



Terra. Vol. XXII, No. 32, 2006, pp. 13-39.

ADVECCIONES DE POLVO AFRICANO SOBRE LA COSTA CENTRAL VENEZOLANA Y SUS EFECTOS SOBRE EL DESARROLLO DE LA NUBOSIDAD*

Advections of African Dust on the Central Venezuelan Coast and their effects on the Development of Cloudiness

Estatio J. Gutiérrez Q.

RESUMEN

Empleando el índice de aerosol, determinado a través de las mediciones del sensor TOMS, se ha realizado un análisis del comportamiento de las magnitudes del parámetro sobre la costa central venezolana en base al período 1997-2005; los resultados señalaron que se presentaron los máximos valores del índice en los meses de Julio y Agosto correspondientes a la temporada de lluvias. Para este período las masas de aire cargadas de partículas de polvo llegan al Caribe provenientes del desierto del Sahara, como lo demuestra el mapa con la distribución espacial de la mediana del índice para el mes de julio, por el contrario existe una disminución sustancial en la cantidad de partículas dispersas sobre la troposfera venezolana en la temporada seca en donde las nubes de polvo se desplazan generalmente desde el Sahel. Los productos atmosféricos del sensor MODIS han sido utilizados para determinar la relación entre la concentración de aerosoles y el comportamiento de la nubosidad, presentando ésta una disminución en su desarrollo en presencia de valores altos del índice de aerosol principalmente en los meses de abril y mayo.

* Recibido: julio 2006. Aceptado: noviembre 2006.



PALABRAS CLAVE: Aerosoles, polvo africano, corriente de chorro africana, costa, sensor MODIS.

ABSTRACT

Using the aerosol index, calculated through the measurements of the TOMS sensor, an analysis of the behavior of the parameter's ranges has been made for the Venezuelan Central Coast in the period from 1997 to the year 2005, showing the highest values of the index in the months of July and August, which correspond to the rainy season. For this period, the air masses loaded with dust particles arrive in the Caribbean coming from the Sahara Desert, as it is shown by the index median spatial distribution map for the month of July. Otherwise there is a substantial decrease in the amount of scattered particles over the Venezuelan troposphere in the dry season, in which the dust clouds come from the Sahel region. The atmospheric products of the MODIS sensor have been used to uncover the relation between the aerosol concentration and the cloudiness behavior, which shows a decrease in its development when high aerosol index values are present mainly in April and May.

KEY WORDS: Aerosols, African dust, Easterly African Jet Stream, coast, MODIS sensor.

INTRODUCCIÓN

Los aerosoles cumplen un papel fundamental en el sistema climático, reflejan y absorben la radiación, en determinadas longitudes de onda, proveniente del sol; a su vez actúan como núcleos de condensación del vapor de agua presente en la troposfera. Una de las principales fuentes de aerosoles naturales, los cuales se diferencian de los aerosoles antropogénicos principalmente en el tamaño de las partículas, la constituye el desierto del Sahara. Las intrusiones de polvo sahariano son comunes sobre el sur occidente de Europa en los días de



verano. En España y Portugal los aerosoles provenientes del Sahara disminuyen en gran medida la visibilidad, produciendo a su vez un aumento notable de la temperatura que se puede extender por un período de varios días. En las condiciones sinópticas apropiadas las partículas, principalmente las más finas, son transportadas por el viento a través del Atlántico penetrando el Caribe y el Golfo de México, en donde existe la posibilidad de que las propiedades del polvo varíen a medida que se alejan de su fuente (Blanco *et al.*, 2003), influyendo estas nubes de partículas de manera determinante en las condiciones meteorológicas de las zonas mencionadas. El Sahel es otro reservorio importante de aerosoles, en invierno cuando la Zona de Convergencia Intertropical se encuentra sobre dicho territorio se desarrollan nubes de polvo que afectan las zonas circundantes pero difícilmente alcanzan el Caribe debido a su baja altitud y concentración.

Los aerosoles, en específico el polvo africano, tienen una influencia directa sobre el comportamiento de una serie de parámetros atmosféricos así como en la salud humana. La disminución de la visibilidad debido a la presencia de intensas calinas, el aumento de las temperaturas en superficie y el incremento de la estabilidad atmosférica son algunos de los principales efectos que puede desencadenar la advección de una masa de aire con altas concentraciones del polvo, además existe una correlación negativa entre las concentraciones de aerosoles y el ozono troposférico debido a que altas concentraciones de polvo destruyen el ozono cercano a la superficie (Bonasoni *et al.*, 2004). El desarrollo de los ciclones tropicales se ve afectado por el desplazamiento de masas cargadas de polvo sobre el Atlántico según Amato Evan, investigador en el instituto cooperativo de UW-Madison para Estudios Meteorológicos por satélite (CIMSS) que ha determinado una correlación negativa entre la actividad ciclónica y las irrupciones de polvo en la atmósfera. En lo que se refiere a la salud humana, los aerosoles incentivan las enfermedades respiratorias, la irritación de las membranas y estimulan



los ataques de ansiedad. Canarias (España) constituye una de las áreas donde las advecciones de polvo afectan intensamente y de manera directa debido a la proximidad con la región fuente; en ésta provincia se ha determinado que la presencia de polvo sahariano en suspensión condiciona un aumento de la demanda asistencial urgente por patologías respiratorias y trastornos de ansiedad (García *et al.*, 2001). En el Caribe ha sido reportada una influencia negativa de los aerosoles sobre los arrecifes coralinos causando inclusive su muerte.

Diversas investigaciones realizadas alrededor del mundo han puesto en evidencia la importancia del fenómeno, incentivando el desarrollo de modelos de predicción que permitan determinar el movimiento y la concentración de las masas de aire cargadas de aerosoles, un ejemplo de ello es el modelo NAAPS desarrollado por la Marina de los Estados Unidos cuyas salidas se encuentran disponibles en Internet.

La influencia del polvo Sahariano sobre las condiciones meteorológicas venezolanas no es bien conocida, por tal razón ésta investigación pretende determinar el comportamiento del índice de aerosol (IA) extraído de la información recolectada por el sensor TOMS sobre la costa central venezolana. A través del procesamiento de la información han sido determinados los estadísticos que permiten caracterizar el comportamiento de la variable, que constituye una medida del espesor óptico de la nube de aerosoles, la cual adquiere sus máximos valores sobre Venezuela en la temporada de lluvias, principalmente en los meses de julio y agosto, disminuyendo notablemente la presencia de nubes de polvo en la temporada seca en correspondencia con el debilitamiento y desplazamiento en sentido sur de la corriente de chorro africana. El aumento de la cantidad de los núcleos higroscópicos en un momento determinado produce la formación de una gran cantidad de pequeñas gotas de agua que están inmersas en un proceso continuo de condensación-evaporación y aunado a la inversión de temperatura



asociada al calor absorbido por las partículas trae como consecuencia la inhibición del desarrollo de los sistemas nubosos; en ciertos casos, si la concentración de aerosoles es lo suficientemente alta, es posible que se registre una ausencia total de nubosidad durante el período que se mantenga la masa cargada de polvo sobre la zona. La respuesta de la nubosidad es estudiada a través de los productos atmosféricos, temperatura y presión del tope de nube, vapor de agua, radio de la gota y fracción de nubosidad, del sensor MODIS. El comportamiento de las variables antes mencionadas se ve mayormente afectado por la advección de aerosoles en abril y mayo, principalmente en éste último, a diferencia de los meses julio y agosto, en donde se registran los máximos valores del índice de aerosol pero sin afectar considerablemente al desarrollo de la nubosidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El índice de aerosol determinado a través de las mediciones realizadas por el sensor TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) es una de las herramientas más utilizadas para detectar la presencia de los aerosoles naturales sobre el continente y el océano debido a su carácter gratuito y su sencillo formato. La información tiene una resolución espacial de 1° de latitud por 1° 15' de longitud abarcando la totalidad del planeta y realiza una medición diaria en cada punto. El período analizado comprende desde 1997 al 2005, en un dominio que abarca el Caribe, océano Atlántico y el norte de África específicamente entre 80° 37' 30" O – 10° 37' 30" E y 0° 30' 00" N- 35° 00' 00" N.

Básicamente el índice de aerosol es la medida del espesor óptico que tiene la nube de polvo al momento de realizada la medición por parte del satélite. El valor del índice es obtenido a través de la relación entre la radiación ultravioleta absorbida por los aerosoles y la máxima



teórica (Rayleigh) entre los canales espectrales 340 y 380 nm. A pesar de la utilidad del parámetro es necesario tener en cuenta algunas limitaciones:

§ El TOMS no detecta presencia de aerosoles absorbentes por debajo de los 1000 metros debido a que cuanto más cercana se encuentre la capa absorbente a la superficie, menor será la radiación absorbida por los aerosoles (Torres et al., 2002). Este factor trae como consecuencia que en ciertos casos existan altas concentraciones de polvo en niveles medios y estas no sean percibidas desde la superficie o por el contrario, estén presentes altas concentraciones de partículas por debajo de los mil metros y el IA registre magnitudes bajas. Igualmente las capas delgadas no son detectadas con claridad.

§ Debido a la resolución de las mediciones, una significativa variabilidad espacial alteraría el valor del índice.

§ La resolución temporal impide que sean detectados cambios bruscos en la concentración de aerosoles durante el día.

La información referente a los productos atmosféricos, temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y presión (hPa) en el tope de nube, fracción de nubosidad, radio de la gota (micrones) y vapor de agua (cm), del sensor MODIS han sido extraídos para el píxel, con resolución de 1 Km., centrado en $10^{\circ} 30' 00''$ N y $66^{\circ} 48' 00''$ O para el período 2000-2005. El principal inconveniente con este tipo de información satelital es que no ha sido validada para Venezuela, por tal razón es recomendable enfocarse en la tendencia que poseen los datos más que en su valor absoluto.

Los meses de enero y julio, representativos de la temporada seca y lluviosa respectivamente en la costa venezolana, han sido seleccionados para caracterizar la distribución espacial del índice de aerosol para cada



momento, a través del cálculo de los estadísticos mediana, rango intercuartil y percentil 95 de la información contenida en cada uno de los puntos de la grilla que constituyen el dominio, ejemplificando de esta manera el comportamiento medio, máximo y la variabilidad del índice en distintas épocas del año. Los resultados son expuestos tanto para la totalidad del dominio seleccionado como para el territorio nacional.

Generalmente la masa de aire en donde están contenidas las partículas de polvo abarcan una extensa área, por lo cual la información correspondiente al píxel cuyo centro se encuentra ubicado en 10° 30' 00" N y 66° 48' 00" O ha sido analizada con las herramientas de la estadística descriptiva para caracterizar el comportamiento mensual de la variable sobre el extremo septentrional del territorio nacional y en específico sobre la costa central venezolana. Al igual que la magnitud de la concentración de partículas, en este caso determinada indirectamente a través del índice de aerosol, el número de días que permanece la nube de polvo es un factor fundamental, ya que si dichas partículas se mantienen por varios días consecutivos sobre una región pueden ocasionar, dentro de la temporada de lluvia, cortos períodos de sequía así como días consecutivos con altas temperaturas, en vista de esto se ha realizado un análisis estadístico básico del número de días consecutivos con un valor del índice mayor a cero. La cantidad de días, en ciertos casos, está subestimada debido a la presencia de datos faltantes; a su vez este factor impide que el análisis de la magnitud del índice sea realizado a la agrupación de los píxeles que representan la costa central venezolana ya que se subestimarían en gran medida las condiciones reales, por tanto ha sido seleccionada la información de un solo píxel para tal fin.

Altas concentraciones de partículas en la atmósfera inhiben la formación de los sistemas nubosos. Para comprobar dicha hipótesis se han calculado los estadísticos correspondientes a la serie de datos,



ubicados en 10° 30' 00" N y 66° 48' 00" O, de temperatura y presión del tope de nube, fracción de nubosidad, radio de la gota y vapor de agua cuando existe un valor del índice de aerosol igual o mayor a la magnitud del percentil 75, estableciéndose una comparación gráfica con los estadísticos correspondientes a las series en su totalidad, es decir se establece un símil entre los valores de los parámetros que pueden registrarse bajo cualquier condición y los valores que se registran en presencia de concentraciones altas de polvo. Los meses seleccionados para el análisis son abril-mayo que constituyen el período de inicio de la temporada de lluvias en la costa central venezolana y julio-agosto donde se presentan los máximos valores del índice de aerosol en el año.

Los vientos máximos relacionados con la corriente de chorro africana se encuentran ubicados en los 600 hPa (Cook, 1998) e influyen de manera determinante en el desplazamiento del polvo hacia el Caribe. Los promedios de largo registro (1948-2005) de la componente zonal del viento a 600 hPa, para el área de estudio, extraídos de las salidas del modelo de reanálisis del NCEP-NCAR han sido utilizados para determinar la posición y extensión de la corriente de chorro y su relación con el transporte de partículas en los meses de enero y julio.

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL ÍNDICE DE AEROSOL

Durante el invierno boreal la zona de máximo calor se ubica aproximadamente entre los 5° y 10° N sobre el continente africano ocasionando que se desarrollen procesos convectivos que inducen a un levantamiento del polvo superficial en la zona del Sahel, delimitada por la costa oeste africana y los 30° O. Los aerosoles pertenecientes a esta área, como es reportado en distintas investigaciones, poseen un carácter menos absorbente que las partículas existentes en el Sahara y, aunado a la presencia de una capa vegetal, producen que los valores de la mediana del índice de aerosol sobre la región Saheliana para el mes de enero



(fig. N° 1) estén por debajo de los registrados sobre la superficie Sahariana en el mes de julio (fig. N° 4). La concentración de partículas sobre el Caribe en enero es considerablemente baja presentando un valor constante del IA sobre toda el área. La costa venezolana muestra un comportamiento similar al registrado en el Caribe con magnitudes del índice cercanas a dos unidades. Sin embargo, en la región sur-occidental, específicamente en el estado Apure, existe una concentración de aerosoles que duplica la registrada en el resto del territorio nacional extendiéndose este comportamiento sólo unos cuantos kilómetros sobre el nororiente colombiano. Como es posible apreciar en el mapa que contiene la totalidad del dominio, este hecho es debido a un efecto local que no ha podido ser identificado en esta investigación por lo cual se recomienda un estudio detallado sobre la zona que permita determinar las causas de este comportamiento de los aerosoles.

Los máximos valores del índice pueden alcanzar, para principios de año, magnitudes cercanas a las 46 unidades sobre la zona del Sahel (fig. N° 2) y cuadruplicándose la concentración de partículas sobre el Caribe con valores que rondan las ocho unidades, aún así las magnitudes del índice están por debajo de las registradas en un día promedio de verano. Sobre el territorio nacional se mantiene la presencia de un máximo sobre la región sur occidental destacándose un núcleo de doce unidades sobre el sur del estado Amazonas. En cuanto a la variabilidad, la cantidad de polvo tiende a oscilar en mayor medida sobre el océano Atlántico próximo a la costa africana ubicada a los 5° N, zona que además presenta un fuerte gradiente. La variación del IA disminuye en cuanto se aproxima al Caribe, en donde la magnitud del parámetro se mantiene relativamente estable. En Venezuela, no se experimentan cambios bruscos de la concentración de partículas, donde la máxima variabilidad se registra sobre el occidente y parte del sur del país coincidiendo con las zonas de mayor incidencia de polvo.



La Zona de Convergencia Intertropical se desplaza en sentido norte para el mes de julio posicionándose entre los 15° y 25° N sobre el continente africano, lo que se traduce en un intenso calentamiento diurno en dicha zona. La convección producto de las altas temperaturas permite que el polvo presente sobre el desierto del Sahara se eleve y mantenga con relativa facilidad, en horas del día hasta miles de metros por encima de la superficie, situándose generalmente la capa de partículas, entre los 1,5 y 7 Km de altura. Durante la noche, la inversión de temperatura producto del flujo radiativo superficial incrementa la estabilidad atmosférica impidiendo la sedimentación de los aerosoles y tienen la capacidad de mantenerse en la media troposfera por varios días e inclusive semanas. El proceso de suspensión del polvo, así como el posicionamiento de su principal fuente por encima de los 15° N permite que las partículas sean transportadas por el viento hasta regiones tan distantes como el Golfo de México y el Caribe. En este último, los valores medios del IA se incrementan considerablemente alcanzando magnitudes que en ciertas zonas superan en un 400% los registros de la temporada seca, representada por el mes de enero (fig. N° 1). En esta época del año la costa venezolana se ve directamente afectada por la presencia de aerosoles (fig. N° 4), estableciéndose un gradiente norte-sur y desapareciendo la concentración de polvo sobre el sur occidente presente a principios de año. Los máximos valores del índice se despliegan sobre gran parte del norte de África registrándose magnitudes superiores a las 52 unidades (fig. N° 5) registrando una disminución de 15-16 unidades sobre el océano. Las concentraciones máximas de polvo se mantienen constantes sobre el Atlántico debilitándose al llegar al Caribe. El índice varía en una misma proporción sobre mar y continente alcanzando en algunas zonas de África y el Atlántico una variabilidad de 20 unidades (fig. N° 6), con una zona relativamente estable de generación de polvo centrada en los 20° N y 7° O. Las regiones fuente de polvo para enero (Sahel) y julio (Sahara) presentan una variabilidad



considerablemente similar a pesar de que los valores del IA son muy diferentes.

La costa central y occidental son las mayormente afectadas por las nubes con altas cantidades de aerosoles, registrándose un fuerte gradiente hasta los 9° 30' 00" N sobre el territorio nacional que tiende a debilitarse hacia el sur y disminuyendo en igual medida la oscilación en el valor del parámetro. A su vez sobre la costa central existe la mayor variabilidad, que puede alcanzar las 9 unidades, reflejando que las concentraciones altas no son constantes y por el contrario son atribuidas a eventos puntuales.

La corriente de chorro africana es un flujo máximo de viento que se desarrolla en el norte de África, cuyo centro se ubica aproximadamente entre los 600 y 500 hPa a los 15° N, alcanzando velocidades máximas promedio de 11 m/s. Esta corriente es producto no sólo del gradiente de temperatura debido a la distribución de la radiación solar durante el verano boreal sino que también requiere de la presencia de un fuerte gradiente meridional de humedad (Cook, 1998).

La posición del chorro respecto a los planos vertical y horizontal permite establecer una relación con las advecciones de polvo sahariano hacia el Caribe. La figura N° 7 muestra la distribución espacial del promedio de largo registro de la componente zonal del viento en 600 hPa para el dominio seleccionado en el análisis de los aerosoles, en donde es posible apreciar las similitudes existentes entre la ubicación de la fuente de polvo y la presencia del eje del chorro para el mes de julio, extendiéndose esta corriente hasta el Atlántico central en condiciones medias. Según lo mencionado, es posible afirmar de manera preliminar que el mecanismo que permite el transporte de las partículas desde el Sahara hasta el Atlántico e inclusive el Caribe es la corriente de chorro africana, la cual bajo cierto patrón sinóptico pudiese verse incrementada tanto en velocidad como en extensión. El mapa representativo de la velocidad zonal del viento para el mes de enero



(fig. N°7) presenta un desplazamiento latitudinal en sentido sur del eje del chorro posicionándose en las cercanías del ecuador así como un aparente desplazamiento longitudinal hacia el este, aunado a esto se registra una disminución de su intensidad de aproximadamente 2 m/s con respecto a julio.

Para principios de año existe una marcada diferencia, fundamentalmente longitudinal, entre la ubicación de la fuente de partículas y el eje de la corriente a lo que se suma el debilitamiento de la velocidad del flujo, los cuales constituyen factores que dificultan el transporte de los aerosoles hacia el Caribe. Sin embargo, cabe la posibilidad que el centro del chorro se intensifique y desplace bajo ciertas condiciones, trayendo como consecuencia una importante advección de polvo sobre el territorio nacional durante la temporada seca. Los vientos Alisios intervienen en el transporte de las masas de aire cargadas de partículas una vez que están en las cercanías del Caribe, debido al hundimiento experimentado durante el recorrido a través del Atlántico, la nube de polvo desciende hasta el nivel de influencia de los vientos del Este que en promedio se ubican desde la superficie hasta los 2.000 metros de altura.

ANÁLISIS TEMPORAL SOBRE LOS 10° 30' 00" N 66° 48' 00" O

Las costa venezolana, como lo reflejan las figuras anteriores, es la zona que se ve más afectada por las advecciones de polvo sahariano en Venezuela. Se ha realizado un análisis estadístico básico a la información del índice de aerosol contenida en el píxel centrado en 10° 30' 00" N y 66° 48' 00" O (fig. N° 8) con la finalidad de determinar el comportamiento de la concentración de partículas sobre el extremo norte del país y más específicamente sobre la costa central venezolana para todos los meses del año, considerando que el TOMS subestima el contenido de aerosoles. Los valores del IA tienen una distribución



bimodal, respecto a la mediana, presentando el máximo principal en Agosto alcanzando un valor de 7 unidades y un máximo secundario en el mes de Abril con una magnitud de 6 unidades. Los valores mínimos corresponden a los meses en donde está plenamente establecida la temporada seca (diciembre, enero, febrero). A pesar de las bajas magnitudes del índice presentes en el primer trimestre del año es posible que se produzca la llegada de masas de aire cargadas con grandes cantidades de partículas como lo reflejan los valores fuera de rango en enero y febrero. Durante la temporada de lluvias se producen las advecciones más importantes resaltando julio y agosto como los períodos con mayores valores del IA que pueden alcanzar hasta las 35 unidades registrándose a su vez la mayor variabilidad. Además de la magnitud de la concentración de las partículas, el tiempo que éstas se mantengan sobre un área determinada constituye un factor importante en la influencia de las advecciones de polvo sobre las condiciones meteorológicas. En el extremo derecho de la figura N° 8 se presenta el análisis de los días consecutivos con un valor del índice mayor a una unidad en el transcurso del año, parámetro subestimado debido a los datos faltantes presentes en el registro. La presencia de nubes de polvo generalmente se mantiene de uno a tres días consecutivos pero presentándose una cantidad de eventos que sobrepasan considerablemente esta tendencia, los cuales pueden alcanzar de 15 a 30 días. Los meses de mayo y agosto se destacan respectivamente por la cantidad de eventos fuera de rango y la persistencia de los mismos.

INFLUENCIA DEL POLVO AFRICANO SOBRE LA NUBOSIDAD EN LA COSTA CENTRAL VENEZOLANA

Generalmente las advecciones de polvo sahariano inhiben el desarrollo de los sistemas nubosos debido principalmente a que la absorción de onda larga, por parte de los aerosoles puede causar una



inversión de temperatura que favorece la estabilidad y a su vez la cantidad de núcleos higroscópicos inducen un constante proceso de evaporación y formación de pequeñas gotas. La nubosidad típica en el transcurso de estos eventos está constituida por nubes estratiformes en niveles bajos y presencia de calina si la masa de polvo alcanza la superficie. La presencia de cirrus es bastante común en estos casos ya que las diminutas gotas de agua ascienden con relativa facilidad debido a la inexistencia de corrientes descendentes que impidan su transporte hacia los niveles altos de la troposfera.

Los productos atmosféricos de sensor MODIS han sido empleados para determinar la influencia de las concentraciones de aerosoles sobre la nubosidad en los meses seleccionados. Los diagramas representados en la figura N° 9 muestran los estadísticos básicos que definen el comportamiento de las variables temperatura y presión del tope de nube, así como la fracción de nubosidad en presencia de altas concentraciones de polvo (cajas rotuladas con la abreviatura del mes más una “p”, ejemplo ABRP) y para toda la serie de datos (ejemplo ABR). En el mes de abril es posible observar que existe un ligero aumento en la mediana de la temperatura del tope de nube cuando se presenta un valor alto de IA, así como se produce una disminución de la variabilidad y valores mínimos más calientes que en las condiciones medias, incrementándose estas diferencias en el mes de mayo donde la mediana alcanza un valor cercano a cero grado en presencia de polvo en contraste con los -12°C , que definen la mediana que toma en cuenta la totalidad de los datos. Para los meses en donde está establecida la temporada lluviosa, el polvo africano no influye de manera determinante en el desarrollo de la nubosidad pero existe una ligera tendencia al registro de nubes con topes menos fríos. Al igual que la temperatura, la posición del extremo superior de los sistemas nubosos se ve afectada por los aerosoles; según la gráfica, los topes se posicionan en niveles más bajos principalmente en el mes de mayo en concordancia con la



variable analizada anteriormente. La fracción de nubosidad que representa el espacio cubierto por nubes, sin tomar en cuenta el tipo, registra una sutil disminución en presencia de polvo que es considerablemente reducida en los meses de julio y agosto. El radio de las gotas es otro parámetro determinante en el análisis de la nubosidad, los máximos radios alcanzados en los meses de inicio de la temporada lluviosa se ven claramente influenciados por las partículas de polvo así como la mediana principalmente en el mes de mayo. En julio, los aerosoles prácticamente no influyen en el tamaño de las gotas, comportamiento que se revierte en agosto donde el radio de las gotas tiende a ser menor.

Las masas de aire cargadas con partículas de polvo se alimentan con vapor de agua a medida que atraviesan el Atlántico y el Caribe y debido a las altas temperaturas que presentan se dificulta a su vez la llegada al punto de saturación. Aunado a esto, las gotas de lluvia al atravesar la capa de aire sahariano sufren un proceso de evaporación que puede llegar a ser total (Fiol *et al.*, 2001), aumentando el vapor de agua en la troposfera. Este comportamiento es visible claramente en los meses de abril y mayo (fig. N° 10) en los cuales se produce un notable aumento del vapor de agua presente en la troposfera, nuevamente en el par de meses restantes la magnitud del parámetro difiere poco en presencia de altas concentraciones de polvo y en condiciones normales. A pesar del incremento en el contenido de humedad, el desarrollo de la nubosidad se ve inhibido por las razones explicadas a lo largo del artículo.

CONCLUSIONES

Las masas de aire cargadas con partículas de polvo provenientes del continente africano se desplazan a través del Atlántico hasta el Caribe utilizando la corriente de chorro africana como medio de transporte en la troposfera media y posteriormente a los vientos Alisios cuando los aerosoles sedimentan y se posicionan en niveles bajos cercanos a la



superficie. Las principales advecciones de polvo sobre Venezuela y el Caribe, cuya región fuente es el desierto del Sahara, se producen en el verano boreal pero sin afectar notablemente en la mayoría de los casos el desarrollo de la nubosidad en la temporada lluviosa venezolana sobre la costa central como lo demuestran las magnitudes registradas por los productos atmosféricos del sensor MODIS relacionados con la nubosidad en presencia de valores altos del índice de aerosol. Sin embargo, a principios de la temporada de lluvias, meses Abril y Mayo, existe una influencia importante de los aerosoles sobre la nubosidad registrándose nubes con toques más bajos, menos espesor y con un radio de gotas menores que en condiciones normales, es posible que si durante estos meses se producen advecciones importantes de partículas, el inicio del período de precipitaciones se vea retrasado, hecho que necesita ser comprobado con el análisis de la precipitación.

Durante el invierno boreal, están ausentes los factores principales que permiten que las partículas se desplacen desde la zona del Sahel, fuente de polvo para esta época del año, hasta el Caribe y Venezuela. Sin embargo, sobre la región sur occidental del territorio nacional se registran altas concentraciones de polvo que superan inclusive los valores alcanzados en la costa venezolana, zona que en verano es la mayormente afectada. La presencia de altos contenidos de aerosoles sobre esta zona no es atribuido al polvo proveniente de África sino por el contrario es un fenómeno local, que no posee un carácter constante debido a su variabilidad, influyendo inclusive en una pequeña parte de Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco, A.; De Tomasi, F.; Fillipo, E., *et al.* (2003). Characterization of African dust over southern Italy. *Atmospheric Chemistry and Physics* 3: 2147-2159.
- Bonasoni, P.; Cristofanelli, P.; Calzolari, F., *et al.* (2004). Aerosol-ozone correlations during dust transport episodes. *Atmospheric Chemistry and Physics* 4:2055-2088.



- Cook, K. (1998). Generation of the African Easterly Jet and its role in determining West African precipitation. *Journal of Climate*. Vol. 12, N° 5, 1165-1184.
- Fiol, L.; Guijarro, J. & Fornós, J. (2001). Lluvias de barro en el Mediterráneo Occidental: El caso Mallorca. *Revista de Climatología*. Vol. 1: 7-20.
- García, J.; Hernández, A.; Blasco de la Fuente, A., *et al.* (2001). Invasión de viento sahariano y su impacto en la asistencia sanitaria urgente. *Emergencias* 13: 372-376.
- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (2005). Documento en Línea. Disponible en: <http://modis.gsfc.nasa.gov/>. [Consultado 2005, marzo 16].
- Naval Research Laboratory Monterrey Aerosol (NRLMry) (2005). Documento en Línea. Disponible en: http://www.nrlmry.navy.mil/aerosol_web/Docs/nrlmryonrprop.html. [Consultado 2005, marzo 16].
- Torres, O.; Bhartia, J.; Herman, J., *et al.* (2002). A long-term record of aerosol optical depth from TOMS observations and comparison to AERONET measurements. *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 59, 3.
- Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS). (2005). Documento en Línea. Disponible en: <http://toms.gsfc.nasa.gov/eptoms/ep.html>. [Consultado 2005, marzo 16].

Estatio José Gutiérrez Quevedo. Ingeniero Hidrometeorólogo (UCV). Docente en las áreas de Estadística para Ingenieros, Meteorología General e Instrumentos y Observación. Desempeña labores de investigación en el área del modelaje meteorológico en el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica y el proyecto PROCEDA del Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica y el Instituto de Mecánica de Fluidos. UCV. Pasante del Centro de Pronósticos Hidrometeorológicos de CVG EDELCA. Ponente en congresos nacionales e internacionales: México, Colombia y Cuba. Correo electrónico: estatio@yahoo.com

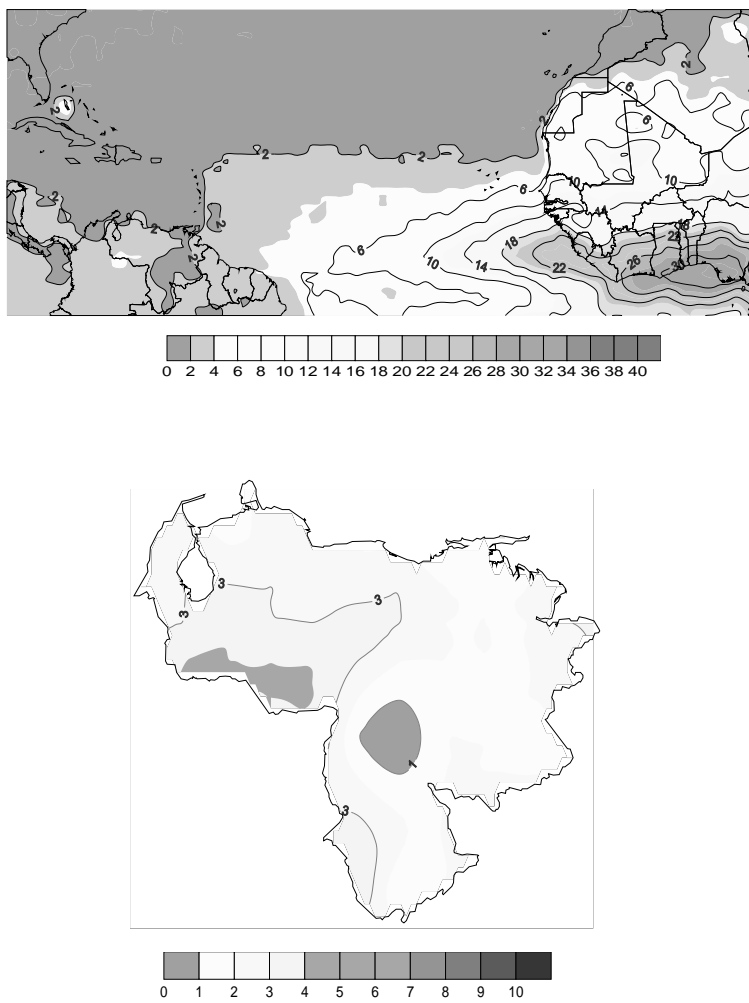


Figura N° 1. Distribución espacial de la mediana del IA para el mes de Enero en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

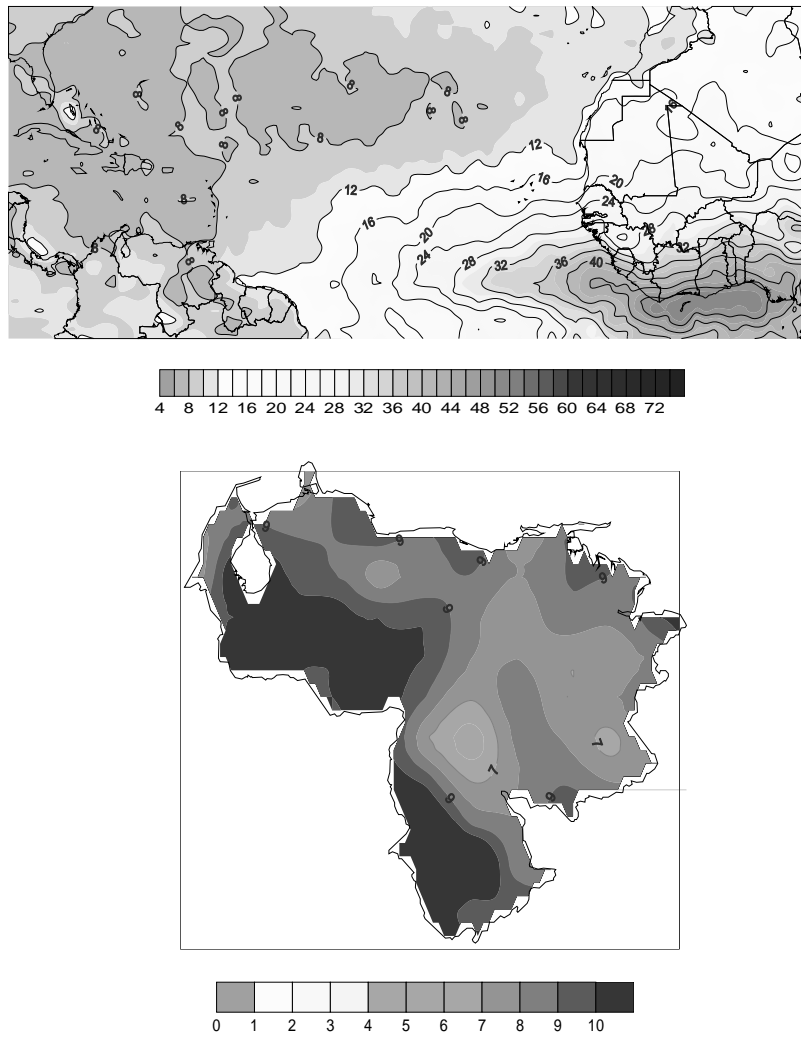


Figura N° 2. Distribución espacial del percentil 95 del IA para el mes de Enero en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

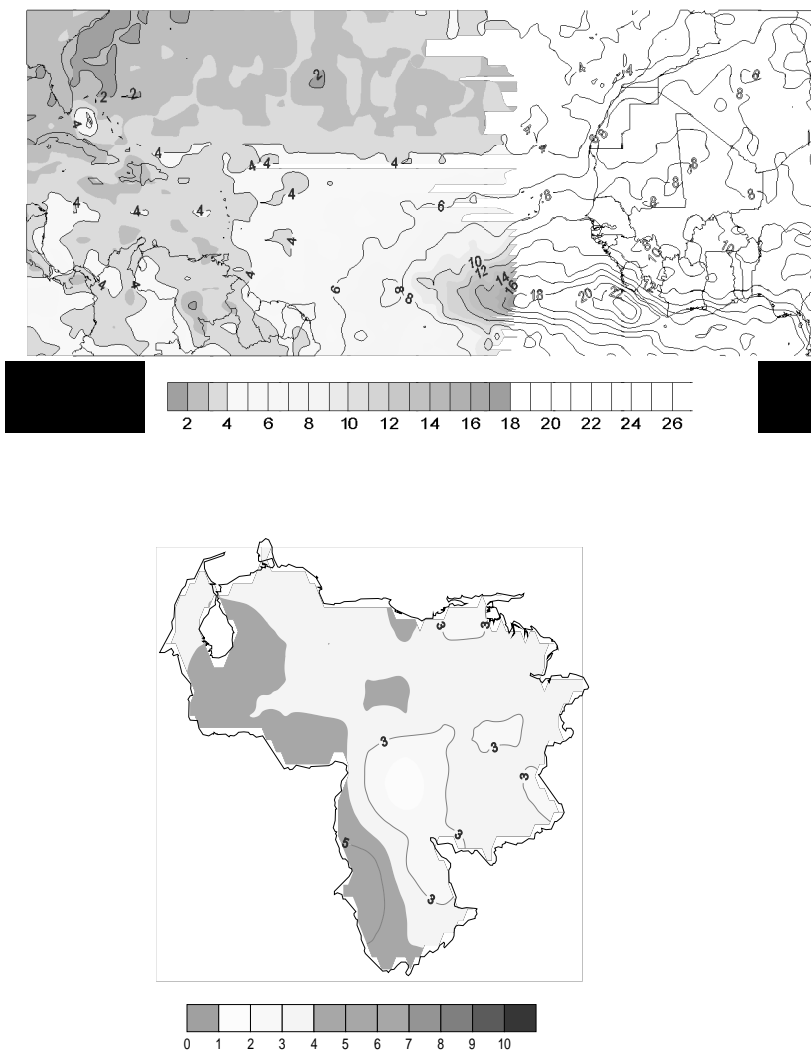


Figura N° 3. Distribución espacial del rango intercuartil del IA para el mes de Enero en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

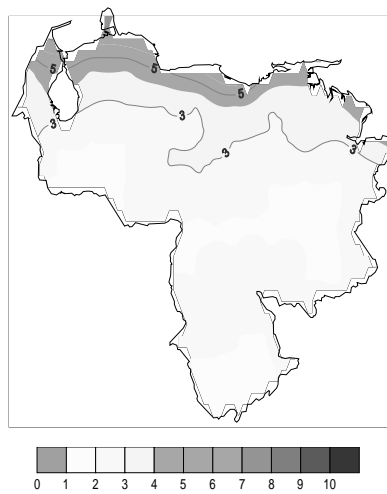
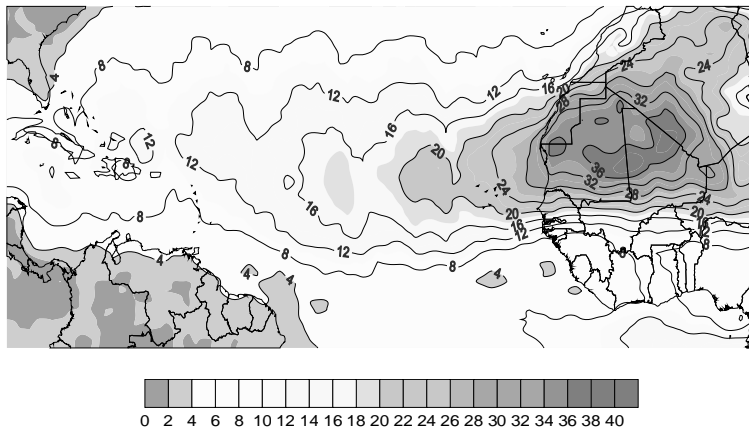


Figura N° 4. Distribución espacial de la mediana del IA para el mes de Julio en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

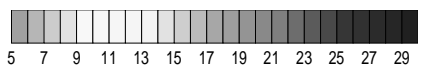
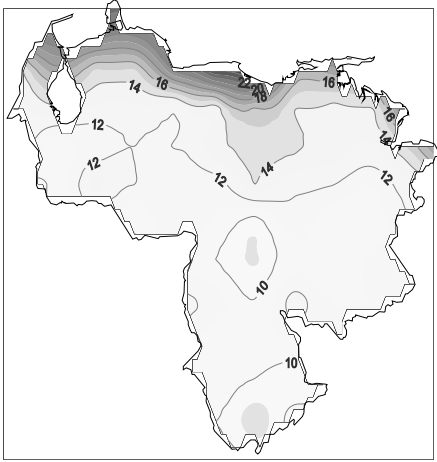
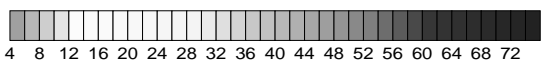
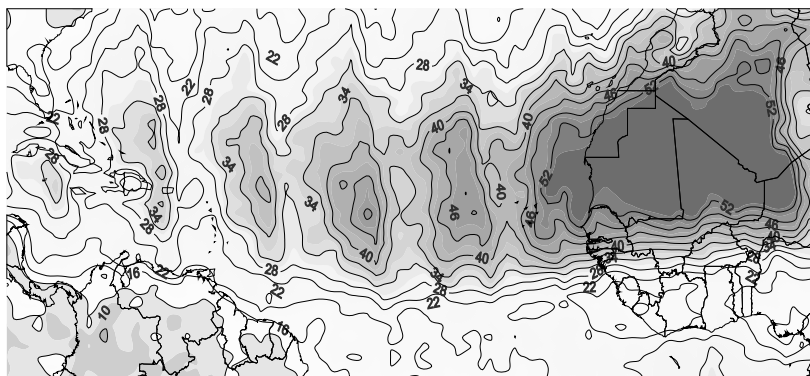


Figura N° 5. Distribución espacial del percentil 95 del IA para el mes de Julio en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

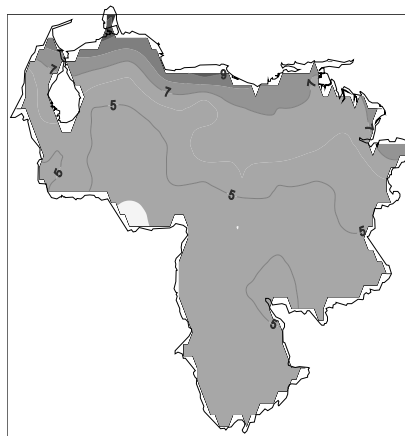
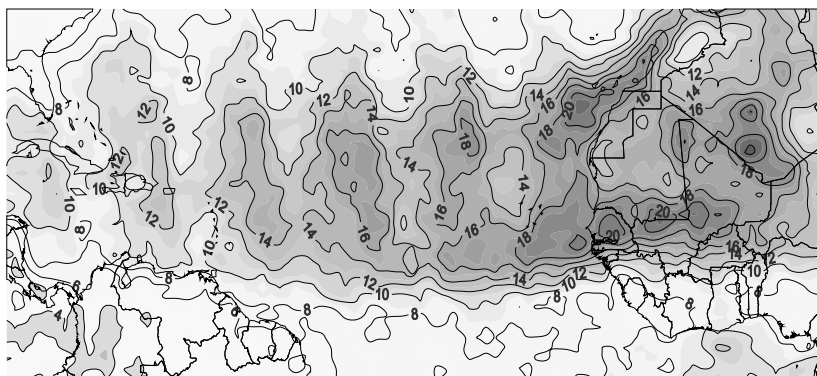


Figura N° 6. Distribución espacial del rango intercuartil del IA para el mes de Julio en la totalidad del dominio (arriba) y sobre Venezuela (abajo).

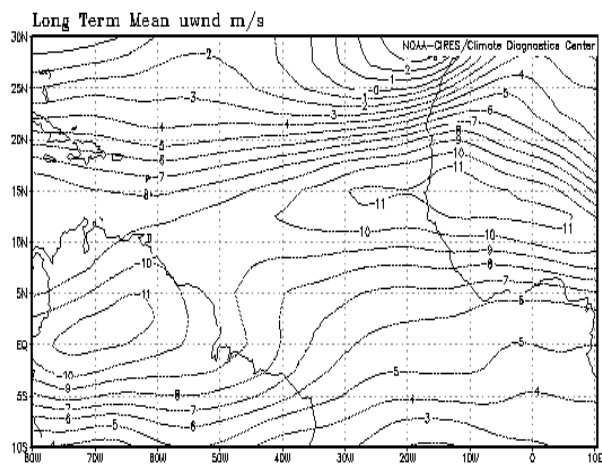
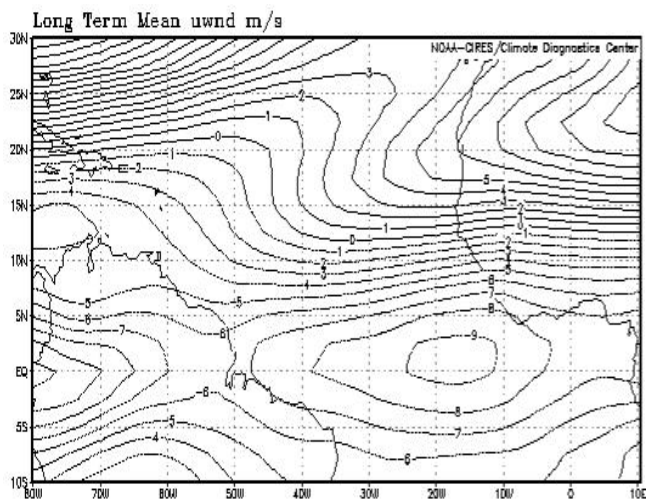


Figura N° 7. Distribución espacial de la media de largo registro de la velocidad zonal (m/s) obtenidos a través del modelo de reanálisis del NCEP-NCAR para Enero (arriba) y Julio (abajo).

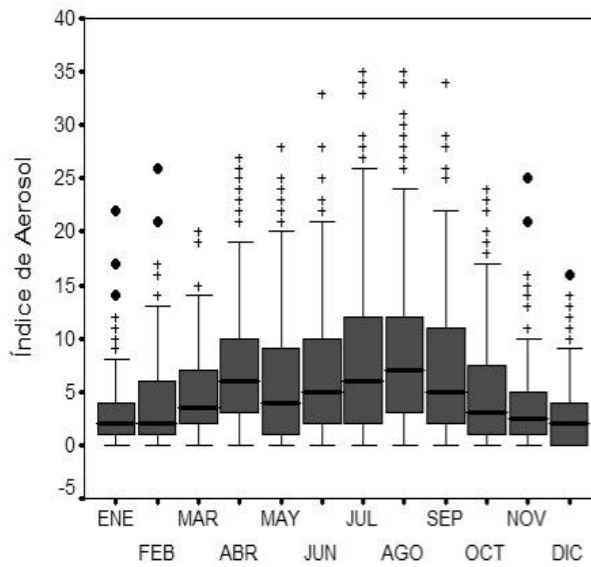
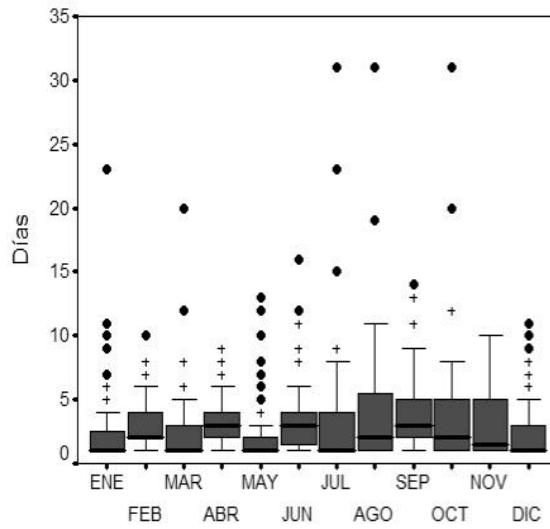


Figura N° 8. Diagrama de caja y bigote de la magnitud del índice de aerosol (abajo) y días consecutivos con presencia de aerosoles (arriba) sobre los 10.5° N y 66.875° O.

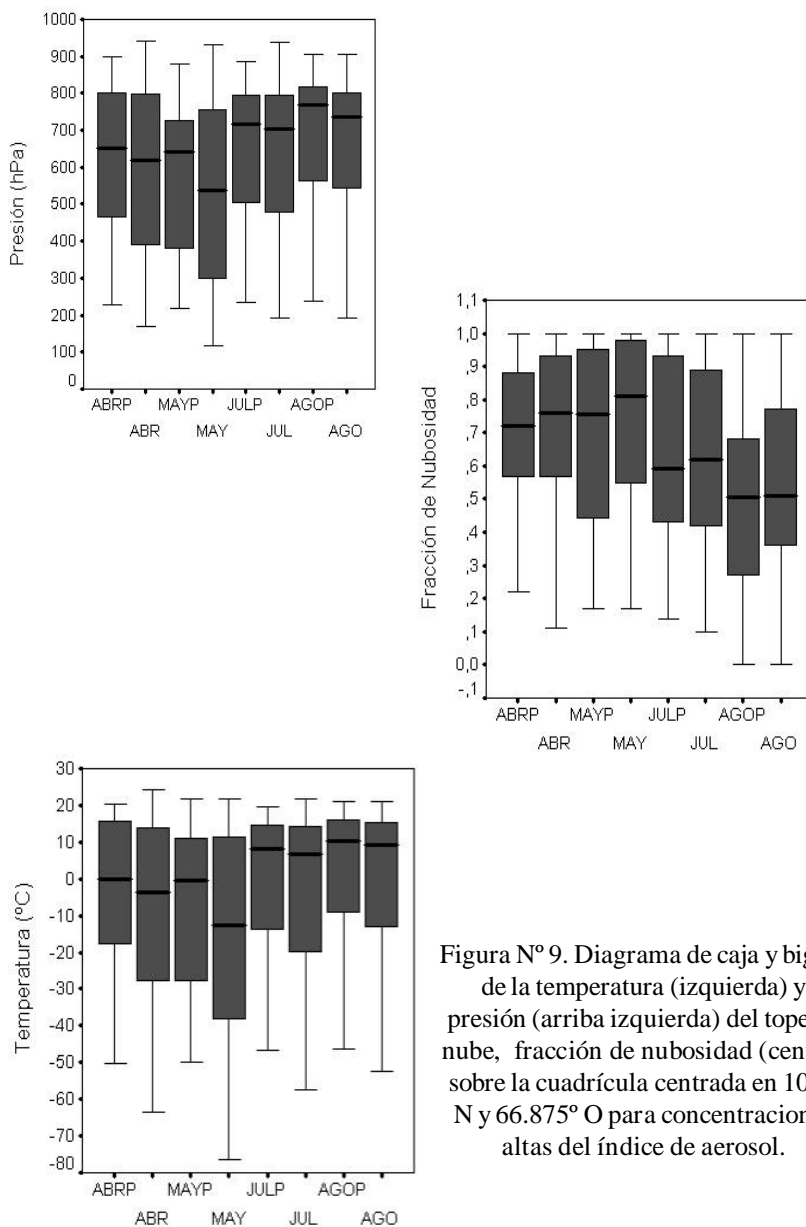


Figura N° 9. Diagrama de caja y bigote de la temperatura (izquierda) y presión (arriba izquierda) del tope de nube, fracción de nubosidad (centro) sobre la cuadrícula centrada en 10.5° N y 66.875° O para concentraciones altas del índice de aerosol.

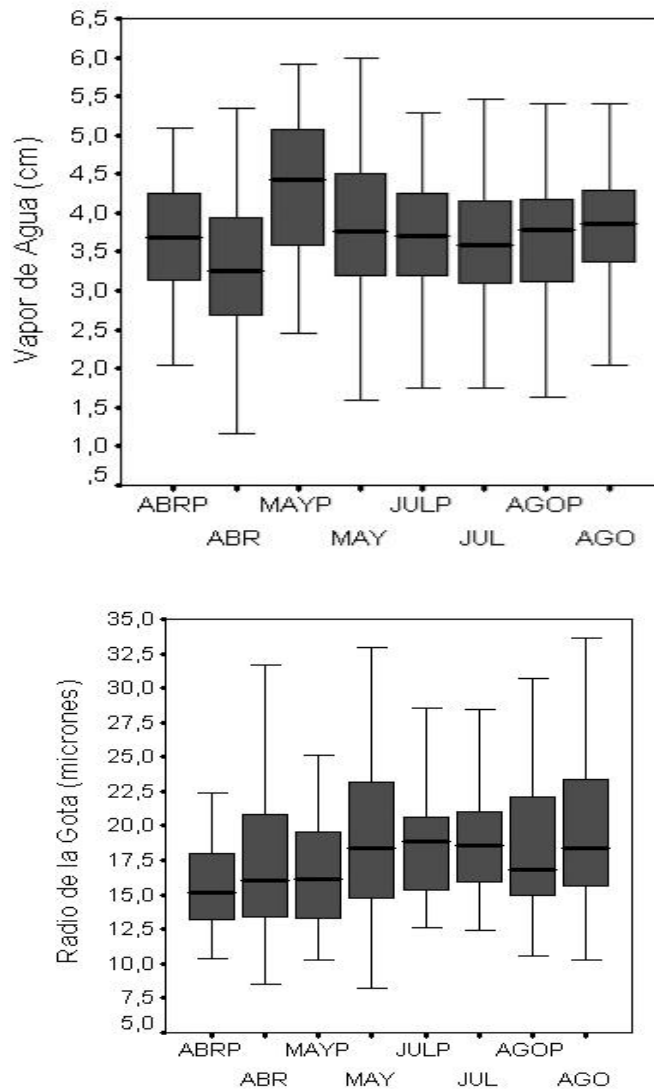


Figura N° 10. Diagrama de caja y bigote del vapor de agua (arriba) y radio de la gota (abajo) sobre la cuadrícula centrada en 10.5° N y 66.875° O para concentraciones altas del índice de aerosol.

