

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES
METEOROLÓGICAS PRESENTES EN FEBRERO 2005
SOBRE VENEZUELA EMPLEANDO LOS PRODUCTOS
ATMOSFÉRICOS DEL SENSOR MODIS**

**CHARACTERIZATION OF METEOROLOGICAL CONDITIONS
PRESENT IN VENEZUELA IN FEBRUARY 2005 EMPLOYING THE
ATMOSPHERIC PRODUCTS OF SENSOR MODIS**

Estatio J. Gutiérrez Q.

RESUMEN:

Empleando los productos atmosféricos relacionados con la temperatura y presión del tope de nube, índices de estabilidad y agua precipitable, con la asistencia de sistemas de información geográfica, se determina la distribución espacial de las variables, en el dominio comprendido entre los 0-50° N y 30-90° O, para los días previos, así como el período en donde transcurre el evento de lluvias extraordinarias ocurrido en febrero de 2005 sobre la costa central venezolana, destacando la presencia de sistemas nubosos con topes cuyos valores de temperatura alcanzaban los -50° C, posicionados a 200 hPa. El análisis

de anomalías refleja el distanciamiento que poseen los valores adquiridos por los parámetros en comparación con las condiciones promedio para el mes de febrero tomando una base de cinco años que constituye el registro disponible. El análisis del comportamiento de la velocidad y dirección del viento, en el entorno estudiado, fue llevado a cabo a través del empleo de las mediciones correspondientes a la componente zonal y meridional del parámetro por el sensor SeaWinds abordo del satélite de órbita polar QuikScat. Entre los resultados obtenidos destaca la débil intensidad presentada por los vientos Alisios en las cercanías de la costa central venezolana, factor que favoreció la penetración del sistema al territorio nacional. La resolución temporal de este tipo de herramienta representa la principal limitante para su utilización en el análisis de algunos eventos meteorológicos, aún así los resultados obtenidos describen en gran medida el comportamiento medio de los parámetros durante el transcurso del evento.

PALABRAS CLAVE: MODIS, QuikScat, vaguada, costa central venezolana.

ABSTRACT:

Employing atmospheric products related to temperature and pressure of cloud tops, stability indexes and precipitable water and with the aid of geographical information systems, the spatial distribution of variables is determined in the domain between 0-50°N and 30-90°W for the previous days. Also for the period where the extraordinary precipitation event occurs in february 2005 over the central venezuelan coast; pinpointing the presence of cloudy systems on tops whose values of temperature reached the -50°C, positioned at 200hPa. The analysis of abnormality reflects the distancing of the acquired values for each parameter in comparison to the mean conditions for the month of february taking a period of five years which is the existing registry. The analysis of the behavior of wind direction and velocity within the studied area was undertaken by means of the use of measurements corresponding to zonal and meridional components by means of the Sea Winds Sensor on polar orbit satellite Quikscat. Among the results obtained, the weak intensity of Alisian winds near the central venezuelan coast is specially observed. This factor favors the penetration of the system to the national territory. The temporary resolution of this type of tool represents the main limitation for its use in the analysis of some of the

meteorological events. Even so, the obtained results greatly describe the mean behavior of the parameter during the course of the events.

KEY WORDS: MODIS, QuiKScat, Thalweg, Central Venezuelan Coast.

INTRODUCCIÓN

Durante la segunda semana de febrero de 2005 sobre la costa norte venezolana se desarrolló un evento de lluvias extraordinarias producto de una situación sinóptica particular en su intensidad más no en su origen, ocasionando una cantidad considerable de pérdidas materiales y algunas pérdidas humanas en un período de tiempo relativamente corto. Altas cantidades de agua precipitada están relacionadas con sistemas nubosos y entornos atmosféricos con condiciones que generalmente se alejan del comportamiento medio, el conocimiento de la magnitud de dichas variaciones y la determinación objetiva y detallada de las fluctuaciones de los parámetros meteorológicos pueden ser utilizados como referencia en pronósticos posteriores a los eventos analizados.

Empleando los productos atmosféricos, provenientes del procesamiento de la información recogida por el sensor MODIS, fue realizado un análisis de ciertos aspectos de la estructura nubosa, específicamente la temperatura y presión del tope de nube, así como la distribución espacial de índices de estabilidad y agua precipitable con la finalidad de determinar el comportamiento de dichas variables tanto en el desarrollo de las precipitaciones como en días previos al evento para obtener posibles umbrales que adviertan con cierto tiempo de anticipación de la peligrosidad que representa para el país el acercamiento de situaciones sinópticas semejantes a la ocurrida en febrero de 2005.

Las imágenes de satélite son consideradas actualmente como una de las principales fuentes de información en el análisis del comportamiento de una serie de elementos tanto ambientales como antrópicos. A través del manejo físico-matemático de la información contenida en cada una de las bandas espectrales recogidas por el satélite es posible obtener mediciones indirectas de parámetros en toda la extensión de la troposfera, así como sobre la superficie terrestre y oceánica. La National Aeronautics and Space Administration (NASA) con el empleo de los satélites Terra y Aqua equipados con el sensor MODIS, son pioneros en la generación de este tipo de información, a través de las 36 bandas recogidas por el espectroradiómetro se genera una gran cantidad de productos atmosféricos, a distintas escalas temporales y con resoluciones espaciales de 1 Km. a 1°, según el nivel de procesamiento. En zonas donde no existen estaciones de medición en superficie, ni estaciones de altura (radiosondeos), la información proveniente del sensor MODIS es de vital importancia en el desarrollo de investigaciones en el área de la meteorología y climatología.

El alcance intrínseco de este trabajo radica en demostrar la posibilidad que existe de realizar análisis con un cierto grado de detalle utilizando herramientas disponibles de manera gratuita y de acceso libre a través de Internet, que permiten establecer una primera aproximación para la caracterización de los distintos eventos meteorológicos que se han producido en el país durante los últimos años y que han arrojado importantes cantidades de agua precipitada causante de inundaciones y pérdidas de distinta índole.

OBJETIVO

Caracterizar el comportamiento de parámetros meteorológicos y la distribución espacial del viento en la superficie oceánica relacionados con las precipitaciones extraordinarias de febrero 2005 empleando los

productos atmosféricos obtenidos de la información recogida por el sensor MODIS y SeaWinds.

INFORMACIÓN BÁSICA

Registro de Precipitación: El registro de la precipitación está constituido por 12 estaciones pertenecientes a la Universidad Central de Venezuela, Ministerio del Ambiente y Fuerza Aérea Venezolana, ubicadas sobre el Distrito Capital y el estado Vargas. La información fue proporcionada por el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica de la Universidad Central de Venezuela.

Información Satelital: Fueron utilizados los productos atmosféricos del sensor MODIS con tres niveles de procesamiento (nivel 3) a resoluciones temporales mensuales (febrero) y diarias, comprendidas del 4 al 10 de febrero de 2005; la resolución espacial de este tipo de producto es de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

Los valores del parámetro viento en la superficie oceánica fueron obtenidos de la información registrada por el sensor “SeaWinds” a bordo del satélite “QuikScat” con una resolución espacial de 0.25° , para el período comprendido entre el 4 y 10 de febrero de 2005.

METODOLOGÍA

Los productos atmosféricos nivel 3 del sensor MODIS poseen un dominio que abarca a todo el globo terrestre. El área de interés está constituida por la totalidad del mar Caribe y parte del océano Atlántico, específicamente la zona comprendida entre $30-90^{\circ}$ oeste y $0-50^{\circ}$ norte.

Empleado la información mensual disponible para el período 2001-2005 con una resolución espacial de 1° x 1° fue posible determinar las condiciones promedio para el mes de febrero en cada una de las variables analizadas constituidas por la temperatura del tope de nube, índice de estabilidad Lifted Index (LI), vapor de agua (agua precipitable) y presión en el tope de la nube.

La información espectral recogida por el sensor del satélite es transformada en distintas magnitudes denominadas números digitales que permiten el despliegue de la información en forma de imagen. Para la obtención de la magnitud física contenida en los productos atmosféricos del sensor MODIS se hizo necesaria la aplicación de una relación matemática a cada uno de los píxeles de la imagen que permitió establecer el valor físico del parámetro medido, como por ejemplo la magnitud de la temperatura o presión que representa cada número digital. La expresión utilizada es presentada a continuación:

Magnitud física = (número digital – offset) x factor de escala.

En cualquier tipo de análisis donde sean empleadas imágenes de satélite, la nubosidad adquiere un carácter protagónico. La presencia de sistemas nubosos, dado su efecto de máscara, impide el registro de una serie de parámetros tanto en la atmósfera como en la superficie, en este caso los productos diarios de las variables vapor de agua e índices de estabilidad se caracterizan por la ausencia de una serie de datos en las zonas en donde existía la presencia de nubes. La resolución de la información así como el tipo de análisis realizado creó la necesidad del empleo de la técnica de interpolación denominada Kriging para determinar valores aproximados de los parámetros, con cierto grado de error, en las zonas con deficiencia de información espectral.

La resolución de 1° x 1° que poseen los productos utilizados en relación con las dimensiones del área de estudio seleccionada no permiten una visualización apropiada de la distribución espacial de cada uno de

los parámetros; para lograr un grado de detalle mayor, que permitiese definir los límites de los sistemas nubosos analizados, ha sido extraída la información de cada una de las imágenes en formato ASCII, con la finalidad de importar los registros en el software Sufer 8 que permitió realizar un segundo proceso de interpolación a una resolución de 0.5°.

Los mapas que reflejan la distribución espacial del viento sobre la superficie oceánica tanto en magnitud como en dirección fueron realizados a partir de la información diaria recogida por el satélite QuikScat a través del sensor SeaWinds. El par de registros diarios que recoge el sensor fueron promediados para obtener una imagen que reflejara las condiciones medias del parámetro para el período de análisis seleccionado.

Debido a la cantidad de parámetros y niveles seleccionados, el número de mapas a presentar adquiriría una magnitud considerablemente alta de información a publicar, por consiguiente se determinó presentar los promedios de las variables distribuidos en dos períodos; el primero estaba constituido por el promedio del 4, 5 y 6 de febrero estableciendo el comportamiento en los días previos al evento; el segundo período enmarcado por el 7 y 8 de febrero en donde se registran importantes acumulados de precipitación en la mayoría de las estaciones seleccionadas. Finalmente el tercer período estuvo conformado por los días 9 y 10 de febrero.

DESARROLLO DE LAS PRECIPITACIONES

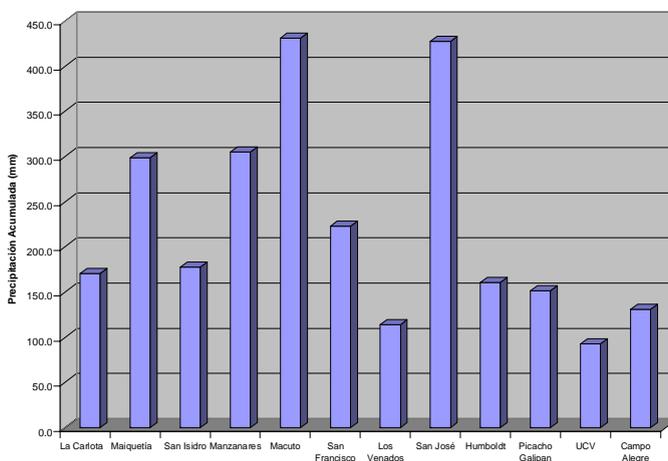
Los registros de precipitación durante la segunda semana de febrero del año 2005 alcanzaron valores considerablemente elevados de agua precipitada sobre la costa central venezolana (figura 1). Las precipitaciones acumuladas el día 7 de febrero, en varias zonas de la

capital del país así como en el estado Vargas, registraron magnitudes por encima de los 40 mm, con un máximo de 94 mm, en la estación Manzanares ubicada en la vertiente norte del parque nacional El Ávila. El día siguiente se caracterizó por la presencia de constantes precipitaciones con intensidades entre moderadas y fuertes, las estaciones ubicadas en Macuto y Maiquetía registraron acumulados que superan a los valores alcanzados en un mes típico de la temporada lluviosa, especialmente la segunda estación mencionada reportó un acumulado de 123,4 mm en 24 horas. Después de dos días de intensas precipitaciones, según los registros de este parámetro, el sistema entró en una fase de debilitamiento, que se tradujo en una reducción de los acumulados sobre la mayoría de las estaciones. Sin embargo, Macuto y San José presentan un comportamiento diferente alcanzando para el día 9 los valores máximos para el evento, poniendo en evidencia la pronunciada variabilidad espacial y temporal del parámetro especialmente sobre el estado Vargas. Finalmente, el 10 de febrero las precipitaciones se incrementaron. En las estaciones ubicadas en la vertiente sur los acumulados doblaron las cantidades registradas el día anterior. Los registros en Macuto y San José presentan el punto disonante con una disminución en la intensidad del parámetro para el último día analizado. Los registros alcanzados en este evento distan en gran medida a los obtenidos en diciembre de 1999 donde la cantidad de lluvia registrada en el pluviógrafo del aeropuerto de Maiquetía alcanzó la cantidad de 1207 mm. (Andressen y Pulwarty, 2003)

Figura 1

**Precipitación diaria (arriba) y precipitación acumulada (abajo)
6-10 de febrero 2005**

Estaciones	06/02/05	07/02/05	08/02/05	09/02/05	10/02/05
La Carlota	0,0	88,7	49,4	10,2	22,2
Maiquetía	0,4	33,6	123,4	75,9	65,5
San Isidro	0,0	48,3	44,3	23,8	61,2
Manzanares	0,0	94,0	67,0	63,9	80,0
Macuto	0,0	44,0	102,0	175,0	110,0
San Francisco	0,0	56,0	51,5	52,2	62,9
Los Venados	0,0	37,6	45,0	6,9	24,2
San José	0,5	77,2	85,3	156,2	108,2
Humboldt	0,1	39,0	51,5	26,2	44,1
Picacho Galipan	0,0	60,0	38,4	15,7	37,5
UCV	0,0	25,3	53,3	2,0	12,2
Campo Alegre	1,0	41,0	54,0	13,0	22,0



DÍAS PREVIOS AL EVENTO

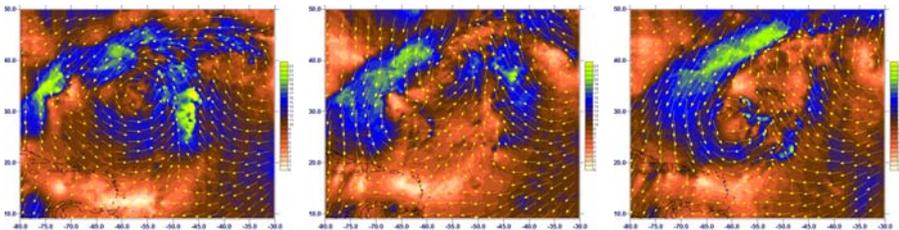
El satélite QuikScat a través del sensor SeaWinds es capaz de registrar los valores de la componente zonal y meridional del viento sobre la superficie del océano a una resolución de 0.25° (Parkinson, 2000). Las situaciones sinópticas que producen precipitaciones extraordinarias en las cercanías de las costas venezolanas están asociadas generalmente a sistemas frontales que se desplazan sobre el Atlántico norte y eventualmente penetran al mar Caribe hasta el territorio nacional, por tal razón es importante determinar el comportamiento de las distintas variables asociadas a las configuraciones sinópticas, entre ellas el viento, que sólo puede ser llevado a cabo con el empleo de productos derivados de la información recogida por diversos satélites y modelaje numérico. La mayoría del trabajo realizado en la detección y pronóstico de tormentas severas ha descansado en la interpretación de imágenes satelitales donde éstas son examinadas cualitativamente (Kidder y Vonder, 1995), contrario a esto en este trabajo se hace hincapié en el análisis cuantitativo del comportamiento de algunas variables presentes tanto en los días previos como en el transcurso del evento.

El día 4 de febrero de 2005 (fig.2) se destacó la presencia de una baja presión asociada a un frente frío cuyo extremo septentrional estaba en proceso de oclusión, representando la situación sinóptica reinante sobre la atmósfera del Atlántico norte. La borrasca ubicada aproximadamente a los 33° N y 58° O presentaba una clara circulación ciclónica que alcanzó su máxima intensidad en superficie hacia el sector sureste con magnitudes que se acercaron a los 50 nudos. Por su parte, los vientos Alisios sobre el mar Caribe en las cercanías de las costas venezolanas se caracterizaron por su débil intensidad con magnitudes que no superaban los 5 nudos y una orientación en sentido noreste.

En los dos días subsiguientes (figura 2) se presentó un comportamiento desordenado del flujo, principalmente el 5, con una disminución de la velocidad del viento en la zona este del sistema en contraposición con un aumento en la intensidad del parámetro en el sector occidental con velocidades que oscilaban entre los 15 y 20 m/s. Continuaba una aparente debilidad en la intensidad de los vientos Alisios entre los 55 y 65 grados oeste, predominando la componente este en el desplazamiento del flujo. Particularmente en el día 5 de febrero se produjo un ligero incremento en la velocidad, con valores hasta de 14 m/s, sobre las aguas del mar Caribe próximas a la costa central venezolana.

Figura 2

Distribución espacial de la velocidad y dirección del viento 4 (Izq.), 5 (Med.) y 6 (Der.) de febrero de 2005



La estructura de los sistemas nubosos asociados a la situación sinóptica fue analizada a través del empleo de la información referente a la temperatura y presión en el tope de nube, seguidamente, el agua precipitable dará una idea de la disponibilidad de humedad presente en toda la troposfera sobre el Caribe y Atlántico norte según las mediciones

satelitales. Finalmente a través del índice LI se proporciona una perspectiva de las condiciones de estabilidad atmosférica reinante en el período establecido sobre el área de estudio.

La nubosidad asociada a la borrasca, para el día viernes 4 de febrero, se ubicaba en los sectores noreste y sureste del sistema, en concordancia con las zonas en donde se alcanzaban los vientos máximos en superficie (figura 2). Sobre Venezuela predominó la ausencia de nubosidad excepto en el extremo austral del territorio donde existían nubes con topes que poseen temperaturas de -10°C , ubicadas a 400 hPa; en las cercanías de la costa central se encontraba un pequeño núcleo, de importante desarrollo vertical, que no representó peligrosidad para la zona ya que no fueron registrados acumulados importantes de agua precipitada en ese día. Otro sistema nuboso de gran magnitud se desplegó desde 35°O hasta 55°O con topes que alcanzaban valores de -50°C , ubicados entre los 300 y 250 hPa, producto de una baja presión presente en la zona que introduce inestabilidad atmosférica.

Para la fecha siguiente se produjo un aumento de la cobertura nubosa sobre el este del sistema de baja presión sin presentar un desarrollo vertical pronunciado. Sobre Venezuela y el Caribe no se produjo, hasta el momento, una influencia directa del sistema en las condiciones meteorológicas, de hecho se observó un aumento en la estabilidad atmosférica evidenciado por la desaparición de la nubosidad posicionado en las cercanías de la costa central así como el debilitamiento del sistema nuboso ubicado entre 35°O y 55°O cuyos topes alcanzaban temperaturas de -30°C .

En el día previo al comienzo de las precipitaciones sobre la costa central venezolana se apreciaba una influencia directa de la situación sinóptica sobre la zona con un desarrollo de la nubosidad por encima del promedio con topes posicionados 250 hPa por encima de las condiciones medias aproximadamente entre 650 y 550 hPa.

Comportamiento reflejado por los registros de temperatura en donde se denotaba un descenso, principalmente sobre la costa central, de -10° C para constituir nubes cuyos toques poseían magnitudes del parámetro entre los 0 y 5° C. La nubosidad asociada a la baja presión presentaba una especie de agrupación en subsistemas de menor extensión espacial pero con zonas de mayor desarrollo vertical que en días pasados. En la figura 3 es posible apreciar un promedio de las condiciones para este primer período de análisis.

El contenido de humedad en los días previos al evento se caracterizó por concentraciones mayores a los niveles medios principalmente sobre el Mar Caribe, en las cercanías del extremo septentrional del país y al oeste del meridiano 66. Los altos contenidos de humedad sobre el país y en sus adyacencias en las fechas previas al evento (figura 4) constituyen un factor determinante en el desarrollo de la precipitación sobre la zona afectada por el sistema sinóptico.

El índice LI mostraba una atmósfera estable, en las postrimerías del evento, sobre el extremo norte del país a diferencia de los estados Amazonas y Bolívar que presentaban condiciones de cierta inestabilidad los días 05 y 06, respectivamente, en donde no se desarrollaron sistemas nubosos importantes. Las zonas con mayor inestabilidad atmosférica estaban asociadas en un principio con la baja presión ubicada a los 10° N y 40° O, posteriormente el sistema frontal adquirió un carácter protagónico influenciando las condiciones meteorológicas sobre casi la totalidad del área de estudio. Es importante tener en cuenta en los análisis del agua precipitable y el índice de estabilidad que existe la posibilidad de que el comportamiento de las variables asociadas a los sistemas nubosos no aparezca reflejado en la distribución espacial de los parámetros antes mencionados, ésta situación se produce cuando se analizan sistemas extensos y/o compactos, en estos casos el proceso de interpolación no toma en cuenta la existencia de la nube, por lo tanto, no estaría contenida en el resultado final; un ejemplo de ello lo

constituye el núcleo de nubes detectado a través de la temperatura y presión del tope de nube a los 12° N y 65° O para el día 4 de febrero, el cual no tenía una representación aparente en los mapas de Agua Precipitable y LI.

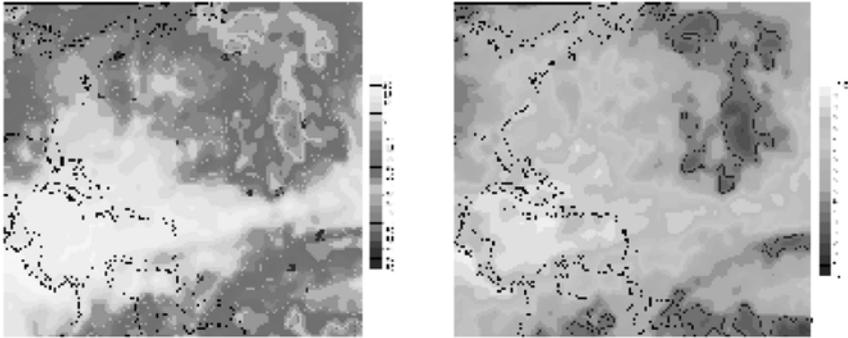


Figura 3

Temperatura (Izq.) y presión (Der.) del tope de nube promedio en los días previos al evento

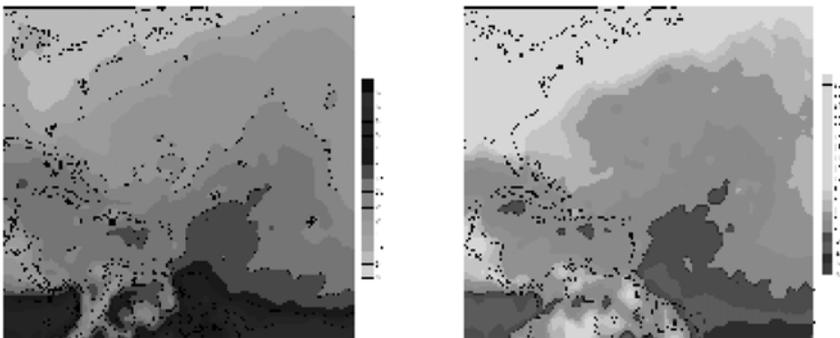


Figura 4

Agua precipitable (Izq.) e índice LI (Der.) promedio en los días previos al evento

TRANSCURSO DEL EVENTO

El día 7 (figura 5) marcó el inicio de las precipitaciones sobre la costa central, en ese momento la baja presión en superficie había descendido ligeramente en latitud posicionándose cerca de los 30° N con un flujo de carácter ciclónico mucho más organizado que en días previos, produciéndose a su vez una disminución en la intensidad del viento que alcanzaba los valores máximos en los sectores sudeste y noroeste sin superar los 18 m/s. La línea frontal, en donde existía un cambio notable en la dirección del viento, era apreciable y penetró hasta territorio venezolano donde los Alisios mantenían velocidades relativamente bajas principalmente sobre los 15° N y 60° O.

Una posterior intensificación del sistema quedó reflejada en la distribución espacial de la velocidad del viento para el día 8 de febrero (figura 5). En el sector sureste se produjo un aumento notable del parámetro con un desplazamiento del flujo a velocidades que superaban los 20 m/s, la línea frontal continuaba en las cercanías de las costas venezolanas en donde se observaba un incremento notable de la velocidad del viento en superficie relacionado con un aumento de la divergencia en niveles altos, siendo éste un factor determinante en el desarrollo de los sistemas nubosos que arrojaron cantidades importantes de agua precipitada en el transcurso de ese día.

Finalmente para las dos últimas fechas del período analizado (figura 6), la línea frontal se alejaba del mar Caribe así como el centro de baja presión extratropical, el cual se desplazaba en sentido noreste enmarcado en un proceso de debilitamiento que se acentuaba el día 10 de febrero donde no es fácil de apreciar ninguna de las dos singularidades mencionadas. Los vientos Alisios próximos a las costas venezolanas se intensificaban hasta alcanzar magnitudes cercanas a los 10 m/s con una dirección predominante del noreste, este resultado contradice en cierta

manera lo simulado en el modelo de reanálisis que para esta fecha reflejaba un carácter débil de los vientos Alisios en 850 hPa. A nivel de viento en superficie no existía ningún indicio que pudiese explicar el incremento de la precipitación para el día 10 de febrero.

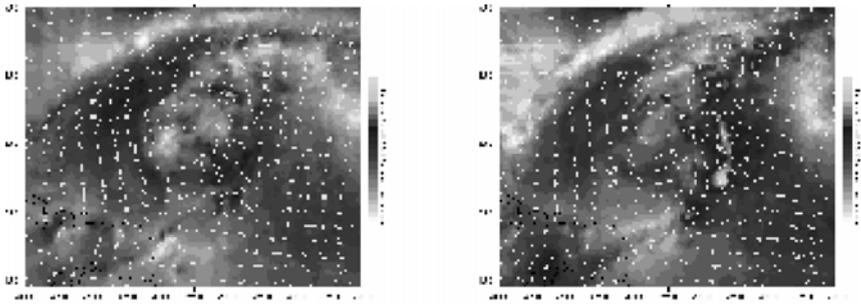


Figura 5

Distribución espacial de la velocidad y dirección del viento 7 (izq.) y 8 (der.) de febrero de 2005

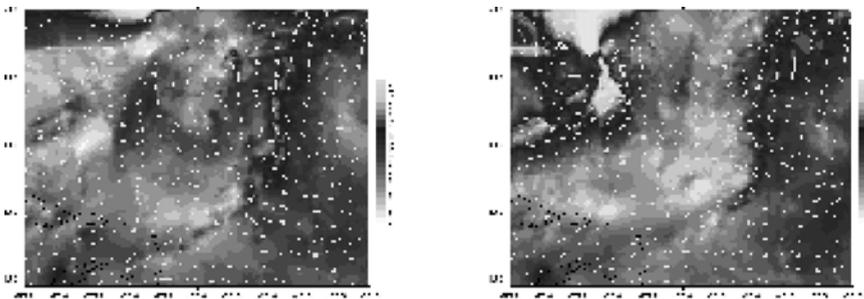


Figura 6

Distribución espacial de la velocidad y dirección del viento 9 (izq.) y 10 (der.) de febrero de 2005

Las precipitaciones sobre las costas venezolanas dieron inicio el 7 de febrero, para este momento un extenso sistema nuboso con marcado desarrollo se encontraba al este de la baja presión con temperaturas de tope de nube por debajo de los -60°C y posicionados en ciertos sectores a 150 hPa. Según los resultados obtenidos por el análisis de la temperatura y presión del tope de nube no era posible apreciar la existencia de nubes con una notable extensión vertical sobre el norte del país, de hecho la característica más resaltante era la presencia de nubes medias con topes que alcanzan los 700 hPa y temperaturas cercanas a los 5°C sobre la costa occidental, así como sobre el Distrito Capital y estado Vargas, donde las temperaturas superan los 10°C y una altura de 800 hPa. Estas inconsistencias entre la lluvia registrada y las características de la nube captadas por el satélite se deben principalmente a la hora en que se desarrollaron las precipitaciones, según los registros de diversas estaciones distribuidas en la costa central, los primeros acumulados de lluvia se obtienen en horas de la tarde produciéndose una intensificación después de la media noche y la madrugada; según la órbita del satélite, éste tiene la capacidad de captar dos imágenes diariamente de una determinada zona, la primera se produce en horas de la mañana y la segunda en la noche, al determinar el promedio de ambas mediciones en el resultado la nubosidad presenta un desarrollo menor al que realmente poseía. Sin embargo, analizando las imágenes provenientes del satélite GOES, la nubosidad durante este día careció de un desarrollo pronunciado, por lo tanto las mediciones presentadas por el sensor MODIS distan ligeramente de las condiciones presentes en el transcurso del día 07.

El máximo de precipitación acumulada en 24 horas en la mayoría de las estaciones se produce el día 8 de febrero, donde la nubosidad en las cercanías de la oclusión ocupaba un área mayor perdiendo cierta altura, las zonas con -60°C se ven reducidas y predominan las temperaturas entre -40 y -50°C en niveles entre 350 y 300 hPa. Sin

embargo, sobre la costa central venezolana se produjo un incremento notable en la altura de la nubosidad presente, con valores inferiores a -50°C en un nivel de 200 hPa. La nubosidad sobre la costa central estaba asociada con el extremo austral del sistema frontal cuya interacción con la cordillera de la Costa ocasionando la proliferación de nubes con un acentuado desarrollo vertical causantes de las intensas precipitaciones. La ausencia de actividad nubosa sobre las aguas del mar Caribe resalta la importancia que posee la presencia de la cordillera montañosa en el proceso de generación de la nubosidad. El promedio de ambas variables para el segundo y tercer período es presentado en las figuras 7 y 8.

Durante los días subsiguientes, que conforman el tercer período, continuaba la influencia directa del sistema sinóptico sobre las condiciones atmosféricas del norte del país, pero en menor medida que para el día 8 de febrero. La nubosidad tendía a disminuir en altura posicionada a 400 hPa y alcanzando en promedio una temperatura en el tope entre -25 y -30°C , particularmente en el día 10 se observó un incremento notable de la nubosidad en la región central y sur del país afectando a su vez parte de la costa central producto de las altas cantidades de vapor de agua disponibles en toda la extensión de la troposfera principalmente en niveles medios y altos. La cobertura nubosa en latitudes medias tiende nuevamente a disminuir pero acrecentando su desarrollo vertical principalmente a los 30°N y 45°O para el 9 de febrero; el día siguiente la nubosidad asociada al sistema se debilitaba considerablemente en concordancia con las condiciones sinópticas descritas por las salidas del modelo de reanálisis y los resultados obtenidos empleando el viento en superficie.

La cantidad de agua precipitable (figura 8) sufrió un incremento notable a partir del día 7 de febrero, magnitudes del parámetro totalmente anómalas se hicieron presentes de manera persistente al este del Caribe y Atlántico norte, alcanzando niveles máximos los días 8 y 10 de febrero

sobre la costa central venezolana. Debido a la extensión de la nubosidad asociada al sistema sinóptico, el proceso de interpolación no fue capaz de determinar los valores adecuados del parámetro por encima de los 25° N.

El segundo período se caracterizó por inestabilidad atmosférica (figura 9) concentrada en la zona marítima próxima al norte del territorio nacional. En el día 08 la costa central es propensa a la formación de tormentas registrando valores del índice LI de -2° K. Para el tercer período analizado la inestabilidad atmosférica se mantuvo sobre casi la totalidad del país con la excepción del extremo occidental en donde no existía la posibilidad de formación de tormentas. Es importante destacar que a pesar de la presencia de condiciones de alta inestabilidad sobre la costa oriental, principalmente para el día nueve, no se produjo la formación de sistemas nubosos de gran desarrollo vertical donde los índices adquirieron valores relativamente altos pero, como lo muestran los resultados obtenidos de la temperatura y presión del tope de nube, predominó la nubosidad baja y media, comportamiento distinto al registrado sobre el centro y sur del país con la presencia de sistemas nubosos notables que penetraron hasta la costa central introduciendo altas magnitudes de agua precipitada en la zona

CONCLUSIONES

Los productos atmosféricos obtenidos a través de las mediciones realizadas por el sensor MODIS son capaces de representar con un alto grado de acierto el comportamiento de las variables meteorológicas presentes en el transcurso del evento de precipitaciones extraordinarias de febrero de 2005, destacándose parámetros como la temperatura y presión del tope de nube que permitieron determinar indirectamente las características y nivel de desarrollo del sistema productor de las

precipitaciones. El agua precipitable y los índices de estabilidad presentaron ciertas limitaciones en la descripción del fenómeno debido a las zonas con información faltante producto de la cobertura nubosa, en donde el proceso de interpolación por Kriging no arrojó buenos resultados sobre sistemas nubosos compactos de gran extensión.

El sistema sinóptico, según los resultados obtenidos por el sensor MODIS, comenzó a influir directamente sobre las condiciones atmosféricas en el extremo norte del territorio nacional a partir del día 6 de febrero, comportamiento reflejado por el análisis de la temperatura y presión en el tope de nube. Sin embargo, en este día sólo se produjeron nubes bajas y medias en ausencia de precipitaciones. Un aspecto importante en el transcurso de los días previos al evento, lo constituye la cantidad de agua precipitable disponible sobre las adyacencias de las costas venezolanas que superaron en gran medida los promedios mensuales del parámetro según las mediciones satelitales.

La estructura nubosa adquirió características totalmente anómalas, a partir del día 08 de febrero, en comparación con las condiciones medias para el mes. Particularmente el día en donde se produjeron las precipitaciones más intensas el tope de nube alcanzó valores de temperatura y presión de -50°C y 200 hPa respectivamente, sobre el Distrito Capital y Edo. Vargas, lo que representó sistemas nubosos con alturas entre 12 y 14 Km., caracterizándose el evento no sólo por los valores de precipitación registrados sino también por las dimensiones alcanzadas por las nubes y representó una situación totalmente extrema para la época del año en la cual se produjo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRESSEN, R. y PULWARTY, R., (2003). Análisis de las Lluvias Excepcionales Causantes de la Tragedia del Estado Vargas. IV Simposio Internacional de Desarrollo Sustentable. 3:148-167

PARKINSON, C. y GREENSTONE, R. (2000). EOS Data Products Handbook, Volume 2, Primera Edición. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 252 pp.

KIDDER, S. y VONDER, T. (1995), Satellite Meteorology An Introduction, Primera Edición. Academic Press, San Diego, California, 466 pp.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (2005). Modis Sensor. Disponible en <http://modis.gsfc.nasa.gov/> [Consultado: 24 de mayo de 2005].

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (2005). The PO. DAAC ESIP Tool. Disponible: <http://poet.01.nasa.gov/>.

Estacio José Gutiérrez Quevedo, Ing. 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.

