

Análisis de la Frecuencia de Ocurrencia de Nubes Cirros en las Observaciones en Estaciones de superficie en la Región de Camagüey.



Autor: Boris Barja

Centro Meteorológico de Camagüey. Gaveta Postal 134. Camagüey 70100. Cuba.

bbarja@met.cmw.inf.cu

Resumen.

Las Nubes Cirros Tropicales representan en la actualidad una cuestión de interés para la comunidad científica. Estas tienen una gran incidencia directa sobre el balance de radiación y por ende influyen en el clima global. Existen evidencias de que las nubes cirros son muy frecuentes en las cercanías de la Tropopausa Tropical y de que tienen relación con la cantidad de vapor de agua existente en estas regiones. La escasez de mediciones e información sobre nubes cirros en el Trópico, y los pocos resultados estadísticos reportados sobre éstas avalan la existencia de este trabajo.

En el presente artículo se muestra un análisis realizado en los reportes de nubes cirros contenidos en las observaciones tri-horarias obtenidas de seis estaciones meteorológicas de superficie ubicadas en la Región de Camagüey. La data se extiende desde 1971 hasta 2002, solamente una estación comienza desde 1976. Se obtiene un comportamiento estacional de la frecuencia de ocurrencia de las nubes cirros. La frecuencia de ocurrencia de las mismas incrementa en el periodo lluvioso, oscilando la frecuencia entre valores de 0.50 y un 0.70. La tendencia total en todo el periodo analizado está caracterizada por el incremento.

Se realizó un análisis de los subtipos de nubes que más predominan dentro de la presencia de nubes cirros. El tipo de nubes cirros asociado a cirros espisatus es el más predominante en todos los periodos en más de la mitad de las ocasiones en que se observan nubes cirros, con valores de frecuencia de ocurrencia entre 0.57 y 0.61.

Introducción.

Las nubes cirros son de crucial importancia para los procesos radiativos globales y el balance radiativo y térmico de la atmósfera, ellas según sus propiedades microfísicas permiten el paso o no de la radiación solar de onda corta proveniente del sol hacia la superficie terrestre y de igual manera apantallan la radiación de onda larga en sentido contrario. Estas pueden producir dos procesos distintos, primero permiten el calentamiento de la superficie terrestre mientras reducen el enfriamiento radiativo de la misma hacia el espacio extraterrestre, conocido como efecto invernadero. El segundo proceso conocido como albedo, éstas pueden actuar reflejando la radiación de onda corta proveniente del sol, no permitiendo la entrada de la misma a la superficie terrestre.

Presentan las nubes cirros características peculiares que las hacen ser una de las de mayor influencia y efecto sobre el clima [Lynch, D. K., 1996].

Elas pueden ser responsables de la deshidratación en la troposfera alta, cerca de la tropopausa [McFarquhar et al., 2000; Jensen et al., 2001]. Estas nubes ocurren muy frecuentemente cerca del 30 % en todas las estaciones del año [Hahn et al., 1984; 1998; Wylie and Menzel, 1989], y a su vez son las de mayor extensión temporal y en área. Pueden igualmente constituir también superficies para que se produzcan reacciones químicas [Borrmann et al., 1996]. Además, existe un tipo de nubes cirros nombradas nubes cirros subvisibles, las cuales no son observadas por el ojo humano en ciertos ángulos, presentan un espesor óptico pequeño, menor de 0.03 [Sassen et al., 1989].

Son numerosos los experimentos realizados en las regiones de latitudes medias y altas relativos a las Nubes Cirros, tanto en forma de campañas (ej. ICE, Internacional Cirrus Experiment [Ansmann et al., 1993]; FIRE, First ISCCP Regional Experiment [Ackerman et al., 1990]; EUCREX, European Cloud and Radiation Experiment [Chepfer et al., 1999]; ECLIPS, Experimental Cloud Lidar Pilot Study [Pal et al., 1995]), así como en monitoreo, los cuales son menos abundantes. En contraposición, en la región Tropical se han realizado pocos estudios de las nubes cirros (ej. FIRE-CRYSTAL [Jensen et al., 2004]), nombradas por sus características peculiares nubes cirros tropicales. El mecanismo de formación predominante de los cirros tropicales es diferente a los de sus semejantes de las latitudes medias y altas. Los tropicales se forman principalmente del desprendimiento de los yunques de nubes cumulonimbos (de gran desarrollo vertical) provenientes de la profunda convección existente en los trópicos. Esto implica que presenten características, evolución y disipación diferentes. Así, estos presentan un efecto distinto sobre la radiación y el clima. Existen evidencias de este desigual comportamiento, debido en lo fundamental a las características de la atmósfera, en la zona tropical, las nubes cirros se contemplan como una de las responsable de la cantidad de vapor de agua presente en la estratosfera [Danielsen, 1993].

Se han realizado algunos estudios climatológicos sobre nubes cirros, uno de los más reciente y completo es el resultado climatológico obtenido por Goldfarb et al. (2001), en latitudes medias, efectuado con mediciones de lidar. Existe también algunas climatologías de nubes cirros tropicales realizada por Campbell and Vonder Haar, (1989), los autores realizan un estudio de los datos provenientes de instrumentos a bordo del satélite Nimbus 7. Cadet et al., (2003) reportan una de las últimas climatologías realizadas, la misma fue basada en

mediciones de nubes cirros con lidar en la región tropical. También podemos encontrar otras distribuciones globales de nubes en general, dentro de las cuales se encuentran las nubes cirros determinadas por varios autores [Barton, 1983, Woodburry and McCormick, 1983, Wylie and Menzel, 1989, Wang et al., 1994, Wang et al., 1996] utilizando mediciones realizadas por diversos instrumentos desde superficie y desde satélites. Un análisis de la información visual de presencia de nubes desde estaciones de superficie fue realizada por [Warren et al., 1986, 1988; Hahn et al., 2002] a escala global, donde se caracterizan las nubes de todo tipo, presentando un análisis importante en la data debido a la presencia de nubes altas, cuando existen nubes bajas y en la detección nocturna de nubes altas.

El estudio presentado en este trabajo se basa en el análisis de 32 años de observaciones visuales de nubes cirros realizadas en las 6 estaciones de observaciones sinópticas de superficie de la Región de Camagüey, durante el periodo (1971- 2002), para la casi totalidad de las estaciones. La discusión esta centrada fundamentalmente en un razonamiento acerca del comportamiento de las frecuencias de ocurrencias de reportes trihorarios de nubes cirros mensual y anual, así como el comportamiento mensual y estacional multianual. Se puede observar un comportamiento estacional de la ocurrencia de nubes cirros, siendo mayor en los meses de verano y otoño, que en nuestro país se conoce como el periodo húmedo o más lluvioso. Así como, se observan valores de la frecuencia de ocurrencia de nubes cirros en el orden de las reportadas en trabajos previos. La tendencia general observada es el incremento de la ocurrencia de nubes cirros en todo el periodo estudiado, con un valor para la región de 0.12 unidades. Se realiza un análisis de la frecuencia de ocurrencia de subtipos de nubes cirros.

Método y datos.

Los datos fueron extraídos de los reportes del estado del tiempo trihorarios de observación visuales de nubes altas de las 6 estaciones sinópticas de superficie de la región de Camagüey [Camagüey (21.24 N, 77.51 W), Nuevitas (21.32 N, 77.15 W), Esmeralda (21.51 N, 78.07 W), Florida (21.31 N, 78.14 W), Santa Cruz del Sur (20.43 N, 78.00 W) y Palo Seco (21.08 N, 77.19 W)]. Las nubes altas es el elemento Ch perteneciente al grupo 8 de las tablas de asentamiento de las estaciones mencionadas. Se utilizó para el análisis un periodo comprendido desde enero de 1971 hasta diciembre 2002, para un total de 32 años. Se exceptúan a la estación de Palo Seco, con 27 años, ya que con anterioridad al año 1976 no existen observaciones; y la estación de Santa Cruz del Sur, con 26 años, debido igualmente a la no existencia de mediciones en el periodo comprendido entre septiembre del 82 y febrero del 86. Las series de datos tienen datos faltantes intermedios, debido a la no realización de mediciones en esos horarios o etapas. Con el objetivo de escoger si las series eran idóneas para ser incluidas en el análisis, se utilizó el siguiente criterio de selección: las series de datos debían contar al menos con 20 observaciones mensuales, en al menos 18 años (sobre el periodo de 32 años), para

los meses de Enero y Julio. Este criterio permite evaluar que las series tengan suficientes datos para el análisis de tendencia. Este criterio estuvo basado en el utilizado por Hahn et al., [1998], en su climatología de nubes para estaciones terrestres en el mundo. Con relación a las observaciones nocturnas, es importante señalar que están influenciadas por una reducción de la visibilidad en estos horarios y por la dificultad de detectar visualmente este tipo de nubes. Esta influencia determina que no se reporten nubes cirros cuando realmente están presentes, obteniéndose bajas estimaciones de la presencia de nubes en horarios nocturnos [Hahn, et al., 1995]. Debido a esta causa, no se realizó el estudio del ciclo diurno (día completo incluyendo la noche) del comportamiento de la ocurrencia de nubes cirros. En la Tabla 1, se muestra un resumen de las características de las series de datos utilizadas por estación.

Tabla 1. Características de las series de datos de las estaciones de superficie.

Estación	Periodo	Número de años con más de 20 obs.	
		Enero	Julio
Camagüey 21.24 N, 77.51 W	1971-2002	32	32
Nuevitas 21.32 N, 77.15 W	1971-2002	32	32
Esmeralda 21.51 N, 78.07 W	1971-2002	31	31
Florida 21.31 N, 78.14 W	1971-2002	32	32
Santa Cruz del Sur 20.43 N, 78.00 W	1971-1982 1986-2002	28	29
Palo Seco 21.08 N, 77.19 W	1976-2002	27	27

La configuración que presenta la distribución de las estaciones en el área de la región de Camagüey, se muestra en el mapa de la Figura 1. Como se puede observar estas estaciones brindan una alta cobertura total de la región.



Figura 1. Localización de las estaciones de superficies en la región de Camagüey.

Se calculó la frecuencia de ocurrencia de reportes trihorarios de nubes cirros. La misma se define como la relación entre la cantidad de reportes de nubes cirros y el total de reportes realizados en un periodo de tiempo dado (mes, año, estación y multianual), la cual en lo adelante llamaremos frecuencia de ocurrencia de nubes cirros. En el día deben realizarse 8 reportes, entonces para un mes se debe ejecutar un total de 240 observaciones, pero en la realidad existen datos faltantes, producto a diversas razones, por lo que se obtuvo el número total de observaciones realmente efectuadas en los periodos de tiempos que se analizan. La frecuencia de ocurrencia se calculó mensual, anual, estacional multianual y mensual multianual. Los valores de frecuencias de ocurrencias antes mencionados fueron determinados para el horario del día en nuestras estaciones, fueron computados los valores comprendido entre la 07 y 19 hora local.

En los reportes de nubes altas realizados en las estaciones meteorológicas de superficie, se brinda un código para la clasificación de la nube cirro predominante en el cielo a la hora de la observación. Este código es un

número entre el 0 y el 9, que representa el subtipo de nube alta con una descripción del modo de presentarse, que predomina a la hora de la observación, esta clasificación se muestra en la Tabla 2. Esta tabla es parte del manual para la codificación del elemento Ch en las observaciones meteorológicas. Se ha eliminado de la clasificación la cifra 0, ya que la misma representa la no presencia de nubes cirros y no la tendremos en consideración.

Es necesario señalar que este código antes mencionado brinda el subtipo de nube cirros predominante y que la presencia de un subtipo no significa que no este presente otro subtipo en menor cuantía.

Se realizó un análisis de la frecuencia de ocurrencia de cada subtipo de nubes cirros. El cálculo de esta frecuencia, que nombraremos frecuencia de ocurrencia de subtipo, se realiza en base a la relación existente entre el número de casos de un determinado subtipo (dado por la codificación del reporte) y el número de casos que fue reportada la presencia de nubes cirros. Esta frecuencia será calculada de manera global para toda la Región y las diferentes estaciones del año.

Tabla 2. Codificación del elemento Ch en las observaciones meteorológicas

Descripción	Código
Cirros fibratus a veces uncinu, sin invadir el cielo progresivamente	1
Cirros espisatus en bancos o fajos enredados, los cuales usualmente no aumentan y a veces parecen ser los restos de la parte superior de un cumulonimbo; Cirro castellanus o flocus	2
Cirro espisatus cumulonimbogenito.	3
Cirro uncinu y/o fibratus invadiendo el cielo progresivamente; por regla general se engrosan completamente	4
Cirro (a menudo en bandas) y Cirroestrato o Cirroestrato solamente, invadiendo el cielo progresivamente; por regla general se engrosan pero el velo continuo no llega a los 45° sobre el horizonte	5
Cirro (a menudo en bandas) y Cirroestrato o Cirroestrato solamente, invadiendo el cielo progresivamente; por regla general se engrosan pero el velo continuo se extiende a más de los 45° sobre el horizonte.	6
Cirroestrato cubriendo totalmente el cielo	7
Cirroestrato sin invadir el cielo progresivamente y sin cubrirlo completamente.	8
Cirrocumulo solamente, o cirrocumulo predominando entre otras nubes altas	9

Resultados y discusión.

Los resultados derivados de la obtención de la frecuencia de ocurrencia mensual de nubes cirros, son mostrados en la Figura 2 y Figura 3, donde en la primera se puede observar una serie temporal para cada estación y en la segunda para la Región de Camagüey en general. Al observar la serie de Santa Cruz del Sur existe un espacio de tiempo entre el año 1982 y 1984, donde no se realizaron observaciones. En el caso de la serie de Palo Seco se realizaron a partir del año 1976. Los valores de frecuencia de ocurrencia mensuales fluctúan desde valores máximos cercanos a 0.90, en los meses de verano, hasta valores mínimos cercanos a 0.02, en los meses de invierno. La amplitud de la variación existente entre máximo y mínimo tiene su mayor valor para la serie de datos de Santa Cruz del Sur con 0.93 y el menor para la de Camagüey 0.78. Esto da a entender que ocurren cambios en grado significativo desde los meses de mínima frecuencia de ocurrencia a los de máxima.

Se determinaron las curvas de ajuste lineal para el periodo completo de las series de frecuencia de ocurrencia

mensuales, las cuales se encuentran mostradas en la Figura 2 y en la Figura 3. Puede constatar que la tendencia en todo el periodo de análisis es hacia un incremento en el tiempo con excepción de la serie de la estación de Palo Seco en la que se observa un decrecimiento. Para la Estación de Santa Cruz del Sur se ha mostrado la curva de ajuste por separado para los dos periodos, el primero de 10 años 7 meses (10.58 años) y el segundo de 16 años y 9 meses (16.75 años), indicando los dos periodos una tendencia positiva.

En las dos figuras antes mencionadas, se puede percibir un máximo significativo en el periodo invernal del año 1988 en todas las series de datos. Este incremento en la frecuencia de ocurrencia mensual con respecto al periodo invernal del año anterior tiene su máximo en la serie de datos de Santa Cruz del Sur con un incremento de 0.55 y el mínimo incremento en la serie de Nuevitas con un valor de 0.21. Para el caso de la Región se observa un incremento de 0.32. Este comportamiento en la frecuencia de ocurrencia mensual en este periodo puede estar asociado al intenso evento El Niño Oscilación Sur, que ocurrió en ese año.

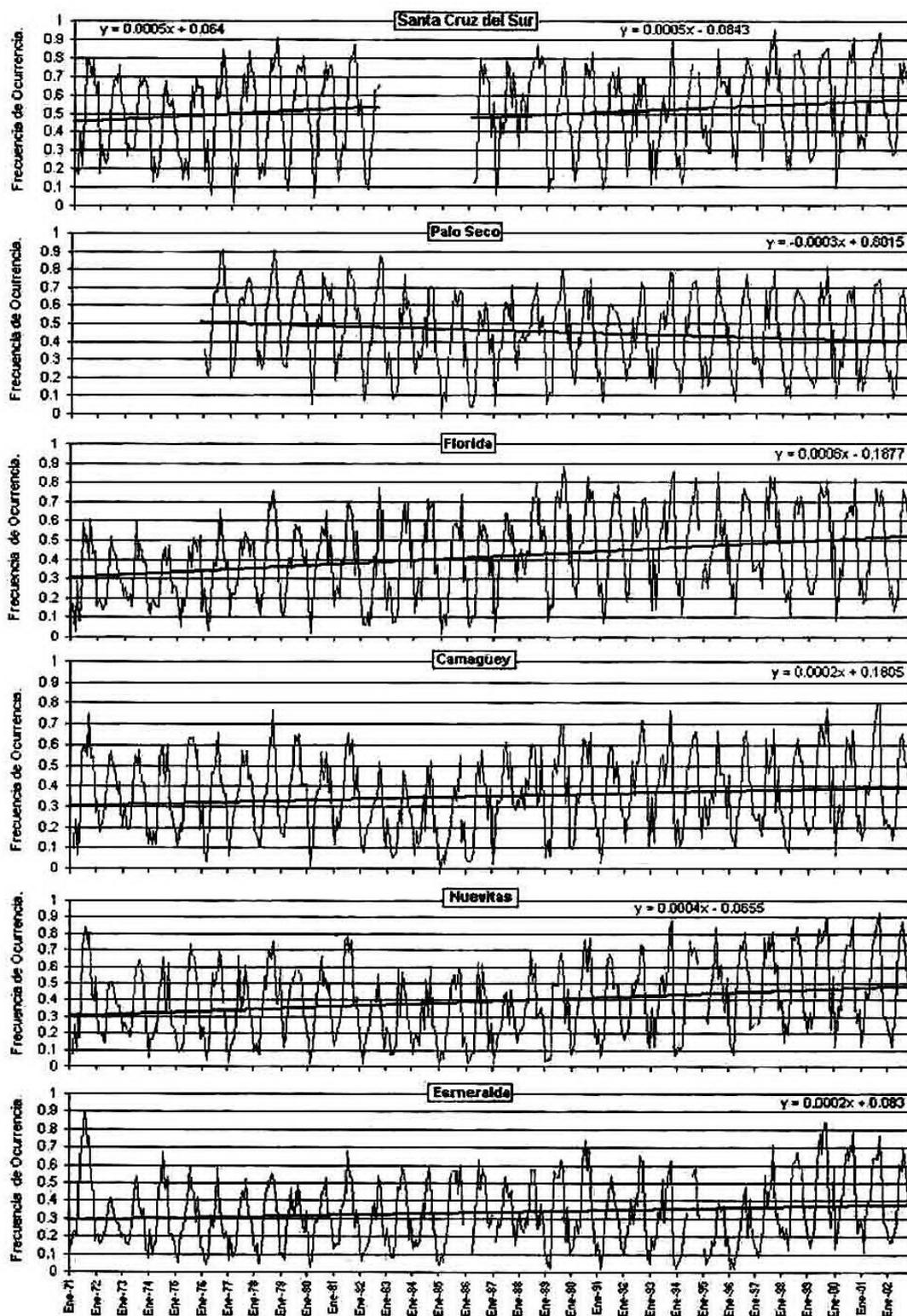


Figura 2. Series temporales de la frecuencia mensual de ocurrencia de nubes cirros en reportes trihorarios en las estaciones de superficie de la región de Camagüey.

De manera semejante se muestra en la Figura 3, el comportamiento de las frecuencias de ocurrencia mensual de reportes de nubes cirros para la Región de

Camagüey en general, donde se observa una tendencia al incremento de la frecuencia de ocurrencia mensual en el período de análisis que comprende los 32 años.

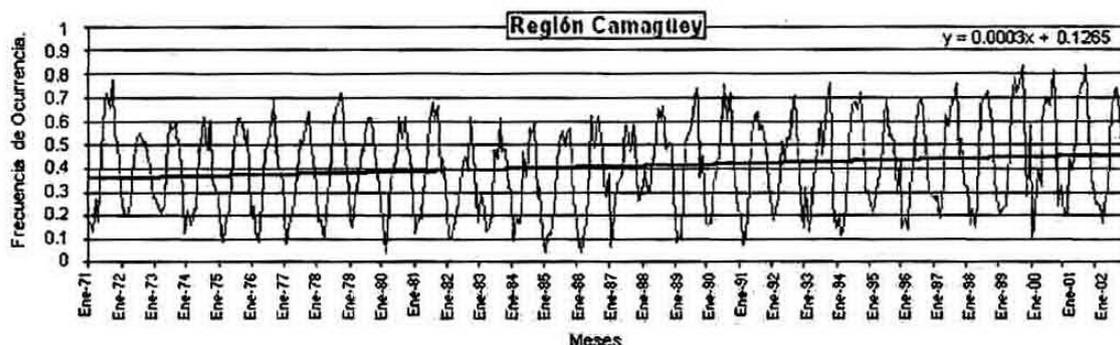


Figura 3. Serie temporal de la frecuencia mensual de ocurrencia de nubes cirros en reportes trihorarios para la región de Camagüey, y el ajuste lineal.

Estos incrementos en la tendencia oscilan entre un mínimo, para el primer período de la Estación de Santa Cruz, de 0.07 en un período de 10.58 años y un máximo para la Estación de Florida de 0.23 para el período de 32 años y en el caso de la serie de Palo Seco un decrecimiento de la tendencia de 0.10 en los 27 años.

En la Tabla 3, se encuentran relacionados los valores de variación de la frecuencia de ocurrencia según

las curvas de ajuste lineal para el período de análisis, en las diferentes estaciones y en la región en general. En la misma se puede observar, al igual que en los gráficos, que la tendencia en la región es al incremento con un valor de 0.12 para el período de los 32 años de estudio. Es peculiar el caso de la estación de Palo Seco, que se aparta del comportamiento característico de la región, como se mencionó con anterioridad.

Tabla 3 Variación de los valores en el período de análisis según curva de tendencia

<i>Estación</i>	<i>Periodo</i>	<i>Variación de la Frecuencia</i>
Camagüey	1971-2002	+ 0.08
Nuevitas	1971-2002	+ 0.15
Esmeralda	1971-2002	+ 0.08
Florida	1971-2002	+ 0.23
Santa Cruz del Sur	1971-1982	+ 0.07
	1986-2002	+ 0.10
Palo Seco	1976-2002	- 0.10
Región Camagüey	1971-2002	+ 0.12

En todas las series se observa un descenso pronunciado de la frecuencia de ocurrencia anual en el año 1982 que se mantiene en valores bajos hasta 3 ó 4 años después en dependencia de la serie, se exceptúa la

serie de Santa Cruz del Sur que no cuenta con los valores correspondientes a este período. Este aspecto se puede notar en la Figura 4, que muestra los valores de frecuencia de ocurrencia anuales para las diferentes estaciones.

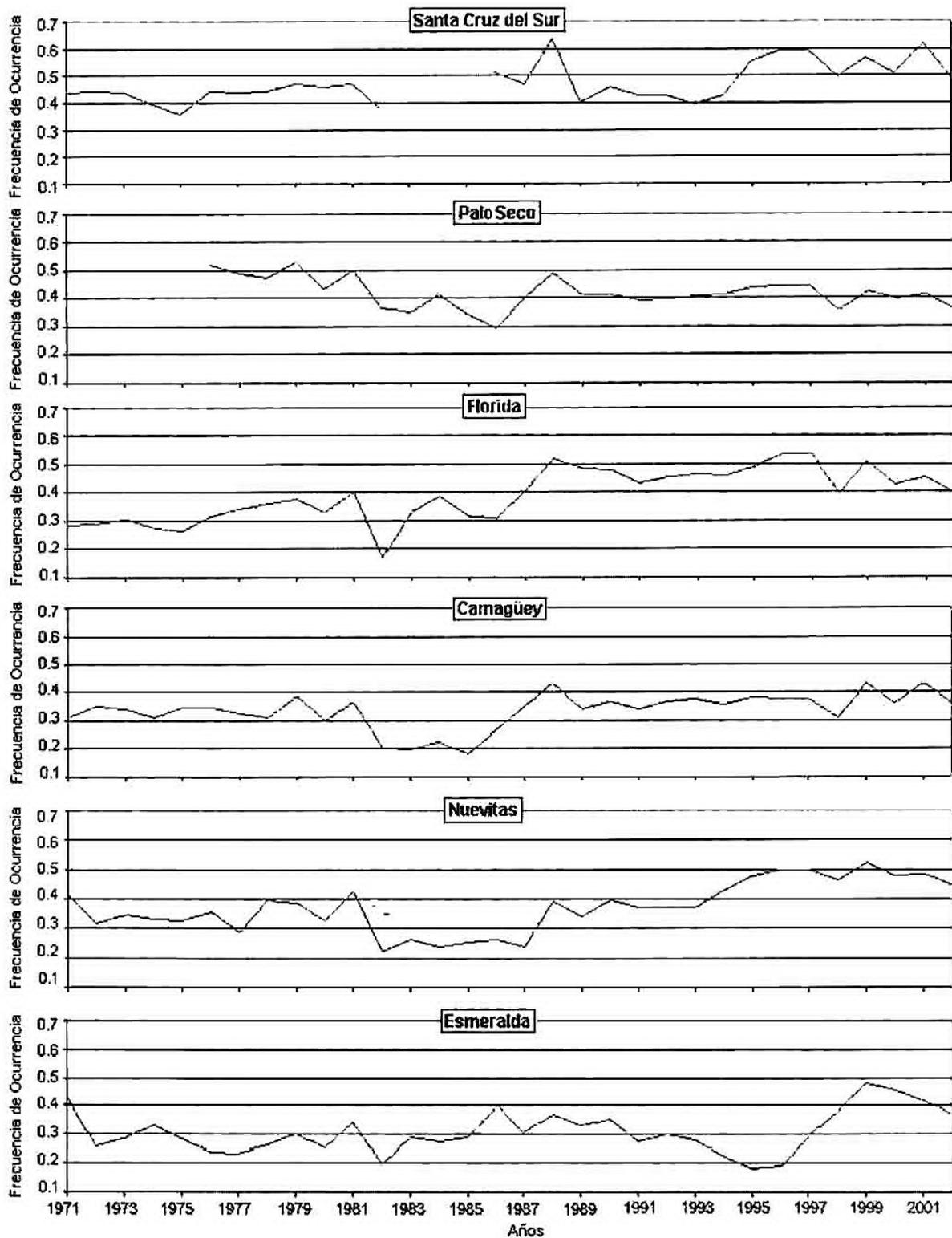


Figura 4. Series temporales de la frecuencia anual de ocurrencia de nubes cirros en reportes trihorarios en las estaciones de superficie de la región de Camagüey.

Igualmente se observan máximos en la frecuencia de ocurrencia anual que están presentes en todas las series valores, para los años 1981, 1988 y 1999.

En cuanto al efecto que tuvo la erupción del volcán Pinatubo ocurrida en el mes de junio del año 1991, *Wylie et al.*, (1994), reportan un incremento de la cobertura nubosa de un 8 % del verano de 1990 al verano de 1991. En el análisis realizado en el presente estudio a las series de datos de frecuencias de ocurrencia presentadas se observa un decrecimiento de la frecuencia de ocurrencia mensual en los meses del verano del año 1991, con respecto al verano del año 1990. En el caso de la Región de Camagüey, se observa un decrecimiento en el valor de la frecuencia de ocurrencia mensual en el mes de julio de 1991 con respecto al mismo mes de 1990 de un valor de 0.11. Es preciso destacar que en el trabajo de *Wylie et al.*, (1994), se realiza el análisis usando una serie de datos de coeficiente de extinción de cuatro años (1991-1994) obtenidos con el instrumento satelital HIRS (siglas en Inglés High-Resolution Infrared Radiation Sounder) y los autores plantean que el incremento es en nubes finas con un espesor óptico infrarrojo por debajo de 0.7.

En la Figura 5, se muestra el comportamiento de la frecuencia de ocurrencia de nubes cirros estacional multianual, las letras simbolizan las épocas del año en tres

meses (DEF, diciembre, enero, febrero; MAM, marzo abril mayo; JJA, junio, julio, agosto; SON, septiembre, octubre, noviembre). En la misma se puede apreciar lo que se mencionó con anterioridad acerca del comportamiento estacional que se observaba en la Figura 2, al analizar el comportamiento de las frecuencias de ocurrencia mensuales. El comportamiento es similar para todas las series de datos, sólo se diferencia en el rango de valores. Presenta mayores valores de ocurrencia de nubes cirros la zona de Santa Cruz del Sur y la de menores valores la zona de Esmeralda en todas las épocas del año. El período de mayor ocurrencia es el de la estación del verano, correspondiente a los meses junio, julio y agosto (JJA). El mes de mayor ocurrencia de nubes cirros es el mes de septiembre, solamente es ligeramente mayor el mes de agosto para la zona de Esmeralda, con un 2 % mayor. Los valores de frecuencia de ocurrencia del mes de septiembre se encuentran entre 0.52 en Esmeralda, y 0.77 en Santa Cruz del Sur. Y los valores de menor ocurrencia corresponden al mes de febrero, coincidiendo para todas las series y teniendo valores entre 0.13 y 0.22. Los valores de frecuencia de ocurrencia para toda la región de Camagüey, tienen el máximo en septiembre con 0.64 y en el caso del mínimo en febrero con 0.17.

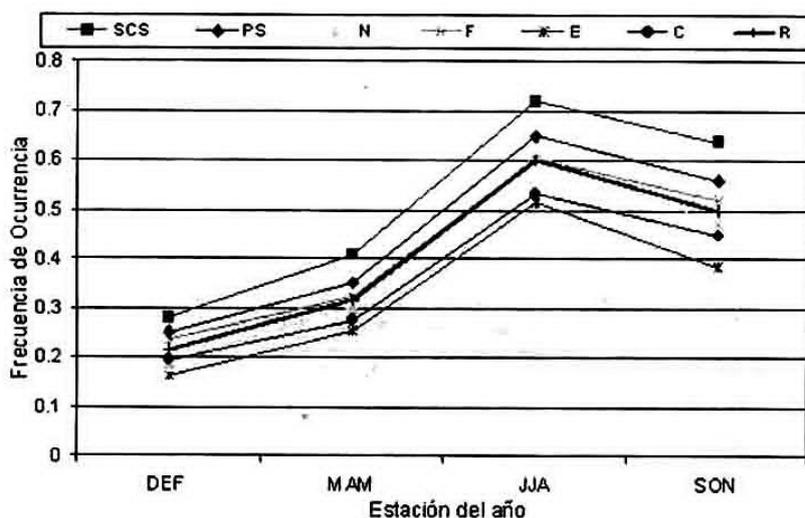


Figura 5. Frecuencia de ocurrencia estacional multianual de nubes cirros para las seis estaciones de superficie y de la Región de Camagüey en general. (SCS: Santa Cruz del Sur; PS: Palo Seco; N: Nuevitas; F: Florida; E: Esmeralda; C: Camagüey; R: Región)

El comportamiento estacional esta a la par con el mecanismo fundamental de formación de las nubes cirros en el trópico, que es a partir de la convección profunda. Mediante esta convección profunda se inyecta gran cantidad de vapor de agua, así como cristales de hielo hacia la troposfera alta y en ocasiones hacia la estratosfera baja. Una vez que se origina el yunque encima del cumulonimbo (nubes de gran desarrollo vertical), este se expande y proporciona la humedad que permite a los cirros tropicales existir por largos periodos de tiempo y desplazarse grandes distancias. Esta es la causa fundamental de la alta frecuencia de ocurrencia de

nubes cirros en nuestra región. Igualmente a esta alta frecuencia contribuyen los organismos tropicales de mesoescala que arriban a nuestra región en esas épocas del año.

Los valores estacionales analizados en el presente trabajo están en concordancia con los valores reportados por [*Warren et al.*, 1988, *Hahn and Warren*, 2002], los autores reportan climatologías globales realizadas a partir de estaciones de superficie del mundo. En el segundo trabajo reportan para nuestra región, el mes de septiembre con una frecuencia de ocurrencia de 0.61, como la mayor. Y para el mes de febrero un valor de 0.21,

como el mes de mínima frecuencia. Estos resultados coinciden con los reportados en el presente trabajo. En la Tabla 4, se muestran los valores referentes a nuestra región reportados por *Hahn and Warren, (2002)* y los

reportados en el presente estudio para las diferentes estaciones del año, relativos a las mediciones de día (Diurnas).

Tabla 4. Valores de Frecuencia de Ocurrencia reportados por *Hahn and Warren, (2002)* y el autor en el presente trabajo para las diferentes épocas del año en nuestra región.

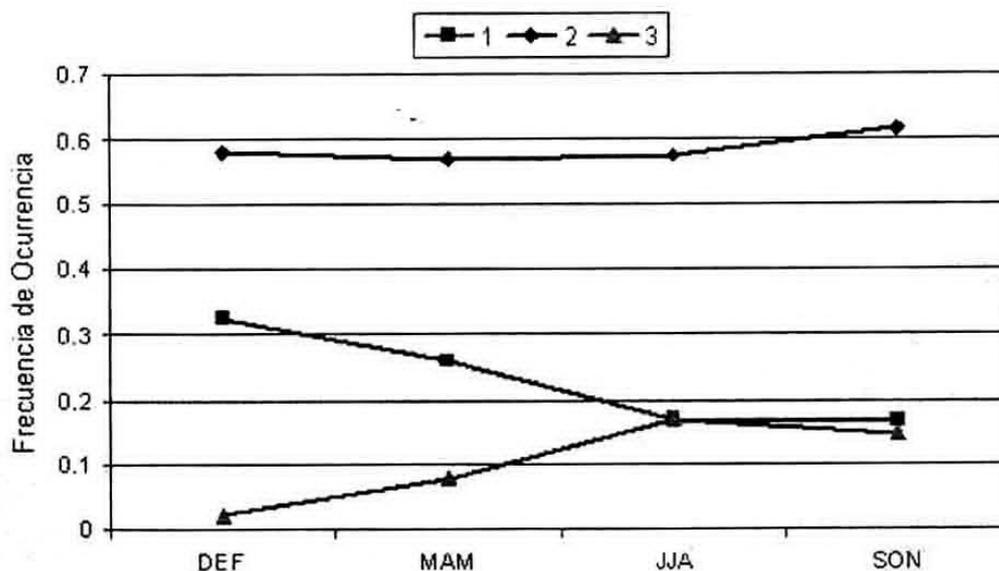
Época del año	Frecuencia de Ocurrencia (Diurna). <i>Hahn and Warren, (2002)</i>	Frecuencia de Ocurrencia (Diurna) Presente Trabajo
DEF	0.30	0.22
MAM	0.35	0.32
JJA	0.53	0.60
SON	0.49	0.49

En ésta tabla se puede observar que para la estación SON, coinciden los valores, pero para las restantes tienen una diferencia de hasta un 8 %, se puede establecer que son comparables los valores en las diferentes estaciones ya que en el caso del trabajo previo se utilizaron un número mayor de estaciones y un área mayor para nuestra región.

En otros trabajos anteriores tal como los resultados reportados por *Wang et al. (1996)*, en los trópicos se obtiene una frecuencia de ocurrencia de 45 % y para el caso del Pacífico un 70 %. Estos datos fueron adquiridos con el instrumento satelital SAGE II (siglas en inglés, Stratospheric And Gas Experiment II), uno de los más sensitivos. Igualmente un instrumento satelital ya mencionado con anterioridad HIRS, reportó nubes cirros un 43 % de las veces [*Wylie and Menzel, 1994*]. Y se reportaron valores tan altos como un 75 % de ocurrencia

de nubes cirros en Indonesia [*Warren et al., 1988*]. Los valores reportados en el presente trabajo se encuentran en el rango de valores reportados por diferentes autores. Y para la región de Camagüey, con las observaciones diurnas se obtuvo un valor de la frecuencia de ocurrencia de un 41 %, valor cercano al 45 % reportado por *Wang et al. (1996)* medidos con el instrumento satelital SAGEII.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la frecuencia de ocurrencia de los subtipos de nubes cirros. Las curvas se han representado en diferentes escalas para poder visualizar los de valores menores. Como se puede apreciar los subtipos del 1 al 3 son los de mayores valores en todas las estaciones del año, siendo el predominante el subtipo 2; y encontramos que los otros subtipos presentan valores de frecuencia de ocurrencia tan bajos como el valor estacional de 0.0007 en SON para el subtipo 9.



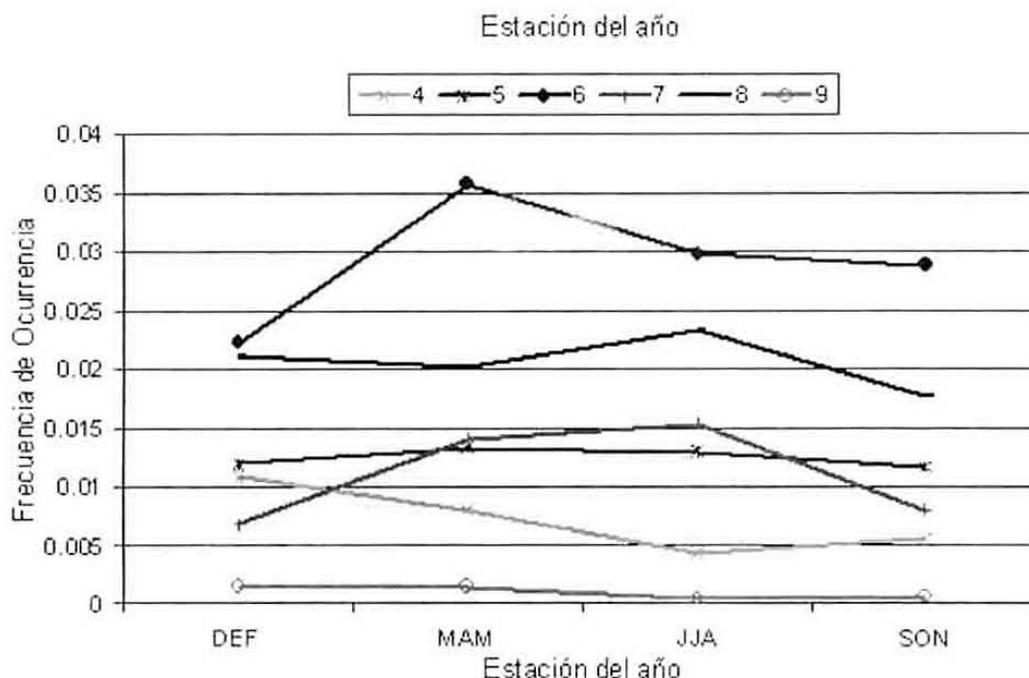


Figura 6. Frecuencia de ocurrencia estacional de subtipos de nubes cirros para la Región de Camagüey en general, las cifras de subtipos están relacionadas en la Tabla 6.

4

Tal como se puede observar en la Tabla 2, el subtipo 2 posee la descripción de cirros espisatus en bancos o fajos enredados, los cuales usualmente no aumentan y a veces parecen ser los restos de la parte superior de un cumulonimbo. Este subtipo mantiene una frecuencia por encima de la mitad de las veces en todas las estaciones del año, que va desde valores de 0.5687 en MAM hasta 0.6147 en SON. Este subtipo de nubes se observa en nuestra región a partir de los mecanismos de formación de desprendimiento de la convección profunda en la temporada lluviosa y el transporte advectivo desde otras regiones en la temporada poco lluviosa. Aunque no es el tipo de nubes que se puede observar que se desprende directamente de los cumulonimbos en un tiempo pequeño, que es el subtipo 3.

Al observar el comportamiento del subtipo 3, que al ir a la Tabla 2, se describe como cirro espisatus cumulonimbogenito, se destaca que presenta valores de frecuencia de ocurrencia bajos de 0.0218 y 0.0798 en las estaciones DEF y MAM respectivamente y aumenta a valores de 0.1691 y 0.1461, en las estaciones JJA y SON respectivamente. Este comportamiento está de acuerdo con el incremento de la convección profunda en nuestra región para la temporada lluviosa, mecanismo que produce este subtipo, al desprenderse de los cumulonimbos profundos, en un periodo pequeño de tiempo.

El subtipo 1, que se describe según Tabla 2, como cirros fibratus a veces uncinu, sin invadir el cielo progresivamente, al contrario del subtipo 3 mantiene valores altos en la temporada poco lluviosa y decrece su valor de frecuencia para la temporada lluviosa. Aunque en esta última el orden de magnitud de la frecuencia de ocurrencia es semejante al del subtipo 3. Este comportamiento indica que la presencia del subtipo 1 de nubes cirros en nuestra región está determinada por el transporte advectivo y por la presencia en los sistemas frontales que frecuentan nuestra región en la temporada poco lluviosa.

Conclusiones.

Se determinó que el periodo lluvioso es el de mayor frecuencia de ocurrencia de nubes cirros en la región de Camagüey, y dentro de éste, el mes de mayor frecuencia de ocurrencia, el de septiembre. El comportamiento anterior concuerda plenamente con el principal mecanismo al que se atribuye la formación de los cirros en el trópico, que es a partir de la fuerte convección.

Existe una tendencia al incremento en la frecuencia de ocurrencia mensual, con excepción de la serie de la estación de Palo Seco en la cual existe una tendencia al decrecimiento por lo que se recomienda un análisis posterior de dicho fenómeno.

Dentro de los subtipos de nubes cirros el

predominante es el subtipo 2. La ocurrencia del mismo es más de la mitad de las ocasiones en que ocurren cirros en todas las estaciones del año. Además los subtipos 1 y 3 presentan un comportamiento contrario, ya que aumentan su frecuencia de ocurrencia en la temporada poco lluviosa y lluviosa respectivamente.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Proyecto Caracterización de las nubes cirros en Camagüey, de la Delegación del CITMA en Camagüey. Agradecer a los técnicos del Centro Meteorológico de Camagüey, Mirtha Martínez Mugarra y Julia Morejón Peña que digitalizaron el dato para realizar el trabajo.

Referencias.

- Ackerman, S. A., W. L. Smith, J. D. Spinhirne, and H. E. Revercomb, 1990: The 27-28 October 1986 FIRE IFO cirrus case study: Spectral properties of cirrus clouds in the 8-12 μm window. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 2377-2388.
- Ansmann, A., J. Bösenberg, G. Brogniez, S. Elouragini and P.H. Flamant., 1993: Lidar Network Observations of Cirrus Morphological and Scattering Properties during the ICE 1989. The 18 October 1989 Case Study and Statistical Analysis. *J. App. Met.*, **32**.
- Borrmann, S., S. Solomon, J.E. Dye, and B. Luo, 1996, The potential of cirrus clouds for heterogeneous chlorine activation, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 2133-2136.
- Barton, I. J., 1983, Upper level cloud climatology from an orbiting satellite. *J. Atmos. Sci.*, **40**, 435-447.
- Cadet, B., L. Goldfarb, D. Faduilhe, S. Baldy, V. Giraud, P. Keckhut, and A. Réchou, 2003, A sub-tropical cirrus clouds climatology from Reunion Island (21°S, 55°E) lidar data set, *Geophys. Res. Lett.*, **30**(3), 1130, doi: 10.1029/2002GL016342.
- Campbell, G.G., and T.H. Vonder Haar, 1989, Tropical cirrus clouds, a climatology. *Presented at IRS 1988*, Lenoble and Geleun (Eds.), A. Deepak Publishing, 191-194.
- Chepfer, H., Brogniez, G., Sauvage, L., Flamant, P. H., Trouillet, V., and Pelon, J., 1999, Remote Sensing of Cirrus Radiative Parameters during EUCREX'94. Case Study of 17 April 1994. Part II: Microphysical Models. *Monthly Weather Review*. **127**, 4, 504-519.
- Danielsen, E. F., 1993, In situ evidence of rapid, vertical, irreversible transport of lower tropospheric air into the lower tropical stratosphere by convective cloud turrets and by large-scale upwelling in tropical cyclones. *J. Geophys. Res.*, **98**, 8665-8681.
- Goldfarb, L., P. Keckhut, M.-L. Chanin, and A. Hauchecorne, 2001, Cirrus Climatological Results from Lidar Measurements at OHP (44° N, 6° E). *Geophysical Research Letters*, **28** (9), 1687-1690.
- Hahn, C.J., S.G. Warren, J. London, R.M. Chervin and R. Jenne, 1984, Atlas of simultaneous Occurrence of Different Cloud Types Over Land. *NCAR Tech. Note TN-241 + STR*, pp. 209.
- Hahn, C.J., S.G. Warren, and J. London, 1995, The effect of moonlight on observation of cloud cover at night, and application to cloud climatology. *Journal of Climate*, **8**, 1429-1440.
- Hahn, C.J., S.G. Warren, J. London, and R.L. Jenne, 1998, Climatological data for Clouds over the Globe from Surface Observations. CDIAAC, NDP 026. 54 p.
- Hahn C. J., and S. G. Warren, 2002, Cloud climatology for land stations worldwide, 1971-96. NDP-026D, [Available from Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 378316335.] [<http://www.atmos.washington.edu/~ignatius/CloudMap/>]
- Jensen, E. J., O.B. Toon, S.A. Vay, J. Ovare, R. May, T. P. Bui, C.H. Twohy, B.W. Gandrud, R. F. Pueschel and U. Schumann, 2001, Prevalence of Ice-Supersaturated Regions in the Upper Troposphere: Implication for Optically Thin Ice Cloud Formation. *Journal of Geophysical Research*. 106.D-15.
- Jensen, E., Starr, D., and O. B. Toon, 2004: Mission investigates tropical cirrus clouds, *EOS*, **85**, 4550.
- Lynch, D. K., 1996, Cirrus Clouds: Their Role in Climate and Global Change. *Acta Astronautica*. **38**. 11. 859-863.
- McFarquhar, G. M., A. J. Heymsfield, J. Spinhirne and B. Hart, 2000, Thin and Subvisual Tropopause Tropical Cirrus: Observations and Radiative Impacts. *Journal of Atmospheric Science*, **57** (12), 1841-1853.
- Pal, S.R., A. I. Carswell, I. Gordon and A. Fong, 1995, Lidar - Derived Cloud Optical Properties Obtained During the ECLIPS Program. *Journal of Applied Meteorology*, **14**, 11.
- Sassen, K., M. K. Griffin, and G.C. Dodd, 1989, Optical Scattering and Microphysical Properties of subvisual Cirrus Clouds, and Climatic Implications. *Journal of Applied Meteorology*, **28**, 2, 91- 98.
- Wang, P.-H., M. P. McCormick, L. R. Poole, W. P. Chu, G. K. Yue, G. S. Kent, and K. M. Skeens, 1994, Tropical high cloud characteristics derived from SAGE II extinction measurements. *Atmos. Res.*, **34**, 5383.
- Wang, P.-H., P. Minnis, M.P. McCormick, G. S. Kent, and K. M. Skeens, 1996, A 6-year climatology of cloud occurrence frequency from stratospheric aerosol and gas experiment: II. Observations (1985-1990). *J. Geophys. Res.*, **101**, 29407-29429.
- Warren, S. G., C. J. Hahn, J. London, R. M. Chervin, and R. L. Jenne, 1986, Global distribution of total cloud cover and cloud type amounts over land, *NCAR Tech. Note. TN-273+STR*. Boulder, CO, 29 pp + 200 maps.
- Warren, S. G., C. J. Hahn, J. London, R. M. Chervin, and

R. L. Jenne, 1988, Global distribution of total cloud cover and cloud type amounts over the ocean, *NCAR Tech. Note. TN-317+STR*. Boulder, CO, 42 pp + 170 maps.

Wylie, D.P., and W.P. Menzel, 1989, Two years of cloud cover statistics using VAS. *J. Climate*, **2**, 380-392.

Wylie, D. P., W.P. Menzel, H.M. Woolf and K. I. Strabala, 1994, Four years of Global Cirrus cloud statistics using HIRS. *Journal of Climate*, **7**, 1972-1986.

Woodburry, G. E. and M. P. McCormick, 1983, Global distribution of cirrus clouds determined from SAGE data. *Geophys. Res. Lett.* **10**, 1180-1183.

Abstract

The cirrus clouds play an important role over the radiation budget, which in turns governs the global climate. So, they are a key of interest to scientific community. There are evidences on the very frequently presence of cirrus clouds in the neighborhood of the tropical tropopause. There are evidences too about the relations with the

dryness of the upper troposphere and lower stratosphere. The measurements, information and statistical results on the tropical cirrus clouds are scarce. It was the principal cause of the preparation of this work.

Climatology of the presence of cirrus clouds over the region of Camagüey in Cuba has been constructed from the analysis of three-hourly reports contained in the observations of six ground meteorological stations. The data was taken from 1971 to 2002; only in one station the data starts from 1976. The cirrus clouds occurrence values have been found higher in the named rainy period, there are values between 0.50 and 0.70. The diurnal cycle in the occurrence of cirrus clouds wasn't analyzed, due there are a difficulty of the treatment of the night observations linked with the visibility reduction and the scarce of night observations.

Also an analysis of the cirrus clouds subtypes reported was made. A subtype of cirrus clouds (cirrus spissatus) is the most predominant in all period at the half of time when the cirrus clouds are present, with frequency of occurrence values between 0.57 y 0.61.