primavera (en el Hemisferio Sur), y que las mismas ocurrían con mayor frecuencia alrededor de la medianoche local, es decir las 3 hs (Tiempo Universal).

Los resultados de este trabajo, están en buen acuerdo con otros anteriormente publicados, pero especialmente coinciden con los registrados en la Estación Científica Ellsworth que se encuentra emplazada algunos grados fuera de la zona de máxima frecuencia auroral.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por el financiamiento del presente trabajo (a través del PIA 0113/92), al Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad

de Ciencias Exactas y Naturales, Cátedra de Geofísica, por permitirme trabajar en su ámbito, y al Instituto Antártico Argentino por brindarme el libre acceso a los datos aurorales.

REFERENCIAS

- Akasofu, S-I, 1964. The development of the auroral substorm. *Planet. Space Sci.* **12**, p.273.
- Arnoldy, R. L., 1971. Signature in the Interplanetary Medium for Substorms. *J. Geoph. Res.* **76**, p.5189.
- Bartels, J., 1962. Geomagnetic Planetary Three-Hour Range Indices Kp Derived from K-Figures of Selected Stations. IUGG. C,K Centre, Kon. Ned. Meteor. Inst., Three-monthly Bulletin for April-June. De Bilt, Holland.
- Chapman, S. and J. Bartels, 1940. Geomagnetism. Ed. Oxford University Press.
- Chapman, S., 1957. Visual Aurora Observation. *Annals of the International Geophysical Year*, vol. IV, Part II, p. 41. London.
- Gartlein, C. and D. S. Kimball, 1957. Visual Aurora Observations and Reporting for Observers in the United States of America During the I.G.Y. 1957-58. Cornell University. Ithaca, USA.
- Instituto Antártico Argentino, 1969. Instrucciones para Observar Visualmente Auroras. Buenos Aires, Argentina.
- International Auroral Atlas, 1963. Ed. IUGG, Edimburgo, Scotland.
- López, R. E. and A. T. Y. Lui, 1990. A multy satellite study of the expansion of a substorm current wedge in the near-earth magnetotail. *J. Geoph. Res.*, **85**(A6), p.8009.
- Maezawa, K., 1979. Statistical Study of the Dependence of Geomagnetic Activity on Solar Wind Parameters. In Quantitative Modelling of Magnetospheric Processes. *Geophysical Monograph.* **21**.
- McPherron, R. L., 1991. Physical processes producing magnetospheric substorm and magnetic storms. In Geomagnetism. Vol 4., J. A. Jacobs, ed., Academic Press., p.593.
- Perreault, P. and S. I. Akasofu, 1978. A Study of Geomagnetic Storms. *Geoph. J. Res. Astron. Soc.* **54**, p.547.
- Schneider, O., 1959. Some Results of a Study of Aurora Australis at the Argentine Antarctic Stations (resumen). Antarctic Symposium, Buenos Aires. UGGI. Monographie N° 5., p. 55. París, Francia.
- Schneider, O., 1964. La Investigación Actual de la Aurora Austral (1ra. parte). *Ciencia e Investigación*, T20, p.415.
- Schneider, O., 1964. La Investigación Actual de la Aurora Austral (2da. parte). *Ciencia e Investigación*, T20, p. 441.
- Silbergleit, V. M. y O. Schneider, 1992. Correlación entre Parámetros del Viento Solar y la Ruptura Auroral. Memorias de la II Conferencia de Ciencias de la Tierra. Chile, p. 377.
- Silbergleit, V. M. y O. Schneider, 1992. The Auroral Break-Up as Related to Geomagnetic Storms and Substorms. Proceedings of the First International Conference on Substorms. Sweden. ESA-SP 335, p.529.
- Silbergleit, V. M., 1995. The Auroral Break-up as Related to the Interplanetary Parameters and the Geomagnetic Activity. *Geoacta*, **21**, p. 23.

Silverman, S. M. and R. Shapiro, 1983. Power Espectral Analysis of Auroral Occurrence Frequency. *J. Geoph. Res.*, **88**, A8, p. 6310.

World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, 1975. Auroral Electrojet. Magnetic Activity Indices AE(11) for 1971. Bulletin UAG-39.

World Data Center A, for Rockets and Satellites, 1977. Interplanetary Medium Data Book.