

Esquema para la Determinación de Nubosidad Media y Frecuencia de Cobertura de Nubes usando Imágenes de Satélite : Aplicado a América del Sur y Océanos adyacentes, en el horario de las 16:00 GMT del mes de Julio de 1993.

LUIS A. MONTES-VIDES.

Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 14490, Bogotá, Colombia.

MONTES-VIDES, L.A. (1995): Esquema para la determinación de nubosidad media y frecuencia de cobertura de nubes usando imágenes de satélite: Aplicado a América del Sur y océanos adyacentes, en el horario de las 16:00 hs. GMT del mes de Julio de 1993.- GEOLOGIA COLOMBIANA 19, pgs. 153-163, 7 Figs., 1 Tabla, Santa Fé de Bogotá.

Palabras Claves: Clima, ITCZ, INPE, Nubosidad, Satélite, Sensores Remotos.

RESUMEN

Las imágenes del satélite geo-estacionario METEOSAT-6 para el horario de las 16:00 GMT fueron obtenidas por el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE en Cuiabá, Brasil, en el periodo del 1° al 31 de Julio de 1993, y suministradas para esta investigación. Dicho satélite tiene un cubrimiento del hemisferio sur, incluyendo Sur América y los océanos tropicales Atlántico y Pacífico.

La cobertura de nubes observada en las imágenes fué correlacionada con la información meteorológica de estaciones localizadas en varios países suramericanos, la cual fué suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología-INM de Brasil.

Se generaron dos imágenes de nubosidad media para el mes de Julio de 1993 (16:00 GMT), una para el canal visible y la otra para el canal infra-rojo del satélite METEOSAT-6. También se produjo una imagen indicadora de los días de cobertura de nubes durante este periodo.

Estas imágenes producto, proveen una visión integrada de nubosidad y cobertura de nubes en el hemisferio sur tropical.

El análisis de tales imágenes permiten entender el comportamiento global de la atmósfera en esta área tropical, e inferir la interacción de las masas de aire con las masas continentales y oceánicas, durante un periodo en consideración.

Se plantea un enfoque que relaciona la nubosidad media y los días de cobertura de nubes con los diferentes meso-climas de Sur América, como una explicación de la distribución espacial y temporal de estos parámetros en esta área.

Este esquema de análisis de imágenes de satélites meteorológicos puede ser utilizado en el estudio de cambios climáticos, a nivel regional y nivel global.

ABSTRACT

The images for the 16:00 GMT of the geostationary satellite METEOSAT-6 were obtained by the National Institute of Space Research-INPE in Cuiabá, Brazil, during the period from July 1st to July 31st, and provided for this research. This satellite covers in the southern hemisphere, South America and the south Pacific and Atlantic oceans.

The coverage of clouds observed in the images were correlated with the meteorological information of stations located in several south american countries; the information was collected and provided by the National Institute of Meteorology-INM, Brazil.

Two images of average cloudness of July 1993 (16:00 GMT) were generated, one for the visible channel and the other one for the infrared channel of the METEOSAT-6 satellite. Additionally, an image was produced which indicates how many days was the sky covered by clouds during this period.

These product images provide an integrated vision of cloudness and time of coverage by clouds at the southern hemisphere.

The analysis of these images has made possible to understand the global behavior of the atmosphere in this tropical area; also permits to infer how the dynamic air masses interact with the continental and oceanic masses, during the period under consideration.

An approach is made between the average cloudness and days of coverage by clouds with the different meso-climates of South America, trying to explain the spatial and temporal distribution of these parameters in this area.

The approach of analyzing images of the meteorological satellites can be used to study regional and global climatic changes.

INTRODUCCION

Existen pocas estaciones para recolección de datos meteorológicos en América del Sur; también son contadas las localizadas en islas de los océanos adyacentes del hemisferio sur.

El entendimiento de la circulación y otros procesos atmosféricos en el hemisferio sur es limitado, debido principalmente a esa red, en cuyas estaciones se detectan y registran cantidades físicas que caracterizan el estado de la atmósfera.

Al no existir una red adecuada de estaciones, se hace difícil lograr un mejor conocimiento del clima y del tiempo de esta gran área del globo.

La cobertura media de nubes y su distribución en el hemisferio sur, así como la frecuencia de cobertura son importantes en el diagnóstico y entendimiento de patrones generales de circulación, principalmente en lo que atañe a estudios de clima.

La reflectividad de la tierra varía con la distribución del cubrimiento de las nubes, mientras el vapor de agua con su propiedad de absorber y re-emitir radiación, suministra un medio importante de transporte horizontal de energía, dentro de la circulación general de la atmósfera.

Una herramienta que puede ser usada para complementar la red de datos existentes es el satélite meteorológico METEOSAT, el cual puede ofrecer información con una resolución espacial de 5 km y temporal de hasta 30 min.

La información mas común e inmediata suministrada por el satélite son las imágenes de nubosidad en los canales visible (0.7 a 1.1 μm .) e infra-rojo (10.2 a 12.5 μm .), utilizadas en meteorología a diversas escalas de espacio y tiempo, cubriendo desde fenómenos de meso-escala hasta otros de escala sinoptica, y de previsión de corto tiempo hasta estudios de cambios climáticos.

En este estudio se hicieron los cálculos de nubosidad media para un horario de los canales visible e infra-rojo y días de cobertura de América del Sur y las aguas adyacentes de los océanos Pacífico y Atlántico.

Las imágenes de días de cobertura entregan información complementaria a las imágenes de brillo medio, determinando los días con cubrimiento efectivo, y de forma indirecta suministrando información sobre tipo de cobertura.

Un cubrimiento denso de algunos días del mes puede generar una cobertura media tenue, enmascarando los días en los cuales no había cobertura de nubes.

El control de cobertura de nubes se realiza a través de la verificación de la lectura de la imagen del satélite con la información de tierra, suministrada por los boletines meteorológicos para las diferentes estaciones de los países del área.

Las imágenes utilizadas fueron obtenidas del satélite meteorológico METEOSAT-6, situado sobre la línea del Ecuador a 50°W en el período de estudio, con una resolución espacial degradada a 15 km x 15 km.

El período seleccionado fue del 1° al 31 de julio de 1993; los valores promedios y la cobertura fueron calculados para

el horario de las 16 hs. GMT.

La misma técnica puede usarse para medias y cobertura diaria, mensuales o anuales, dependiendo del tipo de estudio que se desee hacer con ésta información.

CONCEPTOS DE PROCESAMIENTO DE IMAGENES

La función principal del proceso digital de imágenes es suministrar herramientas que faciliten la identificación y extracción de información contenida en las imágenes, produciendo como resultado otras imágenes con la información específica buscada. Su objetivo básico es remover las barreras inherentes al sistema visual humano, especialmente la dificultad para procesar grandes volúmenes de información y discernir tonos de colores.

Las imágenes de percepción remota están constituidas por una matriz de celdas, donde cada una tiene su localización, definida por un sistema de coordenadas línea(X) y columna(Y); cada celda o *pixel* (del inglés "picture element") representa un área sobre la superficie de la tierra y posee un atributo numérico entero(Z), que indica el nivel de tono de gris o intensidad de la radiación electromagnética detectada por el sensor, fluctuando del negro al blanco. Este atributo, denominado Nivel Digital(ND) corresponde a la intensidad media de la energía reflejada o emitida por los diferentes elementos presentes en el área correspondiente a la celda o pixel.

La resolución de una imagen está determinada por tres parámetros: La resolución espacial, que es la capacidad del sensor para distinguir o separar objetos en la superficie observada; la resolución espectral, definida por el tamaño del intervalo de longitud de onda cubierto para cada banda; y finalmente la resolución radiométrica que viene dada por el número de niveles digitales que representan los niveles de grises.

Cada imagen tiene asociada un histograma, el cual representa la distribución de los niveles digitales de la imagen, indicando qué proporción de la imagen corresponde a cada valor de nivel digital, y suministrando información sobre la intensidad media de la imagen.

La imagen original del satélite puede tener poco contraste; esto se observa en el histograma por la agrupación de los niveles digitales hacia ciertos valores. A fin de que la información se pueda extraer, el histograma se expande a todo el intervalo, generando un aumento en el contraste.

Cuando el contraste es modificado, el histograma de la imagen resultante es diferente al histograma de la imagen original, siendo la relación entre ellos especificada por una función de transferencia de contraste. Dicha función es en general una curva que relaciona la intensidad de la imagen original en el eje X, y la intensidad de la imagen resultante en el eje Y. Esta función de transferencia puede ser lineal o no lineal, continua o a trazos.

Todas las imágenes poseen límites entre áreas con diferentes respuestas a la radiación electromagnética incidente; esos límites pueden ser, por ejemplo, entre nubosidad y superficie terrestre, y representan rasgos de alta frecuencia.

Para realzar rasgos de baja, media y alta frecuencia se aplican filtros. Las maneras de implantar éstas técnicas son: convolución, que opera en el dominio espacial de las imágenes y análisis de Fourier, que lo hace en el dominio de las frecuencias. Son tres los tipos de filtros de convolución: los filtros pasabajos o de suavización (del inglés "smoothing"), los cuales sólo dejan pasar las bajas frecuencias, eliminando especialmente el ruido térmico o blanco; los pasa-altos eliminan las bajas frecuencias resaltando los límites, y los filtros direccionales, que son un tipo especial de pasa-altos, los cuales tienen la característica de realzar bordes en direcciones preferenciales.

A fin de analizar imágenes multi-espectrales y/o multi-temporales, el proceso digital de imágenes usa operaciones simples. Normalmente se utilizan dos o más imágenes de la misma área geográfica previamente co-registradas, es decir que cada pixel de las imágenes se refiere exactamente a la misma área de terreno. La entrada a estas operaciones son dos o más imágenes y una única imagen de salida, la cual representa el resultado de las combinaciones de las imágenes originales, de acuerdo con una regla matemática, realizada pixel a pixel. Las operaciones principales son adición, sustracción, multiplicación y división.

El procesamiento digital de imágenes busca también distinguir e identificar las composiciones de los diferentes materiales de la superficie, usando el hecho de que cada elemento tiene un comportamiento particular propio frente al espectro electromagnético.

El gráfico que contiene las frecuencias de distribución de intensidades de dos bandas de una imagen multi-espectral (una en eje X y otra en eje Y), define el llamado espacio de atributos de la imagen. Cuando la imagen consta de dos o más bandas, el espacio de atributos se considera por pares de bandas como un espacio bidimensional.

Para identificar los elementos en el espacio de atributos, se observa la distribución de los niveles digitales en este espacio bidimensional, y se consideran como clases los agrupamientos o nubes presentes (del inglés "cluster"); cada clase se refiere a un tipo de material particular en superficie.

El proceso de clasificación multi-espectral consiste en atribuir cada pixel de una imagen a una de un grupo de clases. Estas clasificaciones deben ser validadas con datos observados en campo, definiendo puntos de control en los cuales se verifica si el material del terreno coincide con el predicho por el proceso de clasificación.

Una técnica sencilla de clasificación es la de segmentación por niveles (del inglés "level slicing"), que consiste en realzar los pixels cuyas intensidades se sitúan dentro de un rango de intensidad especificado por una intensidad superior y otra inferior; dicho proceso debe ser interactivo, siendo el usuario quien define estos límites.

Esta técnica en una banda se puede extender a varias, denominándose método del paralelepípedo, en el cual se considera un área que tiene forma de paralelepípedo, definido por los límites superior e inferior de los niveles de intensidad seleccionados por el usuario en cada banda. Todos los

pixels situados dentro de esos paralelepípedos se considera que pertenecen a esa clase o material.

METODOLOGIA

Se obtuvieron las imágenes para los canales visible e infra-rojo del satélite METEOSAT del horario de las 16 hs. GTM, desde el día 1º de julio hasta el 31 del mismo mes.

Este horario fue seleccionado debido a que en esa hora el globo solar en la zona de estudio se encuentra en su iluminación máxima, suministrando más información en los dos canales. Adicionalmente, para ese horario el calentamiento del continente sur es máximo, y a esa hora la temperatura se estabiliza durante un lapso de tiempo mayor.

Las imágenes fueron inicialmente filtradas para eliminar de ellas el ruido inherente a la captura de la imagen, usando para ello filtros direccionales y un filtro de suavización con una matriz simétrica.

Con estas imágenes se realizó una sumatoria simple de los valores de "counts" (niveles de color gris) de las matrices que representan los pixels de las imágenes; a partir de ese acumulado de counts se calculó la media simple dividiéndolo entre el número de días en consideración.

El anterior procedimiento se aplicó a las imágenes en el canal visible y a las del canal infra-rojo; para ello se usó la rutina BRILLO MEDIO del programa SAMSAT, desarrollado en el Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para proceso de imágenes de satélite METEOSAT obtenidas en la estación de Cuiabá (Brasil).

Las matrices generadas fueron convertidas en imágenes, una para el canal infra-rojo y otra para el visible, obteniéndose como resultado las Figs. 1 y 2.

Las imágenes se clasificaron utilizando la técnica de segmentación de niveles de intensidad, permitiendo diferenciar la superficie terrestre y oceánica, de las nubes.

La imagen de los días de cobertura de nubes se obtuvo haciendo uso de límites definidos para los canales visible e infra-rojo, para de esta forma establecer si el área estudiada estaba cubierta de nubes.

Para el canal visible se analizaron varias imágenes a fin de determinar si presentaban o no cobertura, y conocer el nivel de gris a partir del cual se consideraba que representaba nubosidad, verificando con los datos de las estaciones situadas en los puntos donde se hacía la lectura del pixel en la imagen.

La información de las imágenes del canal visible son muy pobres hacia los extremos de la imagen, debido a la curvatura del globo y por consiguiente a la menor irradiancia y menor reflectancia (SLATER 1980).

Basado en lo anterior se dio mayor veracidad a los puntos situados en la zona central de la imagen, que coincidía con la mayor parte de América del Sur y menos confiabilidad a los datos de la zona austral.

Las imágenes del canal infra-rojo dan información indirecta de la temperatura del cuerpo que emite radiación.

Para estas imágenes también se determinó el mínimo nivel de color gris que representa la radiación reflejada por

una nube.

Consecuentemente, el limiar de una nube puede incluir superficies muy frías, generando errores de apreciación.

Debido a esto se procedió a seleccionar un valor que estuviese por encima del valor real, omitiendo básicamente las nubes menos frías que son más perceptibles en el canal visible.

La Tabla 1 contiene la información meteorológica del 17º día de Julio de 1993 en el horario de las 16 hs. GMT; estos datos se correlacionaron con la imagen de cobertura de nubes para ese día (ver Fig. 5).

Para generar la imagen de cobertura (Fig. 5), se tomaron las imágenes visible (Fig. 3) e infra-rojo (Fig. 4) del día 17 de julio, horario de las 16 hs. GMT.

Se aplicó un nivel digital mínimo de 125 como limiar del infra-rojo y un mínimo de 55 como limiar del visible, para ese horario y ese período.

Para cada canal se genera el histograma de "counts" y se indica el valor mínimo como limiar; una imagen binaria es generada por cada canal; al final se produce una imagen binaria que indica nubosidad en un pixel si su "count" es mayor que los limiares en cada una de las dos bandas.

Se obtuvo una imagen binaria en donde al espacio vacío se le asigna el valor constante 128, y para áreas con limiar igual o mayor al definido para una nube el dígito 1, mientras que para áreas descubiertas el dígito 0.

Los dígitos de las matrices resultantes son sumados a lo largo del mes, suministrando así el número de días de cobertura.

Lo que se obtiene es una imagen con treinta y dos tonos de gris, representando, para cada dato local, desde un día de cielo claro hasta un mes con cobertura de todos los días, es decir, el nivel de gris corresponde al número total de días con cobertura (Fig. 6).

El análisis de la información contenida en las imágenes de cobertura, junto con las de brillo medio tanto del visible como del infra-rojo dan información sobre el posible espesor de las nubes así como de su altura.

INTERPRETACION DE IMAGENES

Las cantidades radiométricas captadas por los satélites pueden convertirse en imágenes de: nubes, suelo, océanos, vapor de agua, polvo y polución.

Las imágenes remotas son interpretadas para identificar patrones y tipos de nubes, y para poder comprender los procesos que llevan al desarrollo de tormentas a escala sinóptica y de procesos atmosféricos que controlan el clima a nivel global.

Las imágenes del canal infra-rojo posibilitan el análisis cuantitativo, pertinente a altura de nubes, temperatura de la superficie oceánica y patrones de tormentas (BARRET 1974).

En una imagen de tonos grises, el tono de gris de cada pixel representa la cantidad de energía captada por el satélite; el brillo relativo es una característica propia de cada cuerpo, pero está influenciado por las propiedades del sensor y del dispositivo generador de la imagen (SLATER

1980).

En el canal visible (0.7 a 1.1 μm), áreas altamente reflectivas aparecen claras y áreas de baja reflectancia lucen oscuras. Por el contrario, en el canal infra-rojo (10.5 a 12.5 μm) la energía captada es proporcional a la temperatura de la superficie emisora, siendo mayor la temperatura de la superficie si posee mayor brillo.

Por convención, las imágenes del infra-rojo se muestran contrarias al patrón, es decir, las bajas temperaturas con tonos claros y las altas con tonos oscuros.

El contraste con el contorno es importante para poder identificar una nube; en imágenes IR el tono gris de una nube baja es muy cercano al tono del suelo, debido a que la diferencia de temperatura entre los dos cuerpos es muy poca. En tales situaciones, se usan técnicas de computador para mejorar esa diferencia.

En general la identificación de tonos grises distintos se logra de manera más segura y eficiente con el uso del computador, debido a que el ojo humano tiene poca capacidad de discernimiento en colores grises (CHUVIECO 1990)

El brillo de una nube en una imagen visible captada desde el espacio, depende de la posición angular de la nube con relación al sensor y al sol, y a la reflectividad propia de la nube que a su vez está relacionada con el espesor de la nube, y con el tamaño y distribución de las partículas que la componen, y a la proporción de hielo y agua de la misma.

Las nubes de agua siempre aparecen más brillantes que las nubes de hielo, siendo ambas del mismo grosor y bajo similares condiciones de iluminación (RAO 1990).

El brillo relativo del suelo en imágenes visibles depende de la composición del suelo, del tipo de vegetación y del cubrimiento de nieve.

Los océanos, lagos y ríos aparecen con tonos de gris oscuro, excepto cuando se presenta reflexión especular del sol.

El brillo de nubes en imágenes visibles está asociada con el grosor total de la nube.

Los sensores infra-rojo miden la energía emitida por la tierra y su atmósfera, la cual depende de la temperatura de la fuente de radiación. La tierra y su atmósfera radian a una temperatura de 250°K en todas las longitudes de onda, con el mayor flujo de energía alrededor 1.0 μm .

La superficie de la tierra y las nubes gruesas se suponen cuerpos negros radiantes, permitiendo convertir los valores de radiación a temperatura.

Las medidas de radiación de las nubes y de la superficie de la tierra son hechas en longitudes de onda donde la absorción por gases atmosféricos es mínima.

Estas ventanas atmosféricas centradas en 4 μm y 11 μm pueden usarse para calcular la temperatura de topes de nubes y de la superficie de la tierra.

Mediciones de radiación hechas para longitudes de onda donde la atmósfera absorbe la radiación que escapa, permiten obtener imágenes de los diferentes gases constituyentes de la atmósfera, dependiendo del intervalo espectral escogido, como es el caso de las imágenes de

vapor de agua que es responsable por la mayor absorción en la atmósfera.

Nubes medias y bajas son más fácilmente identificadas en imágenes infra-rojo que en imágenes visibles.

Los tonos de grises que representan estas nubes varían de blanco a gris medio (BARRET 1974).

Existe un gran contraste entre el gris brillante de los toques fríos de las nubes con los grises medios de las nubes bajas, así como los tonos oscuros de la superficie de la tierra. Las nubes sobre la nieve polar pueden lucir más oscuras que sobre la tierra, cuando una fuerte inversión de temperatura se hace presente (RAO 1990).

Líneas de costa, montañas, lagos, ríos, nieve, hielo y corrientes oceánicas pueden verse todas en una imagen infra-rojo, siendo mejor la definición de este límite entre mayor sea la diferencia de temperatura de la superficie del cuerpo con su entorno.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La interpretación de las imágenes de nubosidad media tanto en el visible como en el infra-rojo, así como la imagen de frecuencia de cobertura, se desglosa en un análisis sobre los océanos Atlántico y Pacífico, y otro continental tanto en América del Sur como en la porción de Centro-América cubierta por la imagen del satélite.

Dicho análisis corresponde al comportamiento de la nubosidad media suministrada por la imagen de nubosidad promedio del espectro visible, al comportamiento de las masas oceánicas y de aire provistas por la imagen media en el espectro infra-rojo y la imagen de frecuencia de cobertura para el horario de las 16 hs. GMT correspondiente al mes de Julio de 1993.

NUBOSIDAD MEDIA EN EL OCEANO PACIFICO TROPICAL

En la Fig. 1. (Imagen de nubosidad media VIS) se observa que en el océano Pacífico el mayor valor para la nubosidad media tiene lugar en la zona de la ITCZ, situada entre las latitudes 3°N y 7°N frente a las costas de Colombia y al sur del istmo de Panamá.

Otro valor alto, aunque menor al de la zona de ITCZ se puede observar alineado frente a las costas de Perú y norte de Chile, disminuyendo su valor medio a medida que se aleja del continente.

De la Fig. 2 (Imagen de nubosidad media IR) se deduce que la gradación que se distingue a partir de la zona austral, dirigiéndose hacia el norte hasta los 30°S, es consecuencia de los sucesivos enfriamientos causados por los diferentes frentes fríos que en ese mes recorrieron la zona.

En general la nubosidad media se fortalece a partir de los 30°S siendo más tenue hacia el sur; este comportamiento puede deberse al aumento de la temperatura en las aguas del Pacífico, según consta en la Fig. 7, en la cual se observa que a partir de esa latitud la temperatura media en la superficie del mar tiene un valor de 16°C (Climanalise, julio

1993).

Este aumento de temperatura en la superficie del mar, evidente en la imagen, favorece una mayor evaporación en la zona y por consiguiente un aumento en la nubosidad.

Existe una buena correlación del comportamiento de las isolíneas de temperatura media en la superficie del océano Pacífico durante el mes de julio (Fig. 7), con el patrón de la nubosidad media del canal infra-rojo (Fig. 2).

NUBOSIDAD MEDIA EN EL OCEANO ATLANTICO TROPICAL

La zona de la ITCZ presenta una menor nubosidad media en el océano Atlántico que en el océano Pacífico, con valores menores al acercarse al continente y mostrando una gradación de sus valores de nubosidad en dirección SN.

Esta variación en latitud es causada por las sucesivas fluctuaciones a que es sometida la ITCZ a lo largo del período de julio (3°N a 14°N, Climanalise, 1993).

En la zona sur hasta la latitud 30°S se presenta la mayor nubosidad media con un patrón de gradación que indica un movimiento NE de los frentes fríos que vienen del sur, provocando un enfriamiento de las masas de aire.

La nubosidad media en el océano Atlántico Tropical es menor que en el océano Pacífico debido a su menor temperatura superficial, como lo indican la distribución de las isolíneas de temperatura de superficie de estas masas oceánicas, más sesgadas hacia el norte en el Pacífico.

La nubosidad media en el canal infra-rojo (Fig. 2) sigue el mismo patrón de las isolíneas de temperatura de superficie de los océanos (Fig. 7).

NUBOSIDAD MEDIA CONTINENTAL DE AMERICA DEL SUR

En el continente la zona de menor nebulosidad media durante el período considerado está situada en Brasil, específicamente en los estados de Mato Grosso y Tocantins. Estas áreas (Fig. 2, imagen IR), registran las mayores temperaturas medias para esa época del año y los menores niveles de precipitación de agua (Climanalise, 1993)

La región con menor nubosidad va desde la frontera del Paraguay con Brasil hasta los estados del norte del Brasil y desde el océano Atlántico tropical hasta las estribaciones de los Andes de Bolivia y Perú.

Es importante observar que, en el norte, la zona de menor nubosidad llega hasta el área de influencia de los grandes ríos de la Amazonia; a partir de allí la nubosidad empieza a tomar valores mayores.

En el sur del continente, en Argentina, Paraguay y Uruguay se observa una gran nubosidad, consecuencia de los frentes fríos que al entrar al continente son divididos por la cordillera de los Andes.

Una parte del frente frío corre paralelo a la cordillera de los Andes chilenos, penetrando al océano Pacífico. La otra parte del frente entra al continente permaneciendo bastante

tiempo sobre los anteriores países, precipitando grandes volúmenes de lluvias.

Sin embargo, más al sur de Argentina, la nubosidad media no es tan grande como se podía pensar, estando por debajo de los niveles a que llega la anterior zona considerada.

Esto indica que en esta región los frentes de aire frío se mueven rápidamente al interior del continente y hacia el océano Atlántico, dejando el cielo despejado después de que ha pasado el frente.

Al norte de Suramérica se distingue una gran nubosidad en Colombia y Venezuela, generando grandes niveles de precipitación de lluvias y presentando los más altos índices en las cordilleras colombianas y en los Andes venezolanos.

En Ecuador y Perú, la mayor nubosidad tiene lugar en las sierras, distinguibles en las imágenes VIS e IR.

FRECUENCIA DE COBERTURA DE NUBES EN EL HEMISFERIO SUR

La imagen de cobertura de nubes (Fig. 6) coincide, como era de esperarse, con la imagen de nubosidad media del canal visible (Fig. 1), puesto que la imagen infra-rojo (Fig. 2) muestra el comportamiento medio mensual de las masas de aire sobre el continente y océanos.

En la cordillera se distinguen varias zonas de gran frecuencia de cobertura; una primera situada en las sierras de Perú, Bolivia y Ecuador, paralelas a las zonas de mayor cobertura sobre el océano Pacífico.

Hacia el norte, las áreas de mayor cobertura coinciden con las sierras ecuatorianas y en Colombia sobre la mayoría del territorio, a excepción de la zona norte del país, donde el cubrimiento y la nubosidad media son bajas.

Otra zona con altos índices de cobertura, situada en límites de Colombia y Venezuela, es la de llanuras, en donde para dicha época se presenta la mayor pluviosidad, y en la denominada Amazonia que incluye las repúblicas de Perú, Colombia, Venezuela y Brasil.

Una zona distinguible con una alta cobertura de nubes, es la que se observa sobre las repúblicas de Panamá, Costa Rica y Nicaragua.

Sobre el océano Pacífico, el área situada frente a las costas del Pacífico colombiano, al sur del istmo de Panamá, muestra también una alta cobertura.

Las áreas con mayor número de días cubiertos se sitúan sobre el océano Atlántico al sur de 40°S, frente a las costas de Uruguay, Argentina y sur de Brasil, el mar Caribe en la zona de la ITCZ, y la parte extrema sur del océano Pacífico.

Sobre el continente, la menor frecuencia de cobertura se da en gran parte del interior del Brasil, Bolivia y zona central interior de Argentina.

Un corredor de baja frecuencia de cobertura que va desde Ecuador hasta Chile y Bolivia (Fig. 6), coincide con las zonas más áridas entre el océano Pacífico y la cadena montañosa de los Andes.

En el continente, las zonas de baja frecuencia de cobertura, se distinguen por su bajo nivel de humedad relativa y por los bajos índices de pluviosidad.

DINAMICA DE MASAS DE AIRE

De acuerdo a la secuencia observada en las 31 imágenes tanto del VIS como IR, el mecanismo que dinamiza el clima en el hemisferio sur se describe de la siguiente forma:

En el extremo sur se generan frentes frías que se dirigen hacia el continente en sentido norte con movimientos ciclónicos en los océanos Atlántico y Pacífico, consecuencia de las fuerzas de Coriolis.

Al penetrar al continente estas masas frías son separadas en dos grandes bloques por las altas cadenas montañosas de los Andes en Chile y Argentina.

Un bloque de frente frío corre paralelo al continente en el océano Pacífico, diluyéndose a la altura de la latitud 16°S, y generando un movimiento de aire frío que alcanza la zona de ITCZ, produciendo convección frente a las costas de Colombia y Panamá sobre el océano Pacífico sur.

El segundo bloque de frente frío al penetrar al continente se separa; un bloque con un movimiento en dirección NE se dirige hacia el océano a la altura de los 20°S y otro se mueve hacia el interior del continente paralelo a los Andes, produciendo convección en la zona y aumentando la nubosidad a partir de los 7°S.

En el Atlántico, se produce un movimiento de masas de aire frío que corren paralelas al litoral del continente, produciendo convección en la zona de ITCZ y permitiendo que la nubosidad se incremente sobre la Amazonia.

Este movimiento divergente de masas de aire frío deja una zona al interior del continente, en los estados de Tocantins y Mato Grosso en Brasil, con poca nubosidad y bajos niveles de pluviosidad en esta época de año y otra que coincide con los desiertos de Chile, Bolivia y Perú.

CONCLUSIONES

El comportamiento de la nubosidad media y la frecuencia de cobertura de nubes tiene un gran significado al determinar regiones climáticas, ayudando a determinar el grado de control solar sobre climas locales.

La metodología de análisis de imágenes satelitales es apropiada para estudiar el comportamiento climático del hemisferio sur, a través de la observación de parámetros tales como nubosidad media, frecuencia de cobertura de nubes y tipos de nubes.

Un detallado conocimiento de la frecuencia de cobertura y nubosidad media es esencial para conocer la probabilidad de lograr mediciones satisfactorias de cualquier parámetro sobre la superficie de la tierra, en una determinada área.

RECOMENDACIONES

Para un mejor resultado en este tipo de estudio se aconseja el uso de imágenes del satélite METEOSAT sin degradación, permitiendo una mayor resolución espacial y por ende facilitando el proceso de clasificación de áreas por tipos de nubes.

A fin de permitir una mayor correlación con la pluviosidad

media observada, es necesario contar, además de las bandas visible e infra-rojo, con la banda de vapor de agua, también suministrada por el satélite METEOSAT.

El uso de tres bandas en conjunción con una mayor resolución espacial permitiría utilizar la técnica de clasificación multiespectral, y en consecuencia diferenciar tipos de nubes que caracterizan las regiones en correlación con la frecuencia de cobertura.

Una mejor caracterización sería posible a través de la nubosidad media diaria, con distintos horarios, diferenciando el comportamiento diurno y nocturno.

BIBLIOGRAFIA

BARRET, E.C. (1974): *Climatology from Satellites*.- Methuen & Co. Limited, London.

CHUVIECO, E. (1990): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. — Ediciones Rialp, S.A., Madrid.

CLIMANALISE (1993): *Boletín de Monitoreamiento y Análisis Climático*. V. 8, No 7, Julio, Centro de Estudios Climáticos. CPTEC, MCT/INPE. San Jose dos Campos. SP.Brazil.

CROSTA A.. (1993): *Processamento Digital de images de Sensoriamento Remoto*. Instituto de Geociencias, Universidad de Campinas. Campinas.S.P.Brazil.

MINNIS P. *et al.* (1983): *Diurnal cloud variation over South America and the southeastern Pacific*.- 1st International Conference on southern hemisphere meteorology, American Meteorological Society, San Jose Dos Campos, SP, Brazil.

NIEUWOLT, S. (1978): *Tropical Climatology : An introduction to the climates of the low latitudes*.- John Wiley & Sons, New York,

RAO, P. K. *et al.* (1990): *Weather satellites : Systems, Data, and Environmental Applications*.- American Meteorological Society, Boston.

RIEHL, H. (1978): *An introduction to the atmosphere*.- McGraw-Hill Book Co.

SLATER, P. (1980): *Remote Sensing : Optics and Optical Systems*.- Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Mass.

VAUGHAM,R.A.(1986): *Remote Sensing Applications in Meteorology and Climatology*.- D. Reidel Publishing Company, Dundee, Scotland.

WALLACE J.M.and HOBBS, P.V.(1977): *Atmospheric Sciences: An introductory survey*.- Academic Press, New York.

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta sus agradecimientos al Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE de Brasil, centro de investigaciones donde el proyecto tuvo lugar y en particular a la Dra.Tania María Sausen; de igual manera a las Naciones Unidas por el auspicio prestado y a la Universidad Nacional de Colombia por el respaldo.

El reconocimiento y gratitud al Dr. Nelson Arai, quien orientó y supervisó el desarrollo de ésta investigación.

Agradecimientos al Dr. Nelson de Jesus Ferreira por sus aportes con ideas y discusiones.

El presente proyecto de investigación se realizó con fondos del Conselho de Pesquisas-CAPEs, del Ministerio de Ciencia y Tecnología del gobierno de Brasil.

TABLA 1. COBERTURA DE NUBES PARA EL HEMISFERIO SUR.
17/07/93 18:00 GMT

Fuente : Instituto Nacional de Meteorología de Brasil. INM.

[Código : XXnnn vv , XX : Indicador regional, nnn : # estación, vv valor , por ejemplo 87480 3 Argentina, estación #480 , 3/8 de cobertura de cielo]

82113 4	83512 4	85201 4	87480 3
82178 6	83550 2	85207 7	87506 6
82184 5	83597 2	85210 3	87509 7
82240 3	83648 3	85223 3	87534 1
82263 6	83659 8	85230 1	87548 6
82317 4	83660 8	85242 1	87563 2
82336 6	83676 5	85245 6	87576 6
82445 5	84377 6	85247 7	87623 4
82476 2	84377 6	85264 3	87640 6
82487 1	84390 4	85268 6	87645 2
82493 1	84390 4	85283 1	87648 3
82578 1	84425 4	85289 7	87688 6
82586 1	84444 6	85293 1	87715 5
82659 4	84474 5	85442 4	87750 7
82704 2	84658 2	85469 5	87765 6
82780 3	84658 2	85488 2	87774 6
82789 4	84673 4	85543 4	87784 8
82807 4	84686 8	85574 6	87791 6
82825 3	84721 2	85585 7	87803 6
82863 2	84735 3	85629 7	87828 5
82882 4	85033 3	86218 7	87860 8
82900 4	85041 5	86350 7	87903 2
82915 6	85043 5	86370 3	87909 3
82979 6	85104 5	86430 1	87925 3
82983 7	85109 6	86440 3	87938 4
83249 6	85114 6	86490 2	89053
83264 6	85123 6	86530 1	89055 5
83319 5	85141 6	86575 4	89066 8
83358 7	85152 7	86585 5	83361 8
85153 6	87155 6	83368 5	85154 6
87289 6	83398 4	85175 8	87311 5
83405 5	85195 6	87418 7	85196 7
85201 4	87453 3		



Fig. 1.
Imagen de Nubosidad media
del mes de julio de 1993,
para el horario de las 1600 hs . GMT.
Canal visible (0.7 a 1.1 μm).
METEOSAT 6.

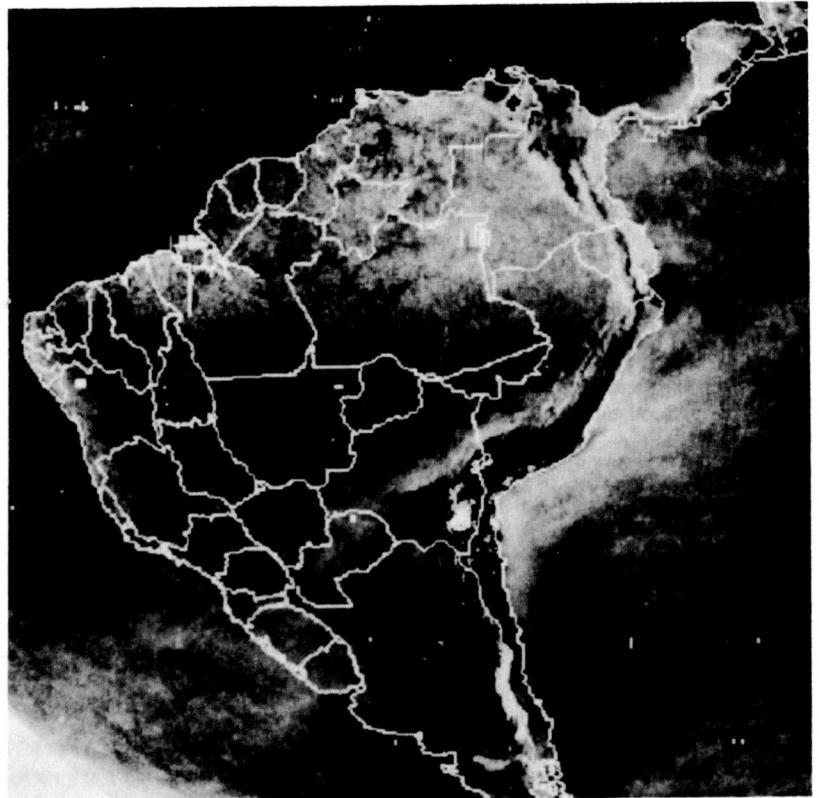


Fig. 2.
Imagen de Nubosidad media
del mes de julio de 1993,
para el horario de las 1600 hs . GMT.
Canal infra-rojo (10.5 a 12.5 μm).
METEOSAT 6.

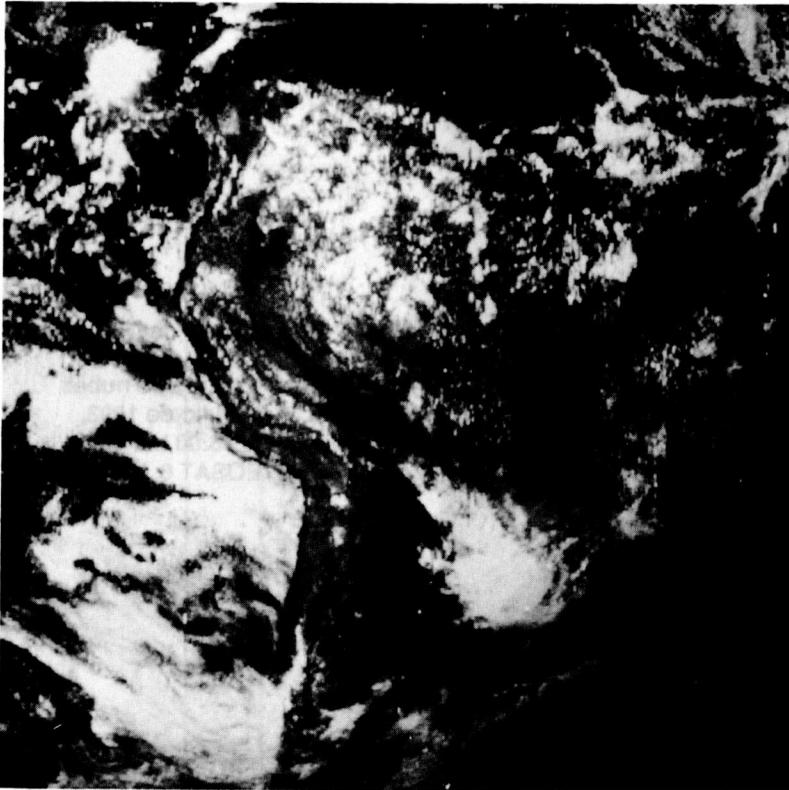
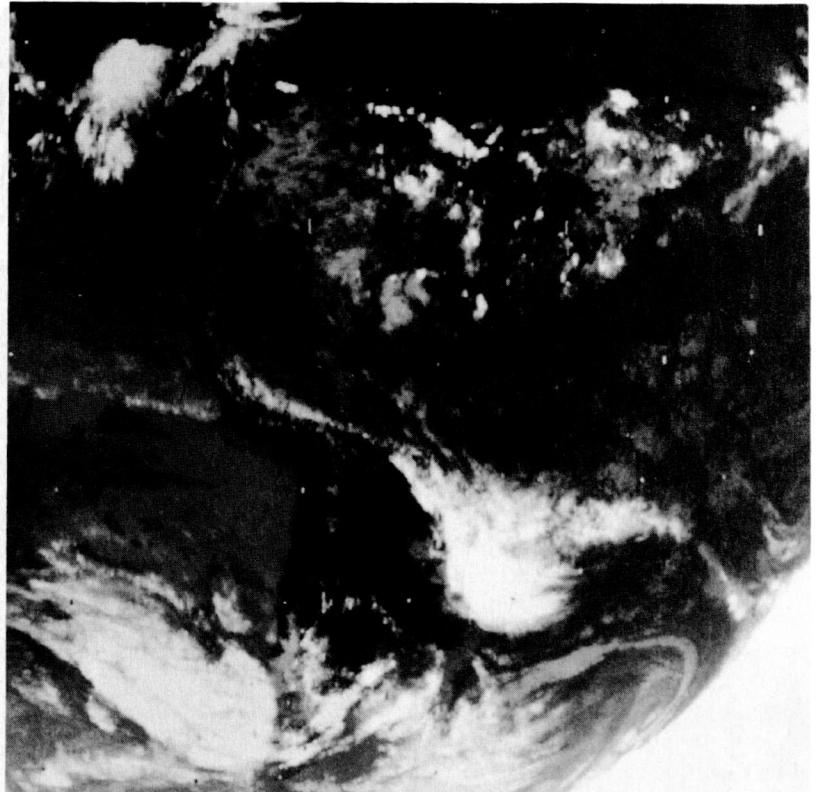


Fig. 3.
Imagen del canal visible
(0.7 a 1.1 μm)
del 17° día del mes de julio de 1993,
horario de las 1600 hs. GMT.
METEOSAT 6.



Fig. 4.
Imagen de l canal infra-rojo
(10.5 a 12.5 μm)
del 17° día del mes de julio de 1993,
horario de las 1600 hs. GMT.
METEOSAT 6.



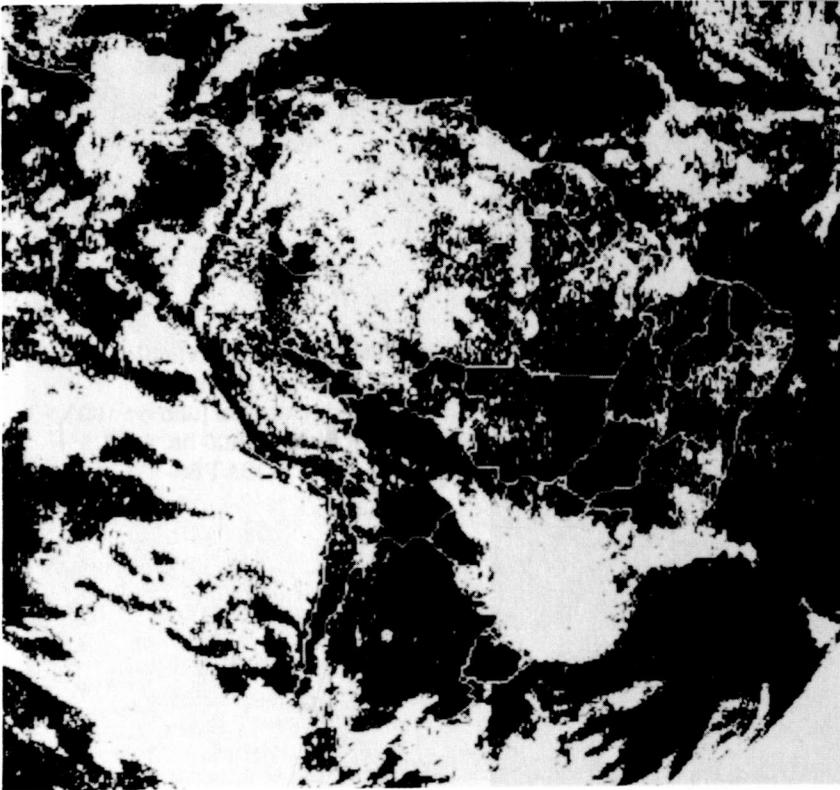
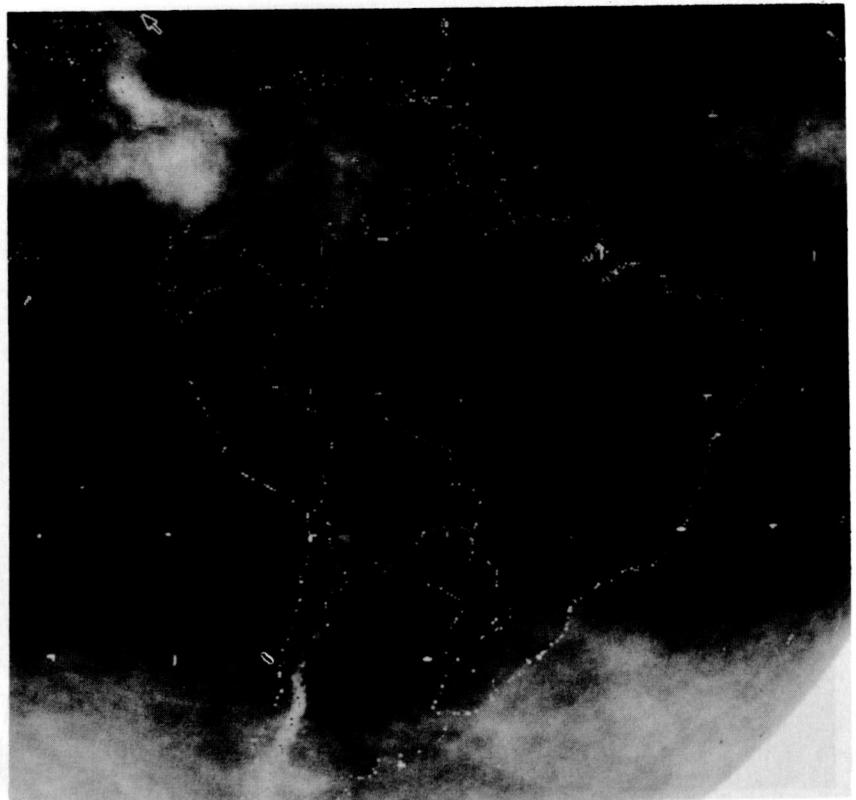


Fig. 5.
Imagen de cobertura de nubes
del día 17 de Julio de 1993,
horario de las 16:00 hs. GMT.
METEOSAT 6.

Fig. 6.
Imagen de frecuencia
de cobertura de nubes,
durante el mes de Julio de 1993,
horario de las 16:00 hs. GMT.
METEOSAT 6.



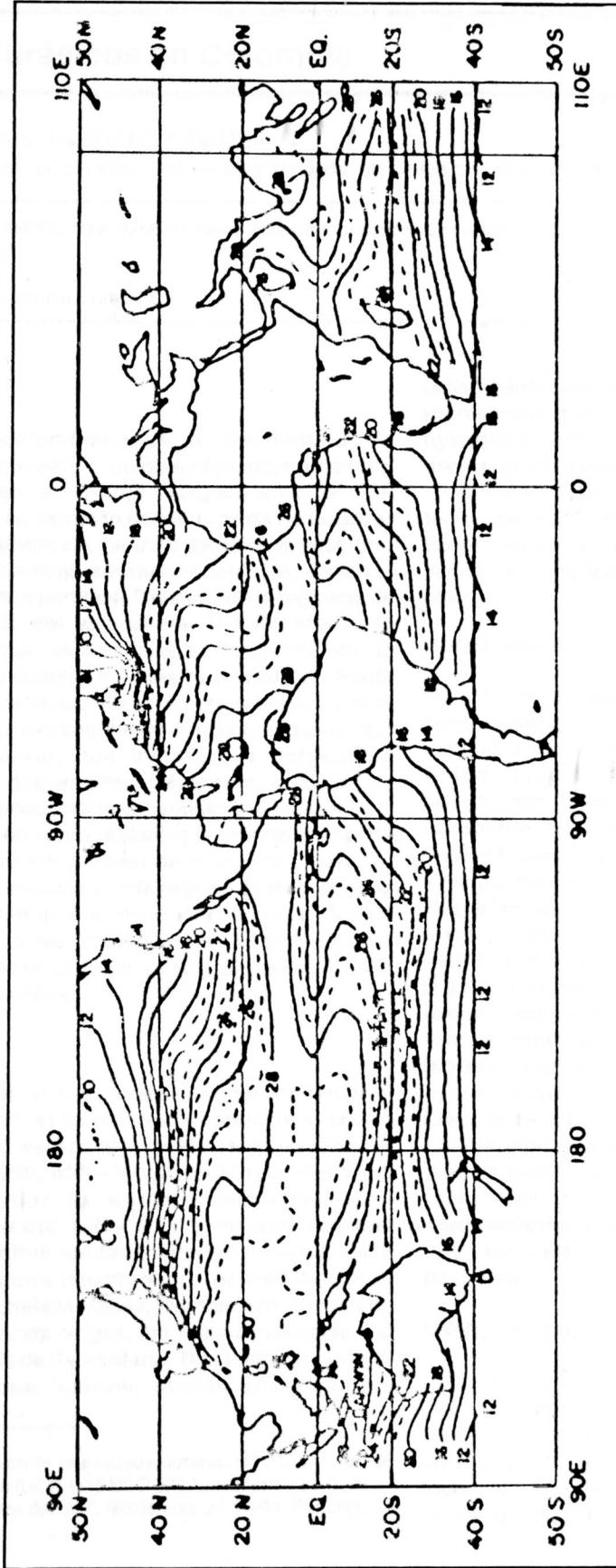


Fig.7 Temperatura media de la superficie del mar durante el mes de Julio de 1993, con
 gradeamiento de 2,5°C. El intervalo entre isotermas es de 2°C para temperaturas
 menores de 20°C y de 1°C para valores mayores.
 Tomada de la Revista Climanalise, Julio de 1993.
 CPTEC/INPE. Brazil.