

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
ESCUELA DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA ATMOSFÉRICA, OCEÁNICA Y PLANETARIA



**LOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EN LA REGION
DE LOS ANDES Y REGION NOROCCIDENTAL DE VENEZUELA**

TESIS DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN METEOROLOGÍA

ALEXANDER G. QUINTERO MERCADO
San José de Costa Rica, 24 de Enero de 2006

LOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EN LA REGION DE LOS ANDES Y REGION NOROCCIDENTAL DE VENEZUELA

Tesis de grado que presenta en enero del año 2006 a la Facultad de Ciencias,
Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar al grado de
Licenciado en Meteorología.

Director de Tesis: **Dr. Jorge A. Gutiérrez Camacho**

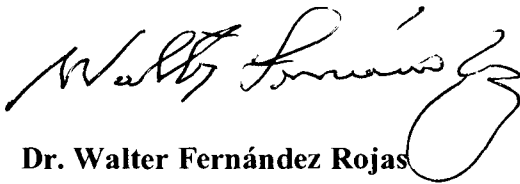
Tribunal Examinador



Dr. Javier Bonatti González
Presidente del Tribunal



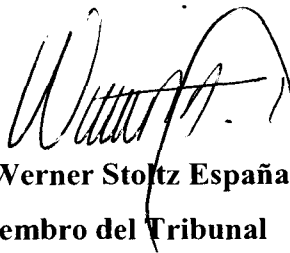
Dr. Jorge A. Gutiérrez Camacho
Director de Tesis



Dr. Walter Fernández Rojas
Miembro, Comité de Tesis



Dr. Eric José Alfaro Martínez
Miembro, Comité de Tesis



Lic. Werner Stoltz España
Miembro del Tribunal

San José de Costa Rica, 12 de enero de 2006

Dedicatoria

Dedico este trabajo y esta carrera al Dios Padre Todopoderoso, por iluminarme cada día y ayudarme a vencer todos los obstáculos presentados durante estos años de estudio. A él le debo mi salud, mi alimento, mi educación, que hacen posible el logro de mis objetivos, y a superar momentos tan difíciles que pasé a lo largo de la carrera de Meteorología.

A mi amada esposa *Ananeglys* y mi amado hijo *Gabriel Alejandro* que representaron mi inspiración para lograr la meta trazada.

A mis queridos padres *Carmen* y *Alejos* por ser tan especiales y por apoyarme siempre en todas mis decisiones.

Agradecimientos

A toda mi familia especialmente a mis tíos maternos, quienes con su apoyo incondicional y buenos consejos fortalecieron mis deseos de llegar al final de la meta, me siento honrado y agradecido de poder contar con ustedes.

A la Aviación venezolana que me dio permitió la oportunidad de realizar los estudios en el área de la meteorología ayudándome en mi enriquecimiento personal, muy especialmente al Gral. Div. (Av) Francisco Camargo Duque, Cnel. (Av) José Orozco Terán y Cnel. (Av) Ramón Viñas García quienes además de depositar toda su confianza en mi persona y proponerme para estos estudios, han sabido guiarme con sus consejos para que cristalizara la meta propuesta.

Al personal del Departamento de Climatología del Servicio de Meteorología les doy las gracias por facilitarme información meteorológica cada vez que lo requería.

Dr. Jorge Gutiérrez, parte de este logro se lo debo a Ud., gracias por darme la oportunidad de ser mi Director de Tesis, por sus grandes consejos y especialmente por tener la paciencia en la lectura y recomendaciones de esta tesis de grado. Sus palabras de aliento y orientación profesional permitieron culminar exitosamente el trabajo.

Al Dr. Walter Fernández no sólo siendo lector en mí trabajo de tesis, sino también un gran consejero que me permitió resolver algunos problemas a través de sus recomendaciones.

Al Lic. Werner Stolz por su amabilidad y disposición en la lectura de este trabajo, además de aportarme ideas en el mejoramiento de su contenido especialmente en la parte sinóptica.

Al Dr. Eric Alfaro por su gran amabilidad y valiosas sugerencias en la parte estadística.

A todo el plantel de profesores de la carrera de bachillerato y licenciatura en meteorología, que por medio de sus enseñanzas contribuyeron a capacitarme en el estudio del estado del tiempo.

A la embajadora de la República Bolivariana de Venezuela en Costa Rica, la Sra. Nora Uribe Trujillo, quien me aconsejó y me alentó en todo momento representando una madre para mí en estos últimos dos años.

Al Cap. (Av) José Claudio Lovera por su incondicional ayuda y amistad ofrecida durante su permanencia en Costa Rica.

Al Cap. (Av) Miguel Parra Arocha con quien compartí grandes momentos de dificultad logrando salir adelante

A mi gran amigo Bernie por su desinteresada amistad y especial apoyo en mis últimos años de la carrera.

A mis amigos Diego Castro, Giovanni Sáenz y José Cartín quienes siempre me brindaron su apoyo y sus conocimientos en cada uno de los cursos estudiados.

A los asistentes del Laboratorio de Ciencias Atmosféricas Oceánicas y Planetarias Marcial Garbanzo y Gustavo Garbanzo por la colaboración prestada cada momento que lo requería.

Al Personal que labora en la Embajada de la República Bolivariana de Venezuela en Costa Rica por darme fuerzas a cumplir con el objetivo establecido.

INDICE GENERAL:

	PP.
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas.....	xix
Resumen.....	xxiv
Introducción.....	xxvii
Capítulos	
I El Problema	
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Justificación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación	
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
II Marco Teórico	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Sistemas de Gran Escala.....	10
2.2.2 Flujo Sinóptico.....	12
2.2.3 Flujo de Mesoescala.....	16
III Marco metodológico	
3.1 Recolección y análisis de la información.....	26
3.1.1 Fuentes Primarias.....	26

3.1.2 Fuentes Secundarias.....	28
3.2 Procedimiento.....	29
3.3 Descripción del método de Mann-Kendall.....	29
3.3.1 Aplicación del método de Mann-Kendall.....	30
3.4 Diagrama de la Caja.....	33
3.5 Diagrama de puntos atípicos.....	35

IV

Análisis e interpretación de los datos

4.1: Investigar los patrones de precipitación, temperatura y viento.....	37
4.2: Identificar los eventos de precipitación extrema durante el periodo (1993-2003).....	71
4.3. Analizar las condiciones sinópticas asociadas a eventos extremos.....	92
4.3.1 Definiciones de los campos de interés.....	92
4.3.2 Evento del mes de abril de 1999.....	95
4.3.3 Evento del 08 de mayo del 2001.....	134
4.3.4 Evento del 22 de junio del 2003.....	161

V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones.....	185
Recomendaciones.....	190
Bibliografía consultada	192
Páginas de Internet utilizadas en la investigación	196
Anexos.....	197

INDICE DE FIGURAS

	PP.
Capítulo	
II Marco Teórico	
Figura 01.	
Las tres etapas de desarrollo de un cumulonimbus	08
Figura 02. (a)	
Ciclón	11
Figura 02. (b)	
Anticiclón.....	11
Figura 03.	
Esquema idealizado de cinturones globales de presión y de sistemas de vientos asociados.....	13
Figura 04.	
Influencia de vientos Alisios del norte y del sur en el territorio venezolano para invierno y verano	14
Figura 05.	
Sección meridional que ilustra dos celdas ecuatoriales separando dos celdas de Hadley,	15
Figura 06. (a)	
Modelo representativo de las brisas de mar.	17
Figura 06. (b)	
Modelo representativo de las brisas de tierra.....	17
Figura 07. (a)	
Brisas de montaña	18
Figura 07. (b)	
Brisas de valle.....	18

Figura 08.
 Viento catabático.....19

Figura 09.
 Efecto Foehn, influencia de la orografía.....21

Figura 10.
 Gráfica que muestra el área de extensión de los sistemas convectivos.....23

Figura 11.
 Movimiento de un sistema convectivo.....24

III Marco Metodológico

Figura 12.
 Mapa de Venezuela con toda la red de estaciones pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación, incluyendo las utilizadas en la investigación.....28

Figura 13
 Parámetros U y U' de la prueba Mann Kendall secuencial, calculados para la estación de Mérida.....32

Figura 14.
 Serie de precipitación diaria puesta en orden ascendente.....32

Figura 15
 Serie de precipitación diaria para la estación de Mérida con el umbral de valores extremos obtenida mediante la prueba estadística de Mann-Kendall secuencial.....33

Figura 16
 Representación del diagrama de caja para la estación de Maracaibo durante el mes de mayo.....34

Figura 17
 Representación del diagrama de puntos atípicos, producto de la influencia de eventos extremos36

Figura 18.

Distribución promedio mensual de precipitación para la región de los Andes venezolanos en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....37

Figura 19.

Distribución promedio mensual de precipitación para la región Noroccidental de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....38

Figura 20.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Santo Domingo (1993-2003).....46

Figura 21.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de San Antonio del Táchira (1993-2003).....47

Figura 22.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de El Vigía (1993-2003).....48

Figura 23.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de estación de Mérida (1993-2003).....49

Figura 24.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de Valera (1993-2003).....50

Figura 25.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de Coro (1993-2003).....51

Figura 26.

Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de estación de Barquisimeto (1993-2003).....52

Figura 27.
Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de
estación de Maracaibo (1993-2003).....53

Figura 28.
Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de e
La Cañada (1993-2003).....54

Figura 29.
Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de
estación de estación de Mene Grande (1993-2003).....55

Figura 30.
Distribución promedio mensual de temperatura para la región de los Andes de Venezuela
en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....56

Figura 31.
Distribución promedio mensual de temperatura para la región de Noroccidental de
Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....57

Figura 32.
Distribución promedio mensual de la velocidad del viento para la región de Los Andes de
Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....59

Figura 33.
Distribución promedio mensual de la velocidad del viento para la región de Noroccidental
de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.....61

Figura 34.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, enero (1993-2003).....63

Figura 35.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, abril (1993-2003).....64

Figura 36.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, mayo (1993-2003).....65

Figura 37.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, junio (1993-2003).....66

Figura 38.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, agosto (1993-2003).....67

Figura 39.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, octubre (1993-2003).....68

Figura 40.
Representación de líneas de corriente a diferentes niveles, diciembre (1993-2003).....69

Figura 41.
Histogramas de series de precipitación diaria para la región de Los Andes (1993-2003).....72

Figura. 42.
Serie de precipitación diaria para las estaciones pertenecientes a la región de Los Andes, con el umbral de valores extremos mediante la prueba de Mann Kendall secuencial.....73

Figura 43.
Serie de precipitación diaria para las estaciones pertenecientes a la región Noroccidental, con el umbral de valores extremos mediante la prueba de Mann Kendall secuencial.....75

Figura. 44.
Representación de puntos atípicos para la estación de Mérida (1993-2003).....87

Figura. 45.
Representación de puntos atípicos para la estación de El Vigía (1993-2003).....88

Figura. 46.
Representación de puntos atípicos para la estación de San Antonio (1993-2003).....88

Figura. 47.
Representación de puntos atípicos para la estación Santo Domingo (1993-2003).....89

Figura. 48.
Representación de puntos atípicos para la estación de Valera (1993-2003).....89

Figura. 49.
Representación de puntos atípicos para la estación de Maracaibo (1993-2003).....90

Figura. 50.
Representación de puntos atípicos para la estación de Coro (1993-2003).....90

Figura. 51.
Representación de puntos atípicos para la estación de Barquisimeto (1993-2003).....91

Figura. 52.
Representación de puntos atípicos para la estación de Mene Grande (1993-2003).....91

Figura 53.
Representación de niveles sigma sobre un terreno montañoso.....94

Figura. 54.
Escala de colores para valores de temperatura.....96

Figura.55.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 06 de abril de 1999.....96

Figura. 56.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 07 de abril de 1999.....98

Figura. 57.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 08 de abril de 1999.....99

Figura. 58.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 09 de abril de 1999.....100

Figura. 59.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo del 10 de abril de 1999.....101

Figura 60.
 Representación de líneas de corriente del 05 de Abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.....107

Figura 61.
 Representación de líneas de corriente del 06 de Abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.....108

Figura 62.
 Representación de líneas de corriente del 07 de Abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.....109

Figura 63.
 Representación de líneas de corriente del 08 de Abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.....111

Figura 64.
 Representación de líneas de corriente del 09 de Abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.....112

Figura 65.
 Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 06 y 07 de abril de 1999, medido en porcentaje (%).....114

Figura 66.
 Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 08 y 09 de abril de 1999, medido en porcentaje (%).....115

Figura 67.
 Imágenes de viento zonal y meridional del día 09 de abril de 1999.....118

Figura 68.
 Anomalías de viento zonal y meridional del 09 de abril de 1999.....119

Figura 69.
 Radiosondeo del 08 de abril para la Isla de Curazao a las 12 Z.....121

Figura 70.
Radiosondeo del 09 de abril para la Isla de Curazao a las 12 Z.....121

Figura 71.
Radiosondeo del 10 de abril para la Isla de Curazao a las 12 Z.....122

Figura 72. (a)
Representación de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos el 09 de abril en la región de los Andes.....124

Figura 72. (b)
Tabla de valores obtenidos a partir del método.....124

Figura 73. (a)
Representación de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos para el 09 de abril en la región Noroccidental.....126

Figura 73. (b)
Tabla de valores obtenidos a partir del método.....126

Figura 74.
Imágenes del parámetro omega (ω) del día 06 y 07 de abril de 1999, medido en (Pa/s)....129

Figura 75.
Imágenes del parámetro omega (ω) del día 08 y 09 de abril de 1999, medido en (Pa/s)...130

Figura 76.
Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 06 y 07 de abril de 1999, medido en (m^*m/s).....131

Figura 77.
Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 07 y 08 de abril de 1999, medido en (m^*m/s).....132

Figura 78.
Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 09 de abril de 1999, medido en (m^*m/s).....133

Figura 79.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 07 y 08 de mayo de 2001.....135

Figura 80.
Imágenes satelitales del canal infrarrojo del 09 de mayo de 2001.....138

Figura 81.
Representación de líneas de corriente del 07 de mayo de 2001 para diferentes niveles atmosféricos.....142

Figura 82.
Representación de líneas de corriente del 08 de mayo de 2001 para diferentes niveles atmosféricos143

Figura 83.
Radiosondeo del 07 de mayo de 2001 para la Isla de Curazao a las 12 Z.....146

Figura 84
Radiosondeo del 08 de mayo de 2001 para la Isla de Curazao a las 12 Z.....147

Figura 85.
Imágenes de viento zonal y meridional del día 08 de mayo de 2001.....150

Figura 86
Imágenes de las anomalías del viento zonal meridional del día 08 de mayo de 2001.....151

Figura 87. (a)
Representación de un diagrama de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos para el 08 de mayo de 2001 en la región de los Andes.....153

Figura 87. (b)
Tabla de valores obtenidos a partir del método.....153

Figura 88. (a)
Representación de un diagrama de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos para el 08 de mayo de 2001 en la región Noroccidental.....154

Figura 88. (b)
 Tabla de valores obtenidos a partir del método.....154

Figura 89.
 Imágenes del parámetro omega (ω) del día 08 de mayo de 2001, medido en (Pa/s).....158

Figura 90.
 Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 08 de mayo de 2001, medido en porcentaje (%)......159

Figura 91.
 Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 08 de mayo de 2001, medido en (m^*m/s)......160

Figura 92
 Imágenes satelitales del canal visible e infrarrojo del 21 y 22 de junio de 2003.....161

Figura 93.
 Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 22 y 23 de junio de 2003.....162

Figura 94.
 Representación de líneas de corriente del 21 de junio de 2003 para diferentes niveles atmosféricos.....167

Figura 95.
 Representación de líneas de corriente del 22 de junio de 2003 para diferentes niveles atmosféricos.....168

Figura 96.
 Imágenes de viento zonal y meridional del día 22 de junio de 2003.....172

Figura 97.
 Imágenes de las anomalías del viento zonal meridional del día 22 de junio de 2003.....174

Figura 98. (a)
 Representación de un diagrama de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos para el 22 de junio de 2003 en la región de los Andes176

Figura 98.(b)
Tabla de valores arrojados por el método.....176

Figura 99.
Radiosondeo del 22 de Junio para la Isla de Curazao a las 12Z.....178

Figura 100.
Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 22 de junio de 2003, medido en porcentaje (%).....179

Figura 101.
Imágenes del parámetro omega (ω) del día 22 de junio de 2003, medido en (Pa/s).....182

Figura 102.
Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 22 de junio de 2003, medido en (m*m/s).....183

INDICE DE TABLAS

P.P

Capítulo

I Marco Teórico

Tabla # 01

Escala (Saffir-Simpson) Intensidad de los Ciclones Tropicales.....12

III Marco Metodológico

Tabla 02.

Estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación, utilizadas en la investigación27

IV Análisis de los Resultados

Tabla 03.

Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Santo Domingo (1993-2003).....42

Tabla 04.

Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de El Vigía (1993-2003).....42

Tabla 05.

Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Mérida en (1993-2003).....43

Tabla 06.

Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Valera en (1993-2003).....43

Tabla 07.

Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Barquisimeto (1993-2003).....43

Tabla 08.
Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de La Cañada (1993-2003).....44

Tabla 09.
Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Mene Grande (1993-2003).....44

Tabla 10.
Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Acarigua (1993-2003).....44

Tabla 11.
Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Palmichal (1993-2003).....45

Tabla 12.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Santo Domingo (1993-2003).....46

Tabla 13.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de San Antonio (1993-2003).....47

Tabla 14.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de El Vigía (1993-2003).....48

Tabla 15.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mérida (1993-2003).....49

Tabla 16.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Valera (1993-2003).....50

Tabla 17.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Coro (1993-2003).....51

Tabla 18.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Barquisimeto (1993-2003).....52

Tabla 19.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Maracaibo (1993-2003).....19

Tabla 20.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de La Cañada (1993-2003).....54

Tabla 21.
Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mene Grande (1993-2003).....55

Tabla 22.
Estudio de las líneas de corriente en los niveles 250 y 500 hPa, para el periodo de 1993-2003.....62

Tabla 23.
Límite de la región de Los Andes de los valores máximos extremos.....78

Tabla 24.
Límite de la región Noroccidental de los valores máximos extremos.....78

Tabla 25.
Número de eventos extremos en total para la serie para la región de los Andes en la serie de tiempo 1993-2003.....79

Tabla 26.	
Número de eventos extremos en total para la serie para la región Noroccidental en la serie de tiempo 1993-2003.....	79
Tabla 27.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Santo Domingo.....	80
Tabla 28	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Antonio del Táchira.....	80
Tabla 29	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Guasdualito.....	81
Tabla 30.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Juan de Colón.....	81
Tabla 31.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de El Vigía....	81
Tabla 32.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Mérida.....	82
Tabla 33.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Barinas.....	82
Tabla 34.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Valera.....	82
Tabla 35.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Guanare....	83
Tabla 36.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Acarigua...	83

Tabla 37.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Maracaibo..	83
Tabla 38.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de La Cañada..	84
Tabla 39.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Mene Grande.....	84
Tabla 40.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Barquisimeto	84
Tabla 41.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Coro.....	85
Tabla 42.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Palmichal...	85
Tabla 43.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Valencia....	85
Tabla 44.	
Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Juan de los Morros.....	86
Tabla 45.	
Archivo histórico de eventos cálidos y fríos o episodios de “El Niño’ y “La Niña” ocurridos en el periodo 1993-2003.....	86

RESUMEN

Quintero Mercado, Alexander Gregorio

Los Sistemas Convectivos de Mesoescala en la Región de los Andes y Región Noroccidental de Venezuela

A. G. Quintero M., 2005

La presente investigación tuvo como finalidad realizar un estudio de los sistemas convectivos que afectan la región Noroccidental y región de los Andes de Venezuela, a partir del análisis de las condiciones sinópticas y de mesoescala de ambas regiones en el periodo comprendido de 1993 al 2003. El estudio se lleva a cabo a partir del uso de la prueba estadística de Mann-Kendall, con el propósito de identificar eventos extremos diarios de precipitación dentro de la serie de datos de precipitación registrados por dieciocho (18) estaciones meteorológicas, ocho (08) en la región Noroccidental y diez (10) en la región de Los Andes de Venezuela. Desde luego con el mayor inconveniente presente en la ubicación y distancia horizontal entre las estaciones, la cual podría llegar a ser de varios cientos de kilómetros, lo que dificulta el estudio completo y detallado de las regiones, debido a la pobre resolución de la red de estaciones meteorológicas.

Resultó conveniente investigar la climatología de las regiones de interés, por ende se estudiaron los patrones de precipitación, viento y temperatura durante diez años, de tal manera de conocer las condiciones naturales y factores que influyen en estos parámetros y que son los que determinan el tipo de clima de cada región. Posteriormente, se busca identificar eventos extremos para cada región aplicando la prueba estadística Mann-Kendall, al enumerar detalladamente la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, por mes, año, estación y región, se pudo determinar que la región de Los Andes presentó mayor cantidad de eventos extremos, debido a su compleja orografía, a saber, en la Cordillera de los Andes, gran cantidad de masas de aire ascienden por forzamiento orográfico, dando lugar a la convección profunda y a la formación de nubosidad que desencadena la precipitación.

Una nueva etapa del estudio consistió en seleccionar fechas específicas de tres eventos extremos dentro de la serie de precipitación obtenida anteriormente a partir de la prueba estadística Mann-Kendall. Después de realizar este análisis y teniendo en cuenta los umbrales o la cantidad límite de precipitación para valores extremos de las estaciones, junto con las gráficas empleadas para obtener la información, se llevó a cabo la comparación de los datos de lluvia de todas las estaciones para ambas regiones, la cual se hace diariamente en la serie de los diez años. El procedimiento busca relacionar eventos extremos con fechas en común, que pudieran ser objeto de estudio por la alta intensidad de precipitación afectando un número considerable de estaciones. Los tres eventos más importantes fueron: del 06 al 09 de abril de 1999, 08 de mayo de 2001 y 22 de junio de 2003.

Los eventos del 06 al 09 de abril de 1999 y 22 de junio de 2003 presentaron semejanzas en los mecanismos que hicieron posible el desarrollo de sistemas convectivos, entre estos se considera el viento fuerte en el nivel de 925 hPa incidiendo sobre la orografía. En el caso del 08 de mayo de 2001 se presenta la evolución de un acople a nivel de la troposfera, que genera una fuerte divergencia en altura y convergencia en bajo nivel dando origen a fuerte precipitación. De hecho, es el evento en el que la mayor cantidad de estaciones lo registran como extremo durante los diez años.

La influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sigue siendo un factor importante en la generación de estos eventos, con mayor impacto en algunos meses del año, los cuales se encuentran directamente relacionados con el régimen o periodo lluvioso en Venezuela, constituyendo el principal factor que modula la precipitación sobre todo el territorio venezolano.

Se analizaron además los campos de humedad relativa, velocidad potencial, para conocer la convergencia o divergencia del flujo y la velocidad vertical que implica el ascenso de las masas de aire, por medio de datos del Centro Nacional de Protección del Ambiente, EE.UU. (NCEP, por sus siglas en inglés), el uso de las imágenes satelitales fue fundamental para observar los centros de convección en las regiones, además de la cantidad de la nubosidad y por último el uso de las líneas de corriente de viento que permitió el

estudio de las condiciones sinópticas de las regiones de interés, así como la formación y el desplazamiento de los sistemas en diferentes niveles de la atmósfera.

INTRODUCCIÓN

La meteorología investiga la variación espacio temporal de los campos atmosféricos como la temperatura, la humedad relativa, la presión, la dirección del viento, etc. Un aspecto práctico de esta ciencia es el tratar de predecir las condiciones atmosféricas para un cierto período de tiempo.

El conjunto de las propiedades del aire, tales como su temperatura, presión atmosférica, contenido de humedad, dirección y velocidad del viento, nubosidad y presencia de fenómenos atmosféricos como lluvia, truenos, relámpagos, neblina; producen en un lugar y momento dado lo que se conoce como el estado del tiempo. Si se obtienen mediciones de esas propiedades en un período de tiempo de 10 a 30 años, se pueden calcular promedios que describen el clima. A diferencia de la climatología, la meteorología dinámica hace referencia a las condiciones del tiempo o de la atmósfera en un momento específico. Es por esta razón que para efectos tácticos y operacionales militares, es la meteorología dinámica la que reviste singular importancia.

Muchos factores afectan el estado de la atmósfera. La radiación del sol, la rotación de la tierra sobre su eje, la revolución de la tierra alrededor del sol y la inclinación del eje de rotación de la tierra con respecto al plano de la eclíptica. La combinación de esos factores imparte movimiento al aire y establece ciertos patrones horizontales de presión y temperatura. La energía de la atmósfera proviene de la radiación del sol y de su inclinación con respecto al plano de la eclíptica depende en gran parte la distribución climática terrestre. En los trópicos el rango de variación diaria de temperatura excede al rango de variación anual. Venezuela por ser un país tropical, está ubicado muy cerca del ecuador y es influenciado en ciertos periodos del año por el paso de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la temperatura tiende a variar notablemente a lo largo del día, bajo la influencia del ciclo diurno, pero su variación anual de temperatura es muy débil.

El estudio del movimiento de los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) durante su trayectoria es fundamental, a la hora de tratar de evaluar el impacto y la duración de los

posibles fenómenos que puedan afectar una zona determinada donde se encuentren en su desplazamiento.

Para este estudio se utilizó la prueba estadística de Mann-Kendall a una serie de precipitación en un periodo de diez años (1993-2003), con la finalidad de seleccionar fechas de eventos de precipitación en común. Es decir, se escogieron los eventos de precipitación de mayor intensidad y que fueron registrados en el mayor número de estaciones. El estudio se fundamentó en tres eventos naturales, que según la prueba se consideraron como extremos. Posteriormente se realizó un análisis de las condiciones sinópticas y de mesosescala para conocer los posibles factores que incidieron en el origen y desarrollo de los sistemas que se formaron.

La investigación se hizo para meses distintos del año, lo cual permitió conocer un poco más de la variabilidad de la atmósfera en los meses involucrados, y de los factores naturales que influyen en la génesis de los sistemas convectivos. Aunque sólo se estudian tres casos, la cantidad de información que genera la investigación es abundante, y podría aportar conocimientos e información útil, que faciliten la comprensión sobre el origen, comportamiento y trayectoria de estos sistemas atmosféricos. De esta manera, al contar con estos conocimientos se daría un mayor aporte y mejoramiento en la planificación de las operaciones aéreas de las zonas involucradas, también significaría un posible aumento en la eficiencia de la predicción que pueda reducir riesgos para la población, debido a que sus habitantes resultan ser vulnerables cuando se avecina una tormenta de magnitud significativa.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El Servicio de Meteorología de la Aviación Militar, desde el 10 de Octubre de 1947 se ha encargado del estudio de los fenómenos meteorológicos que ocurren en Venezuela, también tiene la responsabilidad de dar una información veraz en los pronósticos diarios del estado del tiempo a la Aviación Militar, en función de un mejor desarrollo de las operaciones aéreas, dirigidas a mantener la soberanía del espacio aéreo venezolano. Sin embargo, la responsabilidad no queda aquí, es deber del Servicio de Meteorología informar en sus boletines a la colectividad en general, a las instituciones públicas y privadas del país, sobre el estado del tiempo en cada momento, y alertar a los mismos en caso de presentarse cualquier alteración de la atmósfera que pueda generar efectos negativos a los habitantes.

Con el transcurrir del tiempo el avance tecnológico ha incursionado en todas las áreas, incluyendo también en el campo de la meteorología. Por tal motivo, ha sido preocupación tanto del Servicio de Meteorología como de la Aviación Militar mejorar paulatinamente el estudio del clima, haciendo uso de los conocimientos y herramientas novedosas, siempre y cuando se encuentren al alcance para su disposición, considerando que el clima es un factor natural que interviene en las actividades cotidianas que realizan las personas en cualquier región.

También es preciso señalar que la extensión territorial de Venezuela está comprendida por un gran número de regiones, por lo tanto posee una climatología variada, no obstante la presente investigación se basará en estudiar en la región Noroccidental y región de Los Andes de Venezuela los fenómenos convectivos de mesoscala, es decir, eventos naturales que ocurren en la atmósfera en una escala horizontal, con un rango aproximado entre diez y varios cientos de kilómetros, para luego identificar la existencia

de tormentas y eventos extremos que pudieron afectar ambas regiones. El estudio se realizó en el periodo comprendido de 1993 a 2003, considerando que era necesario efectuar una investigación reciente para conocer la climatología y el comportamiento de la atmósfera para ambas regiones en estos últimos años, además de la ocurrencia de eventos extremos de precipitación, durante este periodo de diez años. El hecho de haberse escogido esta zona como área de estudio, se debe a la gran importancia que representa la región occidental para el país, por la población que allí habita y por los recursos naturales que allí se encuentran, donde la influencia de la orografía, como la presencia de abundantes fuentes hídricas (ríos, lagos entre otras) son fundamentales.

Salinas (2001) escribe que los sistemas convectivos de mesoescala (MCSs, por sus siglas en inglés) son generalmente sistemas más grandes que las tormentas individuales o líneas de tormentas debido a que se desarrollan en bloques. Estos representan los más grandes miembros de las familias de nubes convectivas y son considerados hoy en día de gran interés científico y de mucha importancia práctica. Estos sistemas también producen en gran proporción las precipitaciones sobre nuestro planeta, de esta forma adquieren gran relevancia desde el punto de vista climatológico, en algunas partes del océano tropical y subtropical, y las planicies de los EE.UU.; los sistemas convectivos de mesoescala son dominantes en la contribución de la precipitación. De igual manera, Salinas (2001) sostiene que la dinámica de los sistemas convectivos de mesoescala es más compleja que las tormentas individuales y líneas de tormentas porque estos aparecen todos juntos en un gran sistema nuboso, en particular estos sistemas frecuentemente contienen una gran región de precipitación estratiforme, precipitación cumuliforme, circulación mesoescalar y también la influencia de eventos sinópticos de gran escala.

Los sistemas convectivos de mesoescala ocurren en una gran variedad de formas, sin embargo ellos poseen algunas características en común que permiten realizar una definición. Según Maddox (1980), “es un sistema que ocurre en conexión con un conjunto de tormentas y produce precipitaciones en un área contigua de aproximadamente 100 Km o más en la escala horizontal en por lo menos una dirección”.

Las regiones Noroccidental de Venezuela y región de Los Andes son zonas de gran

importancia para Venezuela, tanto por la densidad de población, como por las actividades económicas que se llevan a cabo, donde predominan principalmente la explotación petrolera, la producción ganadera y agropecuaria, además del tráfico aéreo comercial y militar que allí se desarrolla diariamente.

Es importante observar que estas regiones se encuentran rodeadas de cadenas montañosas y la irregularidad del relieve es evidente, considerando la influencia o la presencia de la Cordillera de los Andes, la Cordillera de Perijá, otras cadenas montañosas y el Lago de Maracaibo. Por estos factores junto con el acoplamiento de otros que surgen por la misma variabilidad de la atmósfera, hacen que ésta se vea influenciada a producir eventos naturales que podrían afectar directamente el desarrollo normal de las actividades cotidianas de la población que habita la región, y el cumplimiento de misiones de vuelo en ciertos lugares, tanto para la aviación militar y civil. En vista de ello el Servicio de Meteorología a partir de los avances tecnológicos tiene la necesidad de mejorar la investigación de la dinámica de tormentas. Por ende, es de gran ayuda realizar un diagnóstico y evaluación de algunos parámetros meteorológicos (temperatura, dirección y velocidad del viento, precipitación, y humedad) de ambas regiones ; mediante el método sinóptico que es el que se usa actualmente en el Servicio de Meteorología de la Aviación, que permita obtener más información sobre como se desenvuelven estos sistemas convectivos. De esta manera, por medio de este estudio y luego de obtenerse los resultados, se trata de aportar conocimientos que junto a los existentes, den una idea más clara al Personal Técnico del Servicio de Meteorología en cuanto a la variabilidad climática de la región, lo cual será importante en el proceso de toma de decisiones, al momento de emitir un pronóstico, dejando sentir su efecto en las áreas de seguridad aérea y terrestre, bien sea en el cumplimiento de misiones en cuanto al ámbito militar, sin olvidar la trascendencia que representa para la población, el anuncio anticipado de una alerta de “evento natural”, por las previsiones que se podrían tomar a tiempo.

1.2 Justificación e Importancia de la Investigación

Los eventos extremos de precipitación tienen un gran impacto socioeconómico, ya que al producirse causan deslaves, grandes inundaciones, interrumpen el transporte aéreo y terrestre, ocasionan pérdidas en las actividades agropecuarias, y afectan directamente a la población debido a la vulnerabilidad en que se encuentran y se ven reflejadas directamente en sus viviendas y en la proliferación de enfermedades. Estos son fuertes motivos para realizar un seguimiento a los fenómenos que ocurrieron en tiempos pasados, de esta forma ayudaría a pronosticar posibles eventos que podrían formarse en cualquier momento en una zona determinada.

La emisión de productos meteorológicos tales como Boletín Meteorológico Diario, Avisos Meteorológicos, Alertas Meteorológicos, Boletines Especiales, Notas de Prensa, Avisos a la Colectividad, Información Climatológica, Trípticos Meteorológicos y Climatológicos, Productos Meteorológicos Aeronáuticos, Productos Meteorológicos Marítimos entre tantos otros, requieren de la mayor confiabilidad en sus pronósticos. Es por tal motivo, que la presente investigación busca fortalecer los conocimientos básicos acerca de los sistemas convectivos de mesoescala en especial los que ocurren en las regiones Noroccidental y de los Andes, para así conocer en forma amplia la diversidad de fenómenos naturales, que le permita a un pronosticador con su experiencia, bases teóricas y conocimientos de la zona, adquirir mayor confianza a la hora de emitir un pronóstico veraz.

De acuerdo con Houze (1993) se ha encontrado que el 10% de las grandes áreas de sistemas convectivos de mesoescala explican el 90% de la precipitación sobre regiones oceánicas ecuatoriales, es claro por lo tanto que para el entendimiento de los fenómenos productores de lluvia es de suma importancia el conocimiento de los sistemas convectivos de mesoescala.

Se hace indispensable por lo tanto conocer la dinámica local de la región de interés, identificar los procesos de mesoescala y los mecanismos físicos de escala local que están asociados con el ciclo diurno de calentamiento radiativo, dinámica de los complejos

convectivos de mesoescala, y factores de circulación atmosférica regional y local. Es necesario así mismo, tener un mayor conocimiento de la interacción entre los mecanismos de mesoescala y los mecanismos sinópticos que permitan prever el comportamiento esperado de lluvias con el fin de lograr una mejor planeación del recurso.

La Aeronáutica tanto en Venezuela como en cualquier lugar del mundo es vulnerable y afectada por los sistemas convectivos de mesoescala, que comprenden condiciones severas del tiempo tales como ciclones tropicales, tormentas de gran desarrollo vertical, engelamiento, granizo, ráfagas de viento entre otros, es por eso que resulta importante conocer como ha sido el desarrollo de estos eventos en estas importantes regiones, afectando directamente las actividades de la población, con ciertas implicaciones en el área de la aviación militar.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general

- Investigar los patrones de precipitación, temperatura y viento para varias estaciones lluviosas en las regiones Noroccidental y de los Andes de Venezuela, con el fin de identificar los eventos extremos más importantes y su localización geográfica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar los patrones de precipitación, temperatura y viento con los datos de diferentes estaciones meteorológicas de la Región Nor-Occidental de Venezuela y la Región de los Andes, durante un periodo que abarque varias estaciones lluviosas.
- Analizar las condiciones sinópticas asociadas con eventos extremos, así como la influencia de la orografía en la intensificación de estos eventos convectivos.
- Identificar los eventos de precipitación extrema durante el periodo escogido para la zona de estudio, y luego aplicar técnicas para la detección y monitoreo de sistemas convectivos, y caracterizar así su vida promedio, el momento en que se originan, los mecanismos que los intensifican, la estructura horizontal y su evolución espacial y temporal.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2. 1 Antecedentes del problema

Fernández (1979) menciona que en las zonas tropicales la cortante de viento relacionada con la profundidad de los sistemas convectivos es usualmente pequeña. En áreas tropicales, especialmente en Venezuela, existe un chorro en los niveles atmosféricos medios, donde la cortante de viento es de gran significancia en el desarrollo de estos sistemas. Se ha observado que hay un cambio de dirección en la cortante de viento en distintos niveles, por ejemplo en los niveles bajos la cortante de viento está dirigida hacia el este, mientras que en los niveles superiores ésta cambia de dirección hacia el oeste. En consecuencia, al darse esta diferencia en dirección, provoca que la cortante de viento sea relativamente pequeña, lo cual favorece la convección y la formación de sistemas nubosos. La clasificación de diferentes tipos de tormentas es posible relacionarla con factores sinópticos y orográficos. La situación sinóptica, cantidad de humedad y la inestabilidad dependerá mucho de la forma geográfica que presenta la región.

En los estudios realizados por Fernández (1979) las tormentas fueron clasificadas en tres grupos:

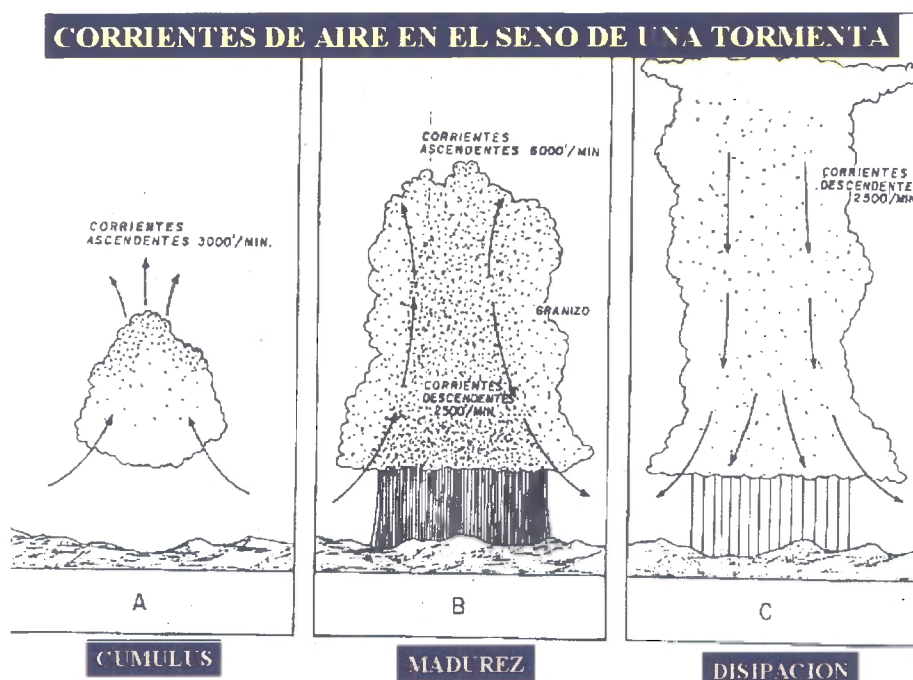
- Un grupo cuya línea estructural es normal a la dirección del movimiento. Se le conoce como línea de chubascos.
- Un grupo combinado con el primero pero que no desarrolla esa línea de chubascos, el área de extensión es menor, pero forman grandes racimos o torres tormentosas conocida como línea de no turbonada.
- Un tercer grupo referido a la formación de tormentas aisladas.

Los factores necesarios para la formación de tormentas son: *Inestabilidad del aire*, lo que significa que con algún pequeño proceso o forzante (una montaña, calentamiento diurno, etc.) una masa de aire ascenderá en la atmósfera sin necesidad de energía adicional; *ascenso de masa de aire*, es decir que se produzca efectivamente el ascenso mediante el

forzante o mecanismo indicado anteriormente y; *humedad*, a fin de que al ascender la masa el vapor de agua presente se pueda convertir en gotas de nube por enfriamiento.

La formación de un cumulonimbus o nube de tormenta se divide en tres etapas (figura 01): la etapa de cúmulo, donde las corrientes son ascendentes; la etapa de madurez, donde comienzan las corrientes descendentes y continúan las ascendentes, comienza las precipitaciones y; la etapa de disipación, donde cesan las corrientes ascendentes, disminuye progresivamente la precipitación y la nube comienza a perder fuerza y desintegrarse.

Figura 01. Las tres etapas de desarrollo de un cumulonimbus, ([www.icao.org/Aeronautical Meteorology Phen.](http://www.icao.org/Aeronautical%20Meteorology%20Phen))



En los experimentos de Riehl (1977 a), en un estudio de ciertas precipitaciones en Venezuela, observó que los cumulonimbus representan cerca del 70% de la producción de lluvia durante el periodo lluvioso. Además, llegó a promediar eventos de precipitación hasta con 2 horas de duración, observando que dicha duración podría estar desde los 30 min hasta las 5 horas, con un rango de precipitación de 0.5 a 5 cm en un radio de 90 Km,

según lo arrojado por el radar. Después de fuertes precipitaciones ocurridas se observa la presencia de los estratos, lo que indica que estos procesos comienzan como cúmulos y pueden finalizar en estratos.

En la investigación hecha sobre Venezuela Riehl (1977 b) descubrió que para la descripción de los sistemas productores de lluvia en el país era de gran utilidad el estudio de vaguadas en los niveles 850 y 200 mb, donde se presenta la advección hacia el sur de aire frío. Al desplazarse este aire frío, la capa es ocupada por aire más caliente y húmedo, lo que crea convergencia e inestabilidad generalmente en la baja troposfera y los sistemas de mayor envergadura podrían ser localizados allí.

Entre las observaciones hechas por Goldbrunner (1984) y Pulwarty et al. (1992, 1998) para el oeste y el suroeste de la Cordillera de los Andes y el Lago de Maracaibo, los llevaron a concluir que el mecanismo generador de lluvia es el doble paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

Poveda y Mesa (1997), encontraron que la distribución anual de la precipitación sobre los trópicos en América del Sur está primordialmente influenciada por la posición de la ZCIT, siendo los principales mecanismos de control de la distribución espacial de la precipitación, la presencia de la cadena montañosa de los Andes, la región del este del océano Pacífico Tropical, la parte oeste del Atlántico Tropical y las circulaciones atmosféricas sobre el Amazonas.

Velásquez (2000) plantea que existe más de un mecanismo físico productor de lluvia en esta región y no solamente por efecto de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Menciona además que para la región de Los Andes y el Lago de Maracaibo “la orografía parece tener un efecto importante, ya que la presencia de la Cordillera de los Andes en su parte más alta (mayor a 2000 msnm) presenta una orientación aproximada suroeste-noreste, de menor elevación más al norte (500-1000 msnm), que a pesar de no ser tan continua es casi perpendicular al flujo medio el cual es esencialmente del este durante el período lluvioso comprendido entre los meses de abril-mayo hasta noviembre”. Sus resultados difieren en parte a lo descrito por Goldbrunner (1984) y Pulwarty (1992).

En la investigación realizada por Lovera (2003) se observó que la presencia de la orografía modula el comportamiento y distribución temporal y espacial tanto del viento como de la precipitación en la Cordillera de los Andes venezolanos. Los máximos de precipitación en las pendientes norte y sur de la Cordillera de los Andes venezolanos ocurren en diferentes meses del año, aún cuando el período lluvioso se extiende en la misma época, al igual que la estación seca.

2.2 Bases teóricas

A continuación se describen los sistemas de gran escala y flujos atmosféricos de acuerdo a su escala, que afectan no sólo la región de Los Andes y la región Noroccidental, sino son característicos de aparecer también en otros lugares del mundo.

2.2.1 Sistemas de Gran Escala

Son sistemas de vientos que están comprendidos entre la escala sinóptica, cuya dimensión espacial podría ser de cientos a miles de kilómetros y con una duración temporal de varios días. Estos se subdividen en:

2.2.1.1 Ciclones y Anticiclones

Los ciclones o zonas de baja presión tienen usualmente de 100 a 400 Km. de diámetro, los vientos giran sobre un centro en el sentido contrario (mismo sentido) de las agujas del reloj en el Hemisferio Norte (Hemisferio Sur). Sobre estos centros, si existen las condiciones de humedad disponible e inestabilidad atmosférica que permitan ascensos de masas de aire en esta área, se producen zonas de nubosidad significativa y generan tiempo adverso a las aeronaves en vuelo. Este sistema se puede observar de manera esquemática en la figura 2a.

Los anticiclones o zonas de altas presiones, son generalmente de mayor diámetro que los ciclones y usualmente más alargados o de forma semi-esférica y no redondeada. El eje

mayor puede superar en ocasiones los 3000 Km En estas áreas primordialmente abundan los cielos claros o con nubosidad de poco desarrollo vertical y de presentarse precipitaciones, son del tipo de lloviznas. No presentan en si mismos, peligros para las actividades aéreas, aunque fenómenos como la niebla pueden llegar a presentarse, ver figura 2b.

Figura 2(a). *Ciclón, (Viñas, 2000).*

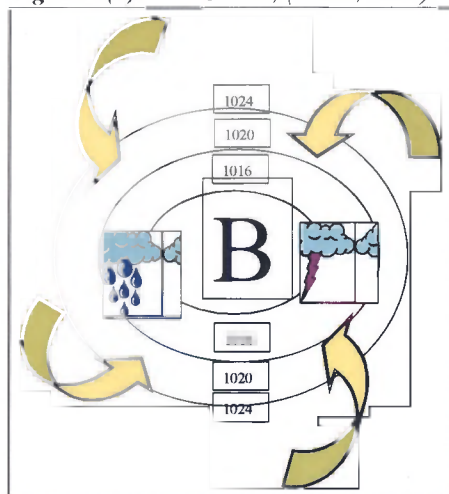
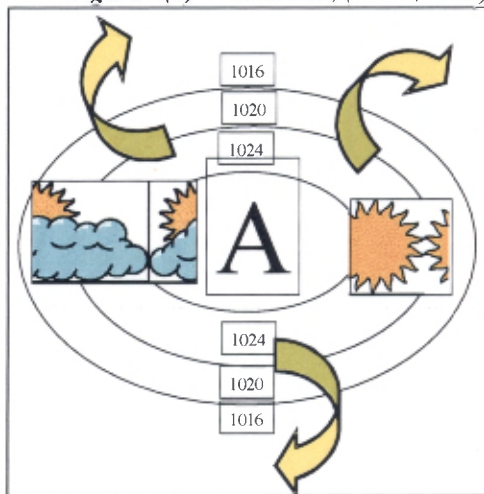


Figura 2(b) *Anticiclón, (Viñas, 2000).*



2.2.1.2 Ciclones Tropicales

Un ciclón tropical es un sistema caracterizado por tener una zona de baja presión en su centro, alrededor de la cual soplan vientos de mayor intensidad (ver tabla 01, escala Saffir – Simpson). Un ciclón tropical medio puede poseer un diámetro promedio que va desde los pocos cientos de kilómetros a varios miles y durar de tres días a dos semanas.

Tabla 1. Escala (Saffir-Simpson) de intensidad de los Ciclones Tropicales (Viñas, 2000).

CATEGORÍA	VIENTOS SOSTENIDOS (Km/h)	DAÑOS
1	119 – 153	MINIMOS
2	154 – 177	MODERADOS
3	178 – 209	INTENSOS
4	210 – 249	EXTREMOS
5	250 O MÁS	CATASTRÓFICOS

2.2.1.3 Tormentas Tropicales

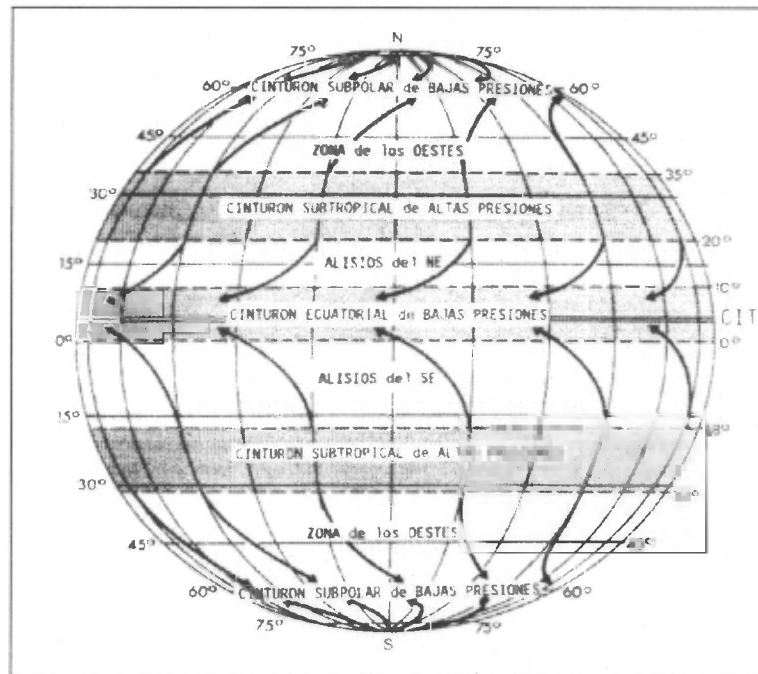
Sistemas de baja presión con actividad lluviosa y eléctrica, cuyos vientos rotan en sentido antihorario si se encuentran en el hemisferio norte, este fenómeno meteorológico forma parte de la evolución de un ciclón tropical y se determina cuando la velocidad promedio de los vientos máximos sostenidos en superficie durante un minuto, es de 63 a 118 km/h. Cuando llega a presentar estas características, el sistema recibe un nombre para poder identificarlo y seguirlo.

2.2.2 Flujo sinóptico

2.2.2.1 Vientos Alisios

Se conoce con este nombre a los vientos con componentes atmosféricas del noreste y sureste, con origen en los cinturones subtropicales de altas presiones de ambos hemisferios, que convergen en la región ecuatorial permitiendo la formación del cinturón ecuatorial de bajas presiones (Ver figura 3).

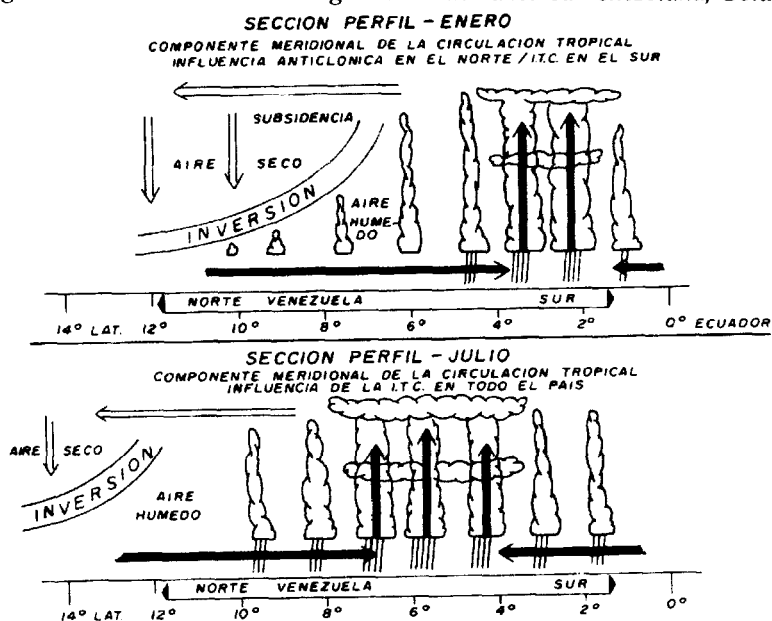
Figura 03. Esquema idealizado de cinturones globales de presión y de sistemas de vientos asociados, (compendio de meteorología para el uso del personal meteorológico clases I y II).



Holton (2004) postula que “gran parte del vapor necesario para mantener la convección en la Zona de Convergencia Intertropical debe ser suministrado por el flujo convergente de los vientos tropicales del este (Alisios) en la baja troposfera; de esta forma, el flujo a gran escala proporciona el calor latente necesario para la convección, y el calentamiento convectivo produce a su vez el campo de presión a gran escala que mantiene el flujo de bajo nivel”.

Tal como lo muestra Goldbrunner (1984) en la figura 04, Venezuela debido a su ubicación geográfica está completamente influenciada por los vientos alisios, que debido a su componente este y a la orientación de la Cordillera de los Andes venezolanos, es de esperarse que si se dan las condiciones dinámicas necesarias capaces de causar perturbaciones que generen rotores u ondas de montaña a sotavento del flujo.

Figura 04. Influencia de vientos Alisios del norte y del sur en el territorio venezolano para invierno y verano (Atlas Climatológico del Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana, Goldbrunner, 1984).



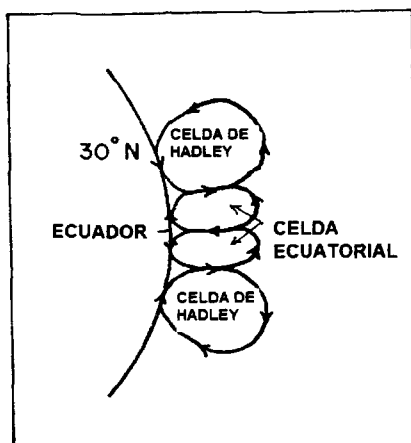
2.2.2.2 Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)

Holton (1990) propone que la ZCIT “consiste en un número de distintos conglomerados de nubes con escalas del orden de cientos de kilómetros, que están separados por regiones de cielos relativamente despejados. La intensidad de la ZCIT es también muy variable, tanto en el espacio como en el tiempo. Es particularmente persistente y bien definida sobre el Atlántico entre unos 5° y 10° de latitud norte y ocasionalmente aparece en el Pacífico entre 5° y 10° sur. Además afirma que posiblemente la única forma en la que el calor puede ser llevado efectivamente de la superficie a la troposfera superior en la ZCIT es a través de ascensiones pseudoadiabáticas, en los núcleos de las grandes nubes cumulonimbos llamados a menudo “torres calientes”.

La ZCIT se desplaza durante el verano del Hemisferio Norte un poco hacia el norte o el sur del ecuador dependiendo de la posición del sol. Asnani (1993) menciona que la ZCIT es la región donde interactúan dos celdas de Hadley, distribuidas simétricamente alrededor del ecuador. Si la ZCIT está al norte o al sur del ecuador, la región ecuatorial en cualquier

caso sería una región de movimientos ascendentes del flujo, ya que se encuentra asociada a una rama ascendente de masas de una de las dos celdas de Hadley.

Figura 05. Sección meridional que ilustra dos celdas ecuatoriales separando dos celdas de Hadley, (Asnani, 1993).



Entre las observaciones hechas por Goldbrunner (1984) y Pulwarty et al. (1992, 1998) para el oeste y el suroeste de la Cordillera de los Andes y el Lago de Maracaibo, en sus primeras observaciones encontradas afirman que el mecanismo físico productor de lluvia se debe al doble paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

2.2.2.3 Ondas en los estes

Para Holton (2004) las ondas del este son perturbaciones de onda que se propagan hacia el oeste en la ZCIT, caracterizadas por presentar un flujo básico del este de 8 a 10 ms^{-1} en la troposfera inferior y alrededor de la zona ecuatorial; son responsables de gran parte de la nubosidad de la ZCIT, las cuales tienen un período aproximado de 4 a 5 días y una separación longitudinal entre 3000 y 4000 Km para este tipo de perturbación. Además propone que este tipo de perturbaciones son accionadas por la acumulación de calor latente en las áreas convectivas de precipitación que acompañan a las ondas. Las “torres calientes” mencionadas anteriormente son responsables de la mayor parte del transporte de calor vertical en la ZCIT, por ende las perturbaciones de onda contienen la mayor parte de las áreas activas de precipitación convectiva dentro de la ZCIT.

Velásquez (2000) indica que las ondas en los estes constituyen, para muchas regiones, un mecanismo importante de variabilidad en el campo de precipitación, en el cual incrementa considerablemente la cantidad de las mismas. En Venezuela las ondas en los estes pueden alcanzar y afectar las costas y partes nortes del oriente y la región nor-central, Goldbrunner (1963) y Con (1982), principalmente en los meses de junio a noviembre.

Considerando lo mencionado por Goldbrunner y Con, no es posible descartar que las ondas del este en cuestión interactúen con la Cordillera de los Andes y esto tenga repercusiones importantes en el campo de precipitación y que su comportamiento sea diferente tanto a barlovento como a sotavento de dicha cordillera.

2.2.3 Flujo de Mesoescala

Conocidos también como vientos de tipo local. Además de los sistemas de vientos de gran escala; existen dentro de éstos, otros sistemas de vientos locales creados por montañas, valles y reservorios o masas de agua. Estos sistemas generalmente juegan un papel importante en el clima y tiempo de una zona dada y se encuentran ubicados dentro de la mesoescala. La naturaleza del flujo atmosférico idealizado; sujeto a balance geostrófico, podría ser modificada de sus trayectorias teóricas por todas las variaciones que tiene la superficie terrestre: discontinuidades océano-tierra, diferencias de altitud, bosques, ciudades, etc.; provocando la existencia de los vientos locales, que aunque no suelen afectar a grandes extensiones de terreno, suelen ser más predominantes en ciertas zonas que el flujo general.

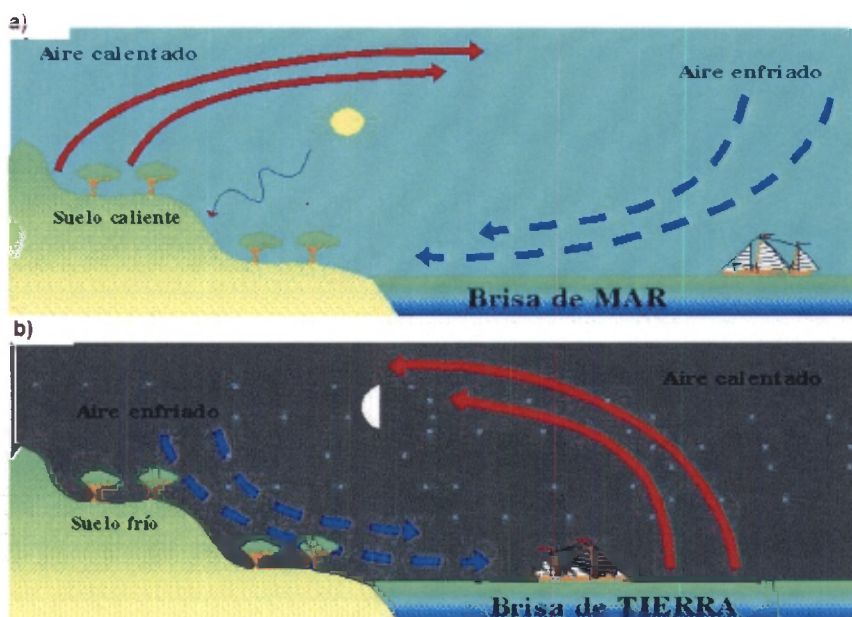
2.2.3.1 Brisas de mar y tierra

Por efectos de la radiación solar, la Tierra se calienta y ésta a su vez emite radiación infrarroja, la cual es absorbida por la atmósfera. Las superficies terrestres se calientan y se enfrían más rápido que las masas de agua, ya que poseen un mayor calor específico, lo que les permite retener así la energía absorbida. En consecuencia, la superficie terrestre presenta temperaturas más elevadas que las superficies marinas durante el día y más bajas durante la noche. En la costa, existen diferencias de temperatura entre la tierra y el agua,

produciendo a su vez diferencias en la presión. Durante el día la presión sobre la tierra es menor, por encontrarse a una mayor temperatura con respecto al mar que se encuentra a una temperatura más baja; lo que origina que el aire más frío que está sobre el agua se desplace hacia la zona de baja presión sobre la tierra, forzando a ascender a la masa más caliente que está sobre la tierra. El resultado en la línea costera se denomina *brisa de mar*.

Por otro lado, durante la noche ocurre el proceso inverso, la presión disminuye sobre el agua por ser la masa más caliente y aumenta la presión del lado de la tierra, de esta manera el aire sobre la tierra se desplaza hacia el mar y el que está en el mar comienza a ascender, al mismo tiempo desciende aire sobre la tierra que busca llenar el espacio dejado por el aire que se mueve en superficie hacia el mar. Este viento en superficie es llamado *brisa de tierra*. Generalmente, la brisa de mar es de mayor intensidad que la brisa de tierra, pero ambas penetran decenas de kilómetros tierra adentro o mar adentro, según sea el caso. El espesor formado por ambos tipos de brisa en la atmósfera no es muy grande, pudiendo llegar a lo sumo a pocas decenas de metros.

Figura 06 .a) Modelo representativo de las brisas de mar. b) Modelo representativo de las brisas de tierra (www.meteored.com).



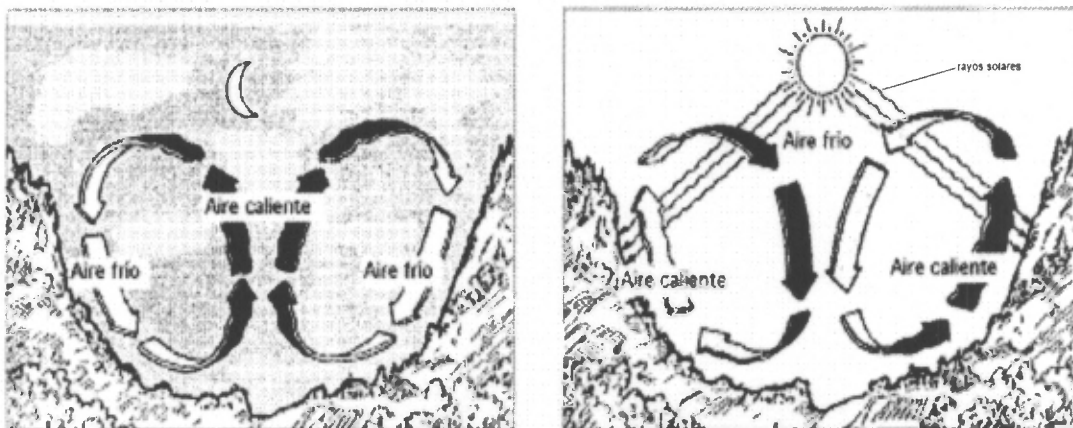
2.2.3.2 Brisa de valle y montaña

Entre el valle y la montaña suceden procesos de calentamiento y enfriamiento similares a los de mar y tierra. En este caso las laderas de las montañas se comportan como la tierra en el caso anterior, ya que reciben primero y más directamente los rayos del sol de la mañana; así se produce una brisa de valle que asciende por las faldas de las montañas. En la noche el proceso se revierte, al enfriarse con mayor rapidez las laderas que el fondo del valle, produciendo entonces la *brisa de montaña*.

Tal y como sucede en el fenómeno de brisa de tierra y mar, el responsable de la circulación de brisas de montaña y valle es el gradiente de temperatura (por lo que el proceso es termodinámico), pero en este caso es entre las superficies de las laderas de las montañas y del valle.

En el día el aire asciende pendiente arriba por la superficie de las laderas teniendo corrientes de retorno más arriba y que descienden en el centro del valle, dando origen a desarrollo de nubosidades a lo largo de las laderas y sobre el tope del valle. La circulación contraria ocurre durante horas de la noche donde el aire desciende por las laderas y asciende en el centro del valle, por lo que la formación nubosa se da en dicho centro, Asnani (1993).

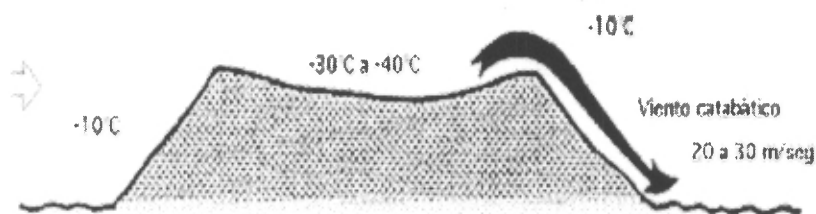
Figura 07. a) *Brisas de montaña* (www.exa.unne.edu.ar). b) *Brisas de valle* (www.exa.unne.edu.ar).



2.2.3.3 Vientos catabáticos y anabáticos

Barry (1992) describe el viento catabático como el movimiento pendiente abajo de un valle o ladera de aire fresco, en forma de brisas, pasando a través de laderas y valles generalmente es causado por el enfriamiento radiativo nocturno, cerca de la superficie y bajo condiciones de cielos despejados, puede dar origen a nubosidad en el centro del valle. Caso contrario sucede con los vientos anabáticos cuyo movimiento es pendiente arriba del valle, ya que presenta una componente vertical ascendente el proceso se lleva a cabo durante el día, y puede formarse nubosidad entre la pendiente y la cima del valle.

Figura 08. Viento catabático (www.exa.unne.edu.ar).



2.2.3.4 Cortantes de Viento

Cuando dos masas de aire se mueven a velocidad y/o dirección diferente se produce fricción, de igual manera que cuando dos cuerpos sólidos se desplazan uno sobre el otro. Al producirse la fricción entre dos fluidos, en la zona de contacto se crean torbellinos de viento, creando una zona de transición entre las dos masas que se conoce con el nombre de zona de cortantes o cortantes de viento; estos torbellinos pueden ser horizontales o verticales y resultan peligrosos si se observan a baja altura en las fases de aproximación, despegue o aterrizaje de aeronaves.

2.2.3.5 El efecto foehn

Este fenómeno se produce cuando una masa de aire en movimiento se encuentra con una barrera montañosa que la obliga a elevarse y por tanto a enfriarse. Si el enfriamiento es suficiente, se produce la condensación, la formación de las nubes y la precipitación. Esto sucede en la ladera expuesta al viento o de barlovento, con lo cual en la masa de aire se reduce la cantidad de agua para el posterior descenso por sotavento. Cuando éste se inicia,

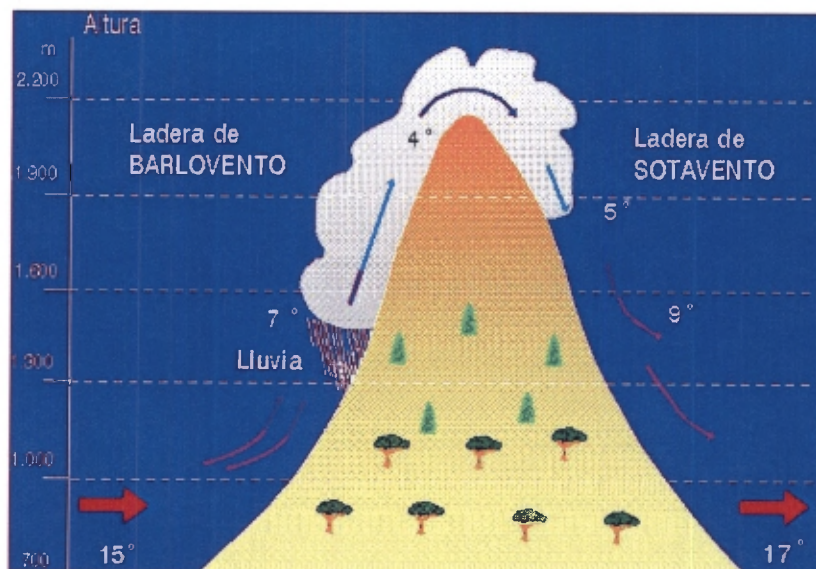
el aire comienza a calentarse produciéndose la evaporación de las gotitas nubosas, pero la masa de aire tiene menos cantidad de agua que en el ascenso y no puede contrarrestar dicho calentamiento, esto provoca que la base de la nube a sotavento esté más alta que a barlovento.

En una atmósfera sin nubes, cuando se desplaza una corriente de aire y encuentra relieve, experimenta una elevación. Esta elevación provoca un enfriamiento por expansión. En un aire seco, el enfriamiento es de 1 °C por cada 100 m, mientras que en aire saturado (nuboso) es de 0,5 °C.

Una nube para que pueda formarse a barlovento depende de la amplitud del ascenso (a la altura de la montaña respecto al valle) y de la humedad de la masa de aire. Cuando las condiciones se prestan para esto (viento fuerte, humedad alta, obstáculo suficiente), la nube llega a ser tan importante que produce precipitaciones. Una vez pasada la cresta de la orografía la masa de aire contiene menos agua (en forma de vapor, de cristales, de gotas y gotitas) que la que tenía en el momento de abordar las primeras pendientes. Más allá de la línea de crestas, el aire intenta volver a su nivel inicial, por lo que desciende hacia el valle, arrastrando la nube consigo. Pero este descenso lleva asociada una compresión (la presión aumenta hacia abajo) y en consecuencia un calentamiento.

El efecto Foehn es el contraste entre un tiempo lluvioso, fresco, con un techo de nubes bajo y una mala visibilidad en la vertiente de barlovento y un tiempo seco y cálido, soleado muchas veces y con una perfecta visibilidad a sotavento.

Figura 09. Efecto Foehn: influencia de la orografía, (www.meteored.com).



2.2.3.6 Forzamiento orográfico

Según Queney (1970) a nivel de mesoescala la orografía puede interactuar con la atmósfera de forma tal que se produzca precipitación orográfica, en este sentido las precipitaciones ocurrirían producto de la formación nubosa, que tuvo su origen en el ascenso forzado del aire por la presencia de un obstáculo orográfico, esto hace que la cantidad de lluvia en las regiones que contienen montañas se incremente.

Poveda y Mesa (1997) encontraron que uno de los principales mecanismos de control de la distribución espacial de la precipitación sobre los trópicos de América del Sur es precisamente la presencia de la cadena montañosa de los Andes.

Goldbrunner (1984) postula que el ascenso forzoso del aire en la vertiente sureste de la Cordillera Andina origina altos índices pluviométricos durante todo el año, y por tal motivo el período de lluvias en esta zona también se extiende a todos los meses del año.

Velásquez (2000) sugiere que la orografía parece tener un efecto importante en la distribución espaciotemporal de las precipitaciones en la región noroeste de Venezuela, mencionando el hecho de que la interacción de la Cordillera de los Andes venezolanos con

2.2.3.7 Otros fenómenos

2.2.3.7.1 Sistemas convectivos de mesoescala

Fueron definidos por Maddox (1980), la formación de estos sistemas es a menudo acompañada por forzamientos en la escala sinóptica y considerable inestabilidad termodinámica.

Dependiendo de esa inestabilidad, la distribución vertical de humedad y de las características del perfil vertical de viento, los sistemas convectivos de mesoescala pueden tener una variedad de apariencias en las imágenes de satélite y de radar.

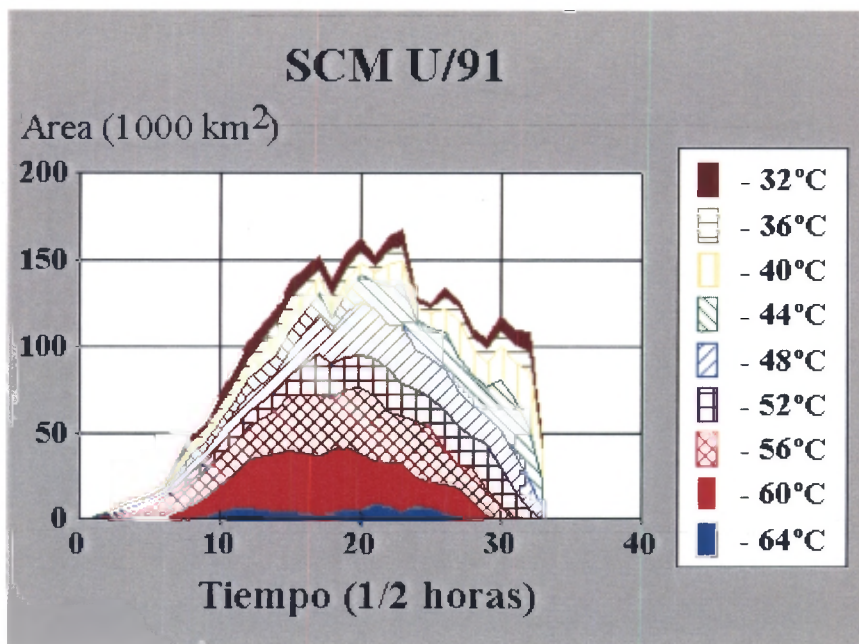
2.2.3.7.1. Descripción general de los sistemas convectivos de mesoescala

2.2.3.7.1.1 Ciclo de vida de los sistemas convectivos

Se han definido, la mayoría de veces de una manera arbitraria, diferentes fases de este ciclo de vida. Así, Maddox (1980) distingue cuatro fases en el ciclo de vida de los sistemas convectivos de mesoescala: génesis, desarrollo, madurez y disipación. La transición de una fase a otra se define por la superación de ciertos umbrales arbitrarios en las áreas consideradas. Cotton et al. (1989) también utiliza un ciclo de vida para los sistemas convectivos de mesoescala marcado por tres puntos arbitrarios:

- Inicio: cuando el área de $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ supera los 50.000 km^2 .
- Máximo: momento de máxima extensión del área de $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Disipación: cuando el área de $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ cae por debajo de los 50.000 km^2 .

Figura 10. Gráfica que muestra el área de extensión de los sistemas convectivos, junto con el tiempo de duración y la temperatura, (www.inm.es).



Entre estos tres puntos sitúan las fases de crecimiento (entre inicio y máximo) y decaimiento (máximo y disipación). McAnelly y Cotton (1989) subdividen incluso estas últimas fases en cuatro sub-períodos. En otros trabajos se consideran umbrales variables (también arbitrarios) dependiendo de la definición de sistemas convectivos de mesoescala que se utilice, pero de manera general, y como denominador común, se suele distinguir al menos tres fases en el ciclo de vida:

2.2.3.7.1.2 Desarrollo o crecimiento

En la fase de crecimiento predominan los desarrollos convectivos fuertes (Zipser, 1977) y en las imágenes de satélite se observa un crecimiento más o menos rápido de todas las áreas (bajo diferentes isotermas).

2.2.3.7.1.3 Madurez

En la fase de madurez comienzan a declinar los toques más fríos y, aunque aún se registra convección profunda, se desarrolla un movimiento ascendente de mesoescala en

niveles medios que contribuye a la expansión de la nubosidad estratiforme con topes más cálidos.

2.2.3.7.1.4 Disipación

Por último la fase de disipación viene marcada por el decaimiento de la convección activa al tiempo que el escudo nuboso de tipo estratiforme y con topes más cálidos aún puede persistir durante un cierto tiempo.

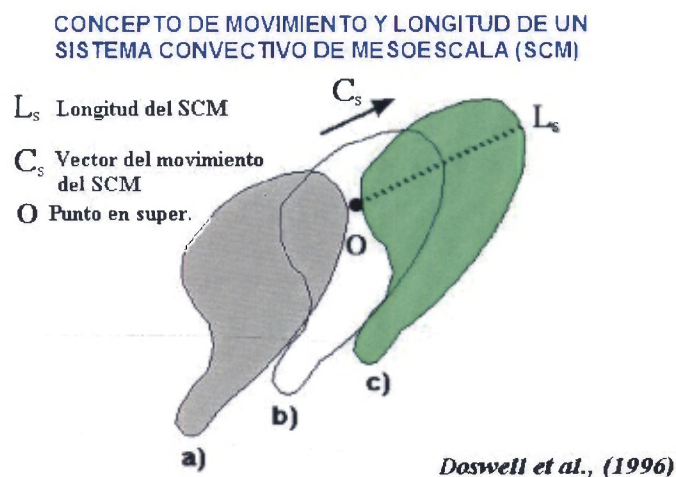
El tiempo o duración, (T), que afecta un sistema convectivo de mesoescala a un punto de la superficie, O, depende de varios factores, a saber:

- La forma y organización del sistema convectivo de mesoescala.
- La velocidad con que se desplace el sistema.
- La posición relativa del punto respecto a la estructura general del sistema.

Este último punto obliga a introducir el concepto de duración relativa de un sistema convectivo de mesoescala sobre un punto en superficie; concepto que es independiente de la duración o ciclo de vida del sistema convectivo de mesoescala en sí.

En la figura 11 se puede ver un esquema de sistema convectivo de mesoescala asimétrico, en diferentes instantes (a, b, c), desplazándose a una velocidad C_s y sin que experimente un cambio de forma.

Figura 11. Movimiento de un sistema convectivo de mesoescala, (www.inm.es).



2.2.3.7.2 Duración relativa de un sistema convectivo

La duración, desde que el sistema convectivo de mesoescala comienza a afectar al punto en superficie "O" hasta que deja de afectarlo, está representada por el cociente entre la longitud relativa del sistema convectivo en "O", y la velocidad de desplazamiento, C_s .

Es fácil ver que la duración y la longitud son conceptos relativos, variando de un observador a otro. Basta tomar uno situado en una posición más meridional para ver que los efectos son diferentes.

2.2.3.7.3 Tamaño:

- A. La cobertura nubosa debe mantenerse con una temperatura del infrarrojo (IR) del cuerpo negro $T_{bb} < -32^{\circ}\text{C}$ en un área mayor o igual a 100.000 km^2 .
- B. La región interior de la nube debe mantenerse con una temperatura $T_{bb} < -52^{\circ}\text{C}$ en un área mayor o igual a 50.000 km^2 .

2.2.3.7.4 Iniciación:

Puede considerarse iniciado cuando cumplen con las condiciones A y B.

2.2.3.7.5 Duración:

El tamaño definido en A y B debe mantenerse por un periodo de 6 horas o tal vez más.

2.2.3.7.6 Máxima extensión:

Nubes contiguas con el tope frío (IR temperatura menor o igual a 241 K), se observan cuando alcanzan su máximo tamaño.

2.2.3.7.7 Forma:

Excentricidad (eje menor / eje mayor) mayor o igual a 0,7 en el tiempo de máxima extensión.

2.2.3.7.8 Terminación:

Cuando las definiciones A y B no sean satisfechas.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Recolección y análisis de la información

Se consultaron fuentes primarias y secundarias, las cuales se describen a continuación:

3.1.1 Fuentes primarias

Los datos de las principales variables meteorológicas (temperatura, viento, humedad, presión y precipitación) fueron proporcionados por el Servicio de Meteorología de la Aviación, que desde su fundación en el año 1947 ha sido el ente responsable en brindar la información meteorológica y climática a la aviación en Venezuela.

Se eligieron 18 estaciones meteorológicas que son estaciones que se encuentran ubicadas dentro de la región Noroccidental, y región de los Andes. (Ver tabla 02).

El uso de las imágenes infrarrojas y del canal visible del satélite GOES, con una resolución temporal de 1 hora y espacial de 8 km ha sido fundamental para el estudio y seguimiento de los sistemas convectivos, que dieron lugar a estos eventos extremos de precipitación, las imágenes fueron obtenidas gracias al Programa de Investigación en Aplicaciones Satelitales, Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica, que se desarrolla en conjunto con CIRA (Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, por sus siglas en inglés), Universidad de Colorado.

Tabla 02. Estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación, utilizadas en este estudio, (Tomado de la distribución de redes meteorológicas del Servicio de Meteorología de la Aviación, para la región Noroccidental y región de los Andes, 1947).

		IND.	LATITUD	LONGITUD	ELEV.
Nº	ESTACIÓN	INTL.	°N	°W	msnm.
1	Acarigua	80427	09. 33	69. 14	226
2	Barinas	80440	08. 37	70. 13	204
3	Barquisimeto	80410	10. 14	69. 19	613
4	Coro	80403	11. 25	69. 41	16
5	El Vigía	80437	08. 38	71. 39	103
6	Maracaibo	80407	10. 14	71. 44	65
7	Mérida	80438	08. 36	71. 11	1479
8	San Antonio del Táchira	80447	07. 51	72. 27	377
9	Santo Domingo	80475	07. 35	72. 04	328
10	Valera	80426	09. 21	70 37	582
11	Mene Grande	80425	09. 49	70. 56	27
12	Guanare	80428	09. 05	69. 44	163
13	S.J. de los Morros	80431	09.92	67.35	429
14	Guasualito	80448	07.21	70.71	130
15	Valencia	80472	10.14	68.00	400
16	La Cañada	80476	10.28	72.14	26
17	Palmichal	80479	10.14	68.28	1000
18	San J. Colón	8092	08.07	72.21	825

Figura 12. Mapa de Venezuela con toda la red de estaciones pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación, incluyendo las utilizadas en este estudio, (Tomado de la distribución de redes meteorológicas, 1947).



3.1.2 Fuentes secundarias:

Otra fuente de información fueron los datos del reanálisis de Centro Nacional de Predicción del Ambiente, EE.UU. (NCEP) por sus siglas en inglés, para el estudio de las condiciones sinópticas de la región. Para visualizar los campos de interés se hizo uso del GRADS que es un método utilizado para graficar diferentes parámetros, en el cual el viento representa uno de estos y que se empleó en este caso en función de lograr identificar diferentes sistemas formados a nivel de la troposfera, durante ciertos días específicos que corresponden gran parte del estudio realizado. Fue necesario conocer la posición geográfica de los eventos extremos, que permitieron descubrir si se encuentran en zonas montañosas o zonas de convergencia de vientos.

3.2 Procedimiento

Inicialmente se realizó un análisis con la finalidad de describir la climatología de la región, investigando campos de interés en cuanto a precipitación, temperatura y viento. con los datos de precipitación, para ello se llevo a cabo por medio de los métodos del diagrama de la caja y el diagrama de puntos atípicos. Se buscó realizar un análisis estadístico aplicando la prueba de Mann-Kendall para la serie de precipitación en el periodo 1993-2003, con el propósito de calcular los umbrales de precipitación que identificaron los eventos extremos de precipitación en las dieciocho estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación. Una vez tenida las fechas de eventos extremos fueron consultados los registros en cuanto a los campos de temperatura, humedad y viento para ambas regiones, el análisis se complementó con el uso de los datos del radiosondeo de los días específicos realizado en la Isla de Curazao por ser la estación más al norte de Venezuela y cercana a las regiones de estudio dado a que en el país no se realiza el sondeo. Por último, los campos de la humedad relativa, el viento zonal, meridional y las anomalías de ambas componentes y el potencial de a velocidad del viento obtenidas del reanálisis fueron asociadas con los días de los eventos extremos para obtener una información más completa.

3.3 Descripción del método, de la prueba estadística Mann-Kendall

La probabilidad de W de $x_1 \leq x_w \leq x_2$ puede ser definida como la integral de la función de: densidad de probabilidad entre los límites x_1 y x_2

$$W(x_1 \leq x_w \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx . \quad (3.1)$$

De esta ecuación se observa que para una probabilidad constante W y un incremento simultáneo de densidad de probabilidad $f(x)$, la diferencia entre los límites x_1 y x_2 debe decrecer y viceversa. En una muestra ordenada en forma ascendente, la magnitud de la diferencia entre valores adyacentes es inversamente proporcional a la probabilidad de la ocurrencia de los valores de la muestra. Por lo tanto, el límite de una región de valores

extremos puede ser definido como el punto en el cual los cambios de las diferencias de una región parcial son significativamente diferentes de aquellos de la región restante de las series diferenciales. Este es el punto donde una tendencia comienza. Es así como la definición de una región de valores extremos es reducida a la estimación del comienzo de una tendencia dentro de la serie diferencial de la muestra ordenada.

Para demostrar que la región de valores extremos es significativamente diferente de la serie restante, puede usarse una prueba estadística usual. El punto donde evidentemente se desarrolla una tendencia puede ser encontrado mediante la versión secuencial de la prueba MANN-KENDALL (Gerstengarbe, 1999), la cual se aplica gradualmente en dos direcciones: desde el comienzo de la serie hasta su final y viceversa. La variable de prueba definida para cada intervalo de tiempo i es:

$$t_i = \sum_k^i R_k \quad (3.2) \quad \text{donde } i = 1, 2, \dots, n-1 \text{ y } R_k = \text{Rango}$$

La presentación gráfica de la variable reducida para cada una de las dos direcciones y para cada intervalo de tiempo proporciona el punto a partir del cual comienza un desarrollo evidente de una tendencia:

$$u(t_i) = \frac{t_i - Et_i}{\sqrt{\sigma^2}} \quad (3.3)$$

Donde:

t_i : Variable de prueba definida para cada intervalo de tiempo i .

σ : la varianza

$$Et_i = \frac{t_i \cdot (t_i - 1)}{4} \quad (3.4) \quad (\text{valor medio})$$

$i = 2, 3, 4, \dots, n$

3.3.1 Aplicación del método en este estudio

La prueba estadística Mann-Kendall se emplea en este estudio para las series de precipitación. La cantidad inicial de valores máximos utilizados en la prueba de Mann-Kendall se definió en base al histograma de la serie de datos. Se calculó el histograma para

las 18 series de precipitación que conforman tanto la región de los Andes como la Noroccidental, respectivamente, sin tomar en cuenta la información faltante, ya que sus valores dentro de la serie estuvo por debajo del 4%, a excepción de las estaciones de Mene Grande con 10,4% y Valera con 9,2% en datos faltantes.

Se utilizó el número máximo de datos de precipitación, para el cual se empleó la prueba estadística Mann-Kendall secuencial, inicialmente se eligió con base en los resultados de los histogramas, teniendo en cuenta que se encuentren en un margen de probabilidad de ocurrencia menor al 10%.

Este número inicial de datos máximos se extrae de la serie original de valores diarios ordenados en forma ascendente.

Con base en este conjunto de valores máximos se calculan los parámetros U y U' para cada valor de la serie. Como un ejemplo, la figura 13 muestra la gráfica de U y U' para la estación pluviográfica de Mérida. El punto donde estas curvas se interceptan corresponde al punto a partir del cual se tiene un cambio de pendiente en la curva de valores máximos ordenados en forma ascendente (Ver figura 14.). Este punto corresponde al umbral que delimita la región de valores extremos. La figura 15 presenta la serie histórica de la estación de Mérida con el umbral obtenido mediante la prueba Mann-Kendall.

Para aclarar mejor lo descrito anteriormente en las figuras 13,14 y 15 se presentan a continuación una serie de gráficas hechas dentro de la prueba estadística, se tomó una estación cualquiera en este caso Mérida simplemente para ejemplificar el método empleado.

Figura 13. Parámetros U y U' de la prueba Mann Kendall secuencial, calculados para la estación de Mérida.

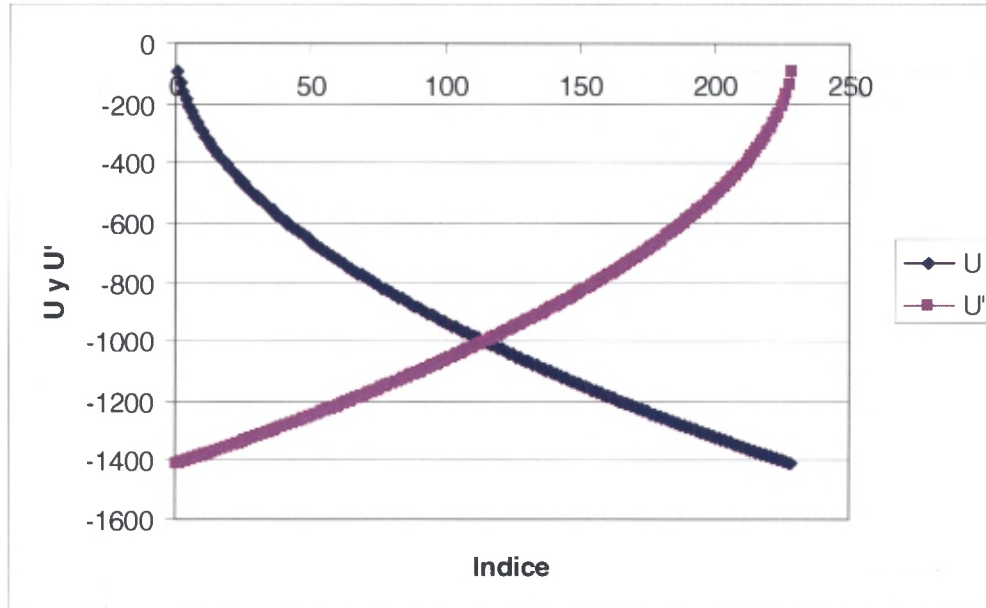


Figura 14. Serie de precipitación diaria puesta en orden ascendente, para el caso de la estación de Mérida presenta un 1,48% de probabilidad de ocurrencia y su valor limite extremo es 41,7 mm.

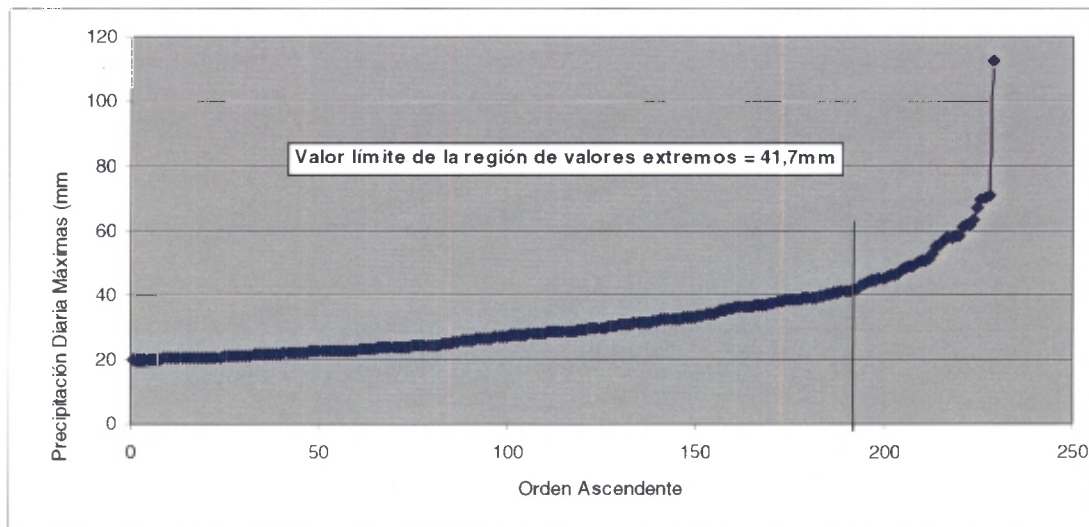
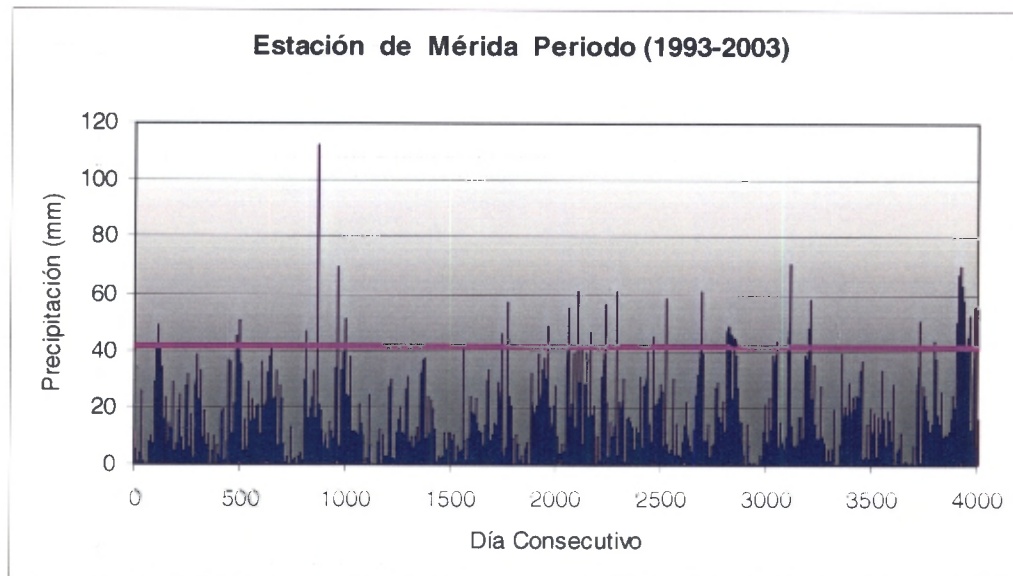


Figura 15. Serie de precipitación diaria para la estación de Mérida con el umbral de valores extremos obtenida mediante la prueba estadística de Mann-Kendall secuencial.



3.4 Diagrama de la caja (boxplot)

Según Wilks (1995), el diagrama de la caja es una herramienta gráfica ampliamente usada introducida por Tukey (1977). Es un diagrama simple de cinco cuantiles de la muestra: la mínima $x_{(1)}$; el cuartil más bajo, $q_{0,250}$, la mediana $q_{0,5}$; el cuartil superior, $q_{0,75}$; y la máxima, $x_{(n)}$. Usando estos cinco números, el diagrama de la caja esencialmente muestra una presentación rápida de la distribución de los datos subyacentes. El diagrama de la caja puede representar una gran cantidad de información desde un primer momento. La gama completa de los datos es también evidente de un vistazo.

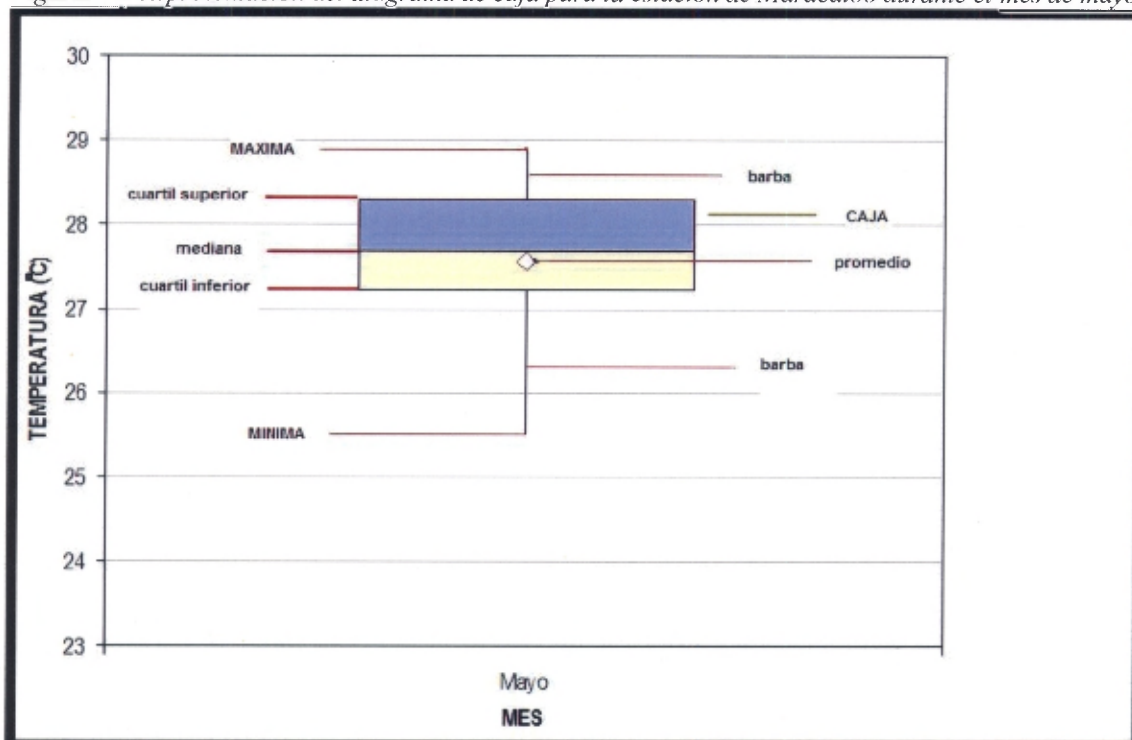
Finalmente, es posible que estos datos sean casi simétricos, especialmente para datos de temperatura, puesto que el punto medio está cerca del centro de la caja, y las barbas están de longitud comparable. En el caso de la precipitación no sucede igual, ya que la representación de la caja varía dependiendo de los datos presentes en las series, y muchas veces puede que no se conserve la simetría antes descrita.

Esta herramienta fue útil para obtener valores de la máxima, la mínima, los cuantiles, y desviación estándar que permite conocer la variabilidad tanto de la precipitación

como la temperatura. Sin embargo, un defecto del diagrama de la caja o “boxplot” consiste en que la información sobre las colas de los datos está altamente generalizada. La extensión de las “barbas” indica los valores más altos y bajos, pero no hay información acerca de los puntos de referencias dentro de los cuartos superiores e inferiores de los datos. En este caso se muestra la temperatura máxima y mínima, pero no da ninguna información en cuanto a los puntos aislados en caso de que las temperaturas sean muy elevadas o bajas al momento de ser uniformemente distribuidas dentro de los cuartiles, esto hace que el aporte de información en el análisis de eventos extremos sea nulo.

La figura 16 identifica cada uno de los componentes del “diagrama de caja”, los señala por medio de líneas, la parte superior e inferior de la caja representan los cuartiles, y la barra dibujada dentro de la caja es la mediana, las líneas o “barbas” extendidas desde los cuartiles son los valores de la máxima y mínima. El pequeño rombo puesto dentro de la caja representa el valor promedio de la serie.

Figura. 16. Representación del diagrama de caja para la estación de Maracaibo durante el mes de mayo.



En el diagrama resultante el segundo cuartil representa el cuartil inferior (en amarillo), en tanto que el tercer cuartil (en este caso en azul) será el cuartil superior. A su vez el paquete realiza el cálculo del valor promedio del parámetro con que se trabaja, finalmente elabora una tabla de datos donde se muestran los valores finales de la desviación estándar y la distribución de la serie por cuartiles ubicando cada valor en alguno de estos, según el valor que posee.

3.5 Diagrama de puntos atípicos

El diagrama de puntos atípicos es un refinamiento del “diagrama de la caja” sugerido por Tukey (1977), que presenta más detalles en las colas. Es idéntico al diagrama de la caja, con la diferencia que los puntos extremos juzgados como inusuales se representan individualmente. Los valores extremos inusuales dependen de la variabilidad intrínseca de los datos en la parte central de la muestra reflejado por los cuartiles.

A menudo es útil contar con información para tener la idea, de la temperatura inusual de los valores extremos.

El rango intercuartil (IQR, por sus siglas en inglés), constituye la medición más común y simple de la extensión, dispersión o escala de una muestra o serie. El rango representa la distancia entre el valor mayor y menor de la muestra. El rango intercuartil es simplemente la diferencia entre los cuartiles superiores e inferiores, o la distancia entre el primer y tercer cuartil, matemáticamente esto puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{IQR} = q_{0,75} - q_{0,25} \quad (3.5)$$

El rango intercuartil es un buen índice de la extensión o dispersión de una serie en la parte central de los datos, puesto que especifica simplemente la gama del 50% central de los datos. El hecho de ignorar los datos superiores y por debajo del 25% lo hace bastante robusto a los puntos atípicos conocidos como “outliers”, que representan aquellas observaciones que siendo atípicas o erróneas tienen un comportamiento muy diferente, con respecto al resto de los datos.

Un valor extremo dado se observa como más usual si los dos cuartiles están bastante separados o lejanos (si el IQR es grande), y menos usuales si los dos cuartiles se encuentran muy cerca (si el IQR es pequeño).

Las líneas divisorias entre los puntos más y menos inusuales son llamadas por Tukey como “cercas” o límites. Se definen cuatro límites o cercas: límites internos y externos, por encima y por debajo de los datos, de acuerdo a

$$3\text{- Límite superior externo} = q_{0,75} + 3\text{IQR} \quad (3.6)$$

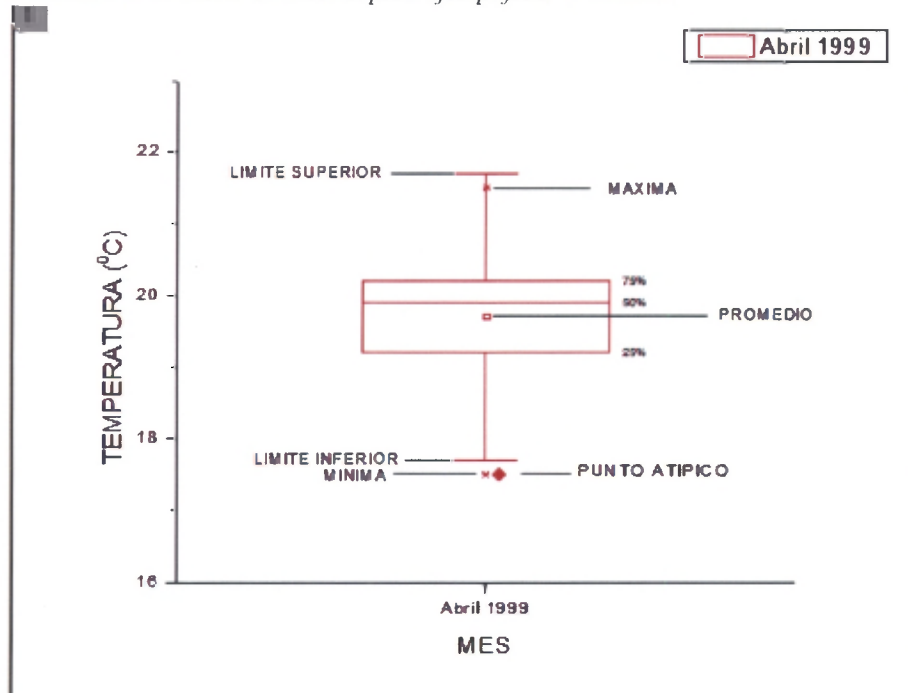
$$1\text{- Límite superior interno} = q_{0,75} + 3/2 \text{ IQR} \quad (3.7)$$

$$2\text{- Límite inferior interno} = q_{0,25} - 3/2\text{IQR} \quad (3.8)$$

$$4\text{- Límite inferior externo} = q_{0,25} - 3\text{IQR} \quad (3.9)$$

Estos límites o definiciones han sido numerados arbitrariamente, con la finalidad de facilitar el reconocimiento de cada uno de los límites, dentro de la representación de eventos extremos, que se hacen en cada uno de los diagramas.

Figura.17. Representación del diagrama de puntos atípicos (outliers), producto de la influencia de eventos extremos, se muestra la estación de Mérida para ejemplificar el método.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

En este capítulo se analizarán un gran número de datos, tomando como principales parámetros de estudio la precipitación, el viento y la temperatura en la determinación de los sistemas convectivos, apoyados en la observación de imágenes satelitales y en la medición de otros parámetros meteorológicos que favorecieron las condiciones para la formación de estos sistemas.

4.1 Investigar los patrones de precipitación, temperatura y viento con datos de diferentes estaciones meteorológicas de la región Noroccidental y de Los Andes

Las figuras 18 y 19 muestran un análisis de los datos de precipitación de nueve estaciones meteorológicas, clasificadas por regiones todas pertenecientes al Servicio de Meteorología y cuya fecha está comprendida desde enero de 1993 a diciembre del 2003 para ambas. El objetivo es obtener una climatología durante estos años, para conocer asimismo los periodos secos y lluviosos que dan origen a los sistemas convectivos.

Figura 18. Distribución promedio mensual de precipitación para la región de los Andes venezolanos en el periodo comprendido de 1993 al 2003.

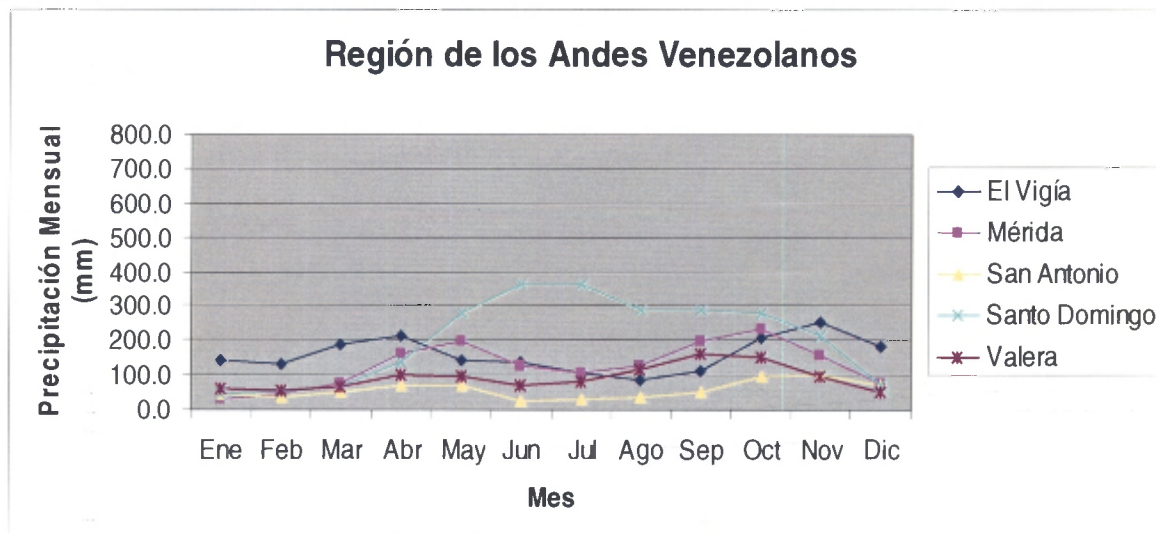
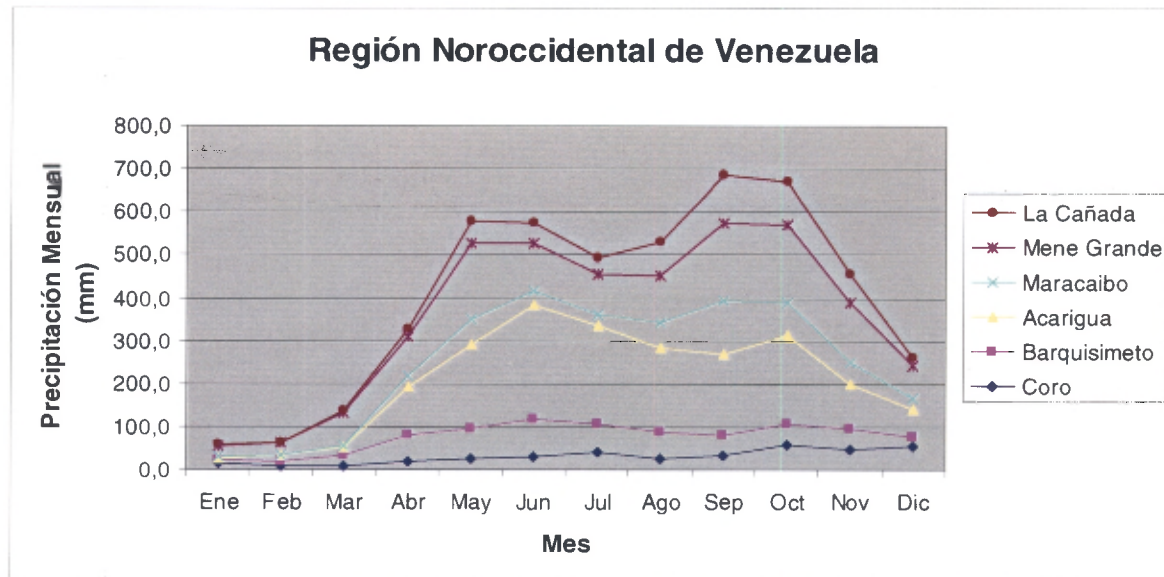


Figura 19. Distribución promedio mensual de precipitación para la región Noroccidental de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 al 2003.



Para la gráfica de la región de los Andes (figura 18) se observa un comportamiento bimodal en cuatro de las cinco estaciones que registran la medición, de los periodos de la estación lluviosa que abarca los meses de abril-mayo y octubre-noviembre, con la excepción de la estación de Santo Domingo que tiende a ser casi unimodal. Pero también se observa cierto desfase en esta distribución bimodal, producto de las estaciones lluviosas registradas en las estaciones meteorológicas presentan cierta variabilidad dependiendo de su ubicación geográfica, la época del año, entre otros factores; aunado de la efectividad que tenga la estación meteorológica de registrar los datos suficientes que puedan estimar las oscilaciones de los diferentes campos medidos en la misma. Es de resaltar, que los mínimos representados en la gráfica corresponden a los meses enero-febrero, julio-agosto; periodos que corresponden a la estación seca. Esta distribución de precipitación coincide en cuanto al tiempo con el paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), lo que intensifica la precipitación en las regiones por donde se desplaza.

Si se hace alguna descripción de cada una de las estaciones según la región en cuanto a la climatología, según los valores promedios mensuales en el periodo desde 1993-2003,

se puede notar que para las estaciones de Mérida y el Vigía la variación en sus máximos de precipitación es de aproximadamente 200mm para ambos, pero los máximos presenta un desfase de casi un mes. La causa de este efecto se debe a la topografía del terreno que diferencian a ambos lugares donde se encuentran las estaciones. El viento es otro de los factores responsables de la diferencia de distribución de precipitación, donde en la estación de Mérida las intensidades de viento casi duplican a la estación de El Vigía, lo que implica una gran interacción con la Cordillera de los Andes. Sus mínimos se registran con 100 mm para la estación de Mérida a mediados de julio, mientras que El Vigía registra 95 mm pero a mediados de agosto, y se observan nuevamente máximos para la estación de Mérida 232 mm a mediados de octubre y 254 mm en noviembre en la estación de El Vigía, lo cual resulta lógico si se observan los datos de origen de cada estación, se puede comprobar que el porcentaje de humedad en la estación de El Vigía siempre resulta ser un poco más alto al de la estación de Mérida, lo que hace posible la producción de mayor precipitación para El Vigía. En el caso de la estación de Valera, la lluvia presenta una distribución bimodal con máximos de 98.2 mm y 163.4 mm presentes a mediados de los meses de abril y septiembre, ésta estación está relativamente cercana a la estación de Mérida, pero la influencia de la orografía es mucho menor. En la estación de San Antonio la tendencia es bimodal, pero poco notable debido a la escasa presencia de precipitación registrada en el periodo indicado, con sus máximos de 90 mm y 100 mm, en los meses de mayo y noviembre respectivamente, y un mínimo de sólo 10 mm para los meses junio-julio. La estación que registra la mayor precipitación es la de Santo Domingo, con una distribución unimodal y cuyo máximo de precipitación es entre junio-julio con 360 mm, uno de los factores que esta distribución sea distinta al resto de las estaciones, se debe a la ubicación geográfica donde se encuentra la estación, con una altura de 328 m sobre el nivel del mar, la misma se ve rodeada por los Andes venezolanos y colombianos, en donde se producen interacciones de flujo provenientes de ambas partes, lo que afecta de alguna manera la climatología de esa región específica.

De igual forma la gráfica que describe la región Noroccidental (figura 19) muestra una distribución bimodal para las estaciones a excepción de la estación de Coro, cuyo

registro de precipitación es muy bajo, posiblemente debido a que estación se encuentra en una región semiárida, además que su altura sobre el nivel del mar es de 16 metros lo cual es mínima. La estación de Barquisimeto le sigue en cantidad de precipitación con los máximos 110 mm en junio y 100 mm en octubre, y sus mínimos se dan para el mes de febrero con un valor de 12 mm y septiembre con 46 mm. En cuanto a las estaciones de Maracaibo y Acarigua ambas presentan una distribución bimodal con sus máximos o estaciones lluviosas a mediados de junio, con valores de 405 mm para Maracaibo y 390 mm en la estación de Acarigua. El otro periodo de lluvia se tiene durante el mes de octubre en ambas pero con 400 mm en Maracaibo y 300 mm en Acarigua. Si se hace referencia en el periodo seco, se observa en la misma gráfica que disminuye la precipitación en la estación de Maracaibo a mediados de agosto y en Acarigua sucede lo mismo pero a mitad del mes de septiembre.

Se observa un comportamiento también bimodal de en los datos de precipitación, registrados en la estación de La Cañada, la cual presenta un máximo de 50.7 mm para el mes de mayo y el siguiente máximo de 109.4 mm en el mes de septiembre, con una disminución de la intensidad de lluvia para el mes de julio, justamente dentro de estos dos máximos. Con una distribución de precipitación y comportamiento bimodal idéntico a La Cañada inclusive para los mismos meses de cada año, se encuentra la estación de Mene Grande, donde el periodo lluvioso se presenta entre mayo-junio con una medición de 520 mm y septiembre con 580 mm de precipitación promedio. La semejanza entre estas estaciones está determinado por la cercanía o distancia horizontal que existen entre ambas estaciones, que lo hacen que presenten los mismos patrones de precipitación. Cabe destacar que ambas estaciones se encuentran ubicadas cerca del Lago de Maracaibo y debido al gran volumen de agua contenido en el lago, podría afectar directamente sus regimenes de precipitación en la zona.

De acuerdo a lo visto en estas primeras gráficas (figuras 18 y 19) que representan la precipitación, todo indica que la principal condición para la formación de sistemas convectivos se deriva de la época del año; es decir, las estaciones lluviosas coinciden con la presencia y el desplazamiento meridional de la Zona de Convergencia Intertropical

(ZCIT), constituyéndose en el primer factor responsable en la formación de vigorosa convección debido a que es una estrecha banda latitudinal con fuerte presencia de cúmulos y grandes entes nubosos, desplazándose con dirección de sur a norte. En la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) la precipitación aumenta considerablemente, la energía es obtenida de la fuerte advección de humedad suministrada por la evaporación proveniente desde el océano, además de otras regiones continentales, caracterizadas por ser muy húmedas. La influencia del viento puede ser otro factor aunque no tan determinante como la Zona de Convergencia, pero sí influye en el transporte de humedad y masas de aire a diferente temperatura que al encontrarse entre ellas interactúan intercambiando energía y provocando la condensación que hace posible la formación de sistemas convectivos.

Si se toma en cuenta que la resolución temporal de los datos es un día, se consideró apropiado realizar un análisis diario de los campos de precipitación, viento y temperatura para estudiar el comportamiento de los mismos, lo que permitiría obtener una información más exacta de la climatología de las regiones que se deseaban estudiar. El siguiente análisis se basa en la determinación de los intervalos intercuartiles de la precipitación utilizando estos datos comentados anteriormente, los intervalos intercuartiles fueron obtenidos con respecto al valor de la mediana del programa de la “caja de ploteo”, el cual lo ubica en la región del cuartil del 75% o 25% dependiendo del valor registrado de lluvia para un día específico.

Otro dato importante obtenido es la desviación estándar, la cual permite conocer la variabilidad de la precipitación según el valor resultante. También se muestran en las tablas los valores de máxima y mínima precipitación, la mediana y el valor promedio resultante de todos los datos de la serie, para las estaciones representativas de las dos regiones de estudio.

Tabla 03. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Santo Domingo (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0	1,15	5,5	4,25	3	1,6	0,7	0,4	0
75th	0	0,3	0,5	4,8	9,125	15,1	16,55	13,475	12,8	8,875	7,325	1
Máxima	51,2	34,4	104,8	143	84,5	79,5	82,4	65,2	133,1	89,2	104,4	98
Promedio	1,3	1,5	2,1	5,4	7,1	11,8	11,6	9,2	9,4	7,5	6,9	2,8
Desviación. Estándar. (SD)	5,3	4,2	8,2	14,6	12,9	16,4	16,5	13,0	17,7	14,0	13,2	8,4
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0,5
Segundo Cuartil	0	0	0	0	1,15	5	0	0	0	0	1,15	5
Tercer Cuartil	0	0,3	0,5	4,8	7,975	9,6	0	0,3	0,5	4,8	7,975	9,6
Cuarto Cuartil	51,2	34,1	104,3	138,2	75,375	64,4	51,2	34,1	104,3	138,2	75,375	64,4

Tabla 04. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de El Vigía (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0,35	0,3	0,3	0,1	0	0,2	0,2	1,1	0,2
75th	3	2,85	3,2	5,75	2,7	3,35	2,5	2	3,95	5	10,175	3,7
Máxima	65,2	75,6	96,3	169,7	83,4	64	49,4	62,1	87,4	98,2	117,1	97
Promedio	4,6	4,5	4,9	7,0	3,8	4,5	3,3	2,9	4,4	6,0	8,3	5,5
Desviación. Estándar. (SD)	10,4	11,2	12,2	16,9	9,0	9,7	7,3	8,2	10,4	13,4	14,5	12,9
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	0,35	0,3	0,3	0	0	0	0,35	0,3	0,3
Tercer Cuartil	3	2,85	3,2	5,4	2,4	3,05	3	2,85	3,2	5,4	2,4	3,05
Cuarto Cuartil	62,2	72,8	93,1	164,0	80,7	60,7	62,2	72,8	93,1	164,0	80,7	60,7

Tabla 05. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Mérida (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	1	1.1	1.7	0.8	0.8	1.7	2.2	0.5	0
75th	0.4	0.75	1.4	7.175	7.35	6.8	3.2	4.45	10.325	10	7.275	2.1
Máxima	30.6	56.7	51	61.1	112.4	43.4	70.4	69.6	69.8	62.8	58.2	55.1
Promedio	1.1	1.7	2.5	5.7	6.2	4.4	3.2	4.0	7.0	7.5	5.0	2.8
Desviación. Estándar. (SD)	3.6	5.1	6.4	9.7	11.8	6.5	6.4	7.4	11.2	11.8	9.1	6.4
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	1	1.1	1.7	0	0	0	1	1.1	1.7
Tercer Cuartil	0.4	0.8	1.4	6.2	6.3	5.1	0.4	0.8	1.4	6.2	6.3	5.1
Cuarto Cuartil	30.2	56.0	49.6	53.9	105.1	36.6	30.2	56.0	49.6	53.9	105.1	36.6

Tabla 06. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Valera (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0.05	0	0	0	0.05	0.5	0.7	0	0
75th	0.2	0.5	0.3	3.125	1.9	1.525	1.675	2.875	6.4	5.975	1.525	0.475
Máxima	44.8	48.9	52.3	73.0	44.6	61.0	44.1	68.0	115.4	88.2	60.1	39.3
Promedio	2.2	1.9	1.8	4.0	2.9	2.6	2.6	3.9	5.7	5.3	2.7	1.5
Desviación. Estándar. (SD)	6.6	5.8	6.2	9.0	6.8	7.4	6.4	9.0	11.9	10.2	6.9	4.7
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	0.05	0	0	0	0	0	0.05	0	0
Tercer Cuartil	0.2	0.5	0.3	3.1	1.9	1.5	0.2	0.5	0.3	3.1	1.9	1.5
Cuarto Cuartil	44.6	48.4	52.0	69.9	42.7	59.5	44.6	48.4	52.0	69.9	42.7	59.5

Tabla 07. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Barquisimeto (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0	0	0.25	0.1	0	0	0	0	0
75th	0	0	0	0.275	1.1	3	1.9	1	0.4	0.6	0.3	0
Máxima	16.6	32.2	70.4	74.1	58.3	33.1	24.8	68.6	59.2	50.8	60.1	55.4
Promedio	0.2	0.4	0.8	2.0	1.9	2.9	1.9	1.9	1.7	1.6	1.7	1.1
Desviación. Estándar. (SD)	1.4	2.3	4.5	6.4	5.3	5.7	4.1	6.5	5.2	5.3	5.8	4.8
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0.25
Tercer Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	2.8
Cuarto Cuartil	16.6	32.2	70.4	73.8	57.2	30.1	16.6	32.2	70.4	73.8	57.2	30.1

Tabla 08. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de La Cañada (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
75th	0	0	0	0	0	0.4	0.1	0.5	2	1.3	0	0
Máxima	16.7	5.3	27.1	21.2	80.6	41.1	40.8	47.9	103.0	83.2	103.8	46.7
Promedio	0.1	0.0	0.2	0.6	1.5	1.5	1.1	2.8	3.9	3.1	1.8	0.8
Desviación. Estándar. (SD)	1.1	0.4	1.9	2.7	7.0	5.1	3.8	7.8	11.0	9.2	8.9	4.6
Primer Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segundo Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tercer Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Cuarto Cuartil	16.7	5.3	27.1	21.2	80.6	40.7	16.7	5.3	27.1	21.2	80.6	40.7

Tabla 09. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Mene Grande (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.4	0.5	0	0
75th	0	0	0	2.4	3.6	2.1	2.1	2.7	5.375	4.8	2.6	0.6
Máxima	32.4	41.5	98.4	92.7	119.1	80.6	58.5	81.1	88.7	81.4	103.8	52.5
Promedio	1.2	1.4	2.3	3.5	5.6	3.8	3.0	3.6	6.0	5.6	4.7	2.7
Desviación. Estándar. (SD)	4.8	5.3	9.8	9.5	14.6	9.7	7.0	9.6	11.7	11.9	12.2	7.5
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0
Tercer Cuartil	0	0	0	2.4	3.5	2.1	0	0	0	2.4	3.5	2.1
Cuarto Cuartil	32.4	41.5	98.4	90.3	115.5	78.5	32.4	41.5	98.4	90.3	115.5	78.5

Tabla 10. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Acarigua (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25th	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	0	0	0	0	0.5	3.1	3	1.3	0.3	0	0	0
75th	0	0	0	1.4	5.2	11.5	10.8	8.2	6.625	4.2	0.7	0
Máxima	7	27.1	37.1	78.7	108.7	143.2	123.3	110.4	89.9	143.4	72.8	87
Promedio	0.1	0.3	0.8	3.6	5.4	8.6	7.7	6.7	5.6	6.2	2.8	1.6
Desviación. Estándar. (SD)	0.5	2.3	3.6	9.9	12.1	14.8	12.4	12.5	11.2	15.5	8.2	7.0
Primer Cuartil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Segundo Cuartil	0	0	0	0	0.5	3.1	0	0	0	0	0.5	3.1
Tercer Cuartil	0	0	0	1.4	4.7	8.4	0	0	0	1.4	4.7	8.4
Cuarto Cuartil	7	27.1	37.1	77.3	103.5	131.7	7	27.1	37.1	77.3	103.5	131.7

Tabla 11. Datos de la distribución intercuartil de datos de precipitación para la estación de Palmichal (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25th	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mediana	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.3	1.4	0.6	0.4	0.4	0.2	0.0
75th	0.3	0.6	0.6	2.675	1.6	6.175	5	3.3	4.6	5	2.2	1.2
Máxima	31.90	48.10	74.90	84.10	48.90	75.90	82.30	43.20	56.60	65.80	70.40	106.40
Promedio	0.8	1.1	1.4	4.4	2.6	4.8	4.4	3.2	3.8	4.4	3.0	2.7
Desviación. Estándar. (SD)	3.0	4.6	5.5	11.3	6.5	8.3	8.2	6.0	7.6	8.6	7.4	9.0
Primer Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Segundo Cuartil	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.3
Tercer Cuartil	0.3	0.6	0.6	2.5	1.4	4.9	0.3	0.6	0.6	2.5	1.4	4.9
Cuarto Cuartil	31.6	47.5	74.3	81.4	47.3	69.7	31.6	47.5	74.3	81.4	47.3	69.7

Debido a que se han usado valores diarios de lluvia, existe un gran porcentaje con precipitación general de 0 mm, lo que indica que esos días o no hubo presencia de precipitación o se registraron trazas en los valores del pluviógrafo. Al efectuar el cálculo de los intervalos intercuartiles, la tendencia de ceros es muy grande, por lo que se aprecia que los valores mínimos se encuentran alrededor de cero; de esta manera, los valores de la desviación estándar se ven afectados enormemente en cada serie de precipitación, incluso el hecho de la gran diferencia existente entre los valores máximos y mínimos de lluvia presentes en la serie afecta la exactitud de los datos resultantes.

En el estudio de la temperatura se hace una representación gráfica de los intervalos intercuartiles, mostrándose además los valores de máxima y mínima temperatura, la mediana y el valor promedio de temperatura para cada uno de los meses, el análisis se hace con los datos diarios de temperatura de la serie que se introducen en el programa estadístico de la “caja de ploteo” y se complementan los datos obtenidos en cada una de las gráficas con una tabla que contiene los valores de la desviación estándar; de esta manera se puede conocer la variación de la temperatura en el periodo 1993-2003.

Los intervalos intercuartiles están representados con respecto al valor de la mediana dentro de la serie de temperatura de los 10 años.

Figura 20. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Santo Domingo (1993-2003).

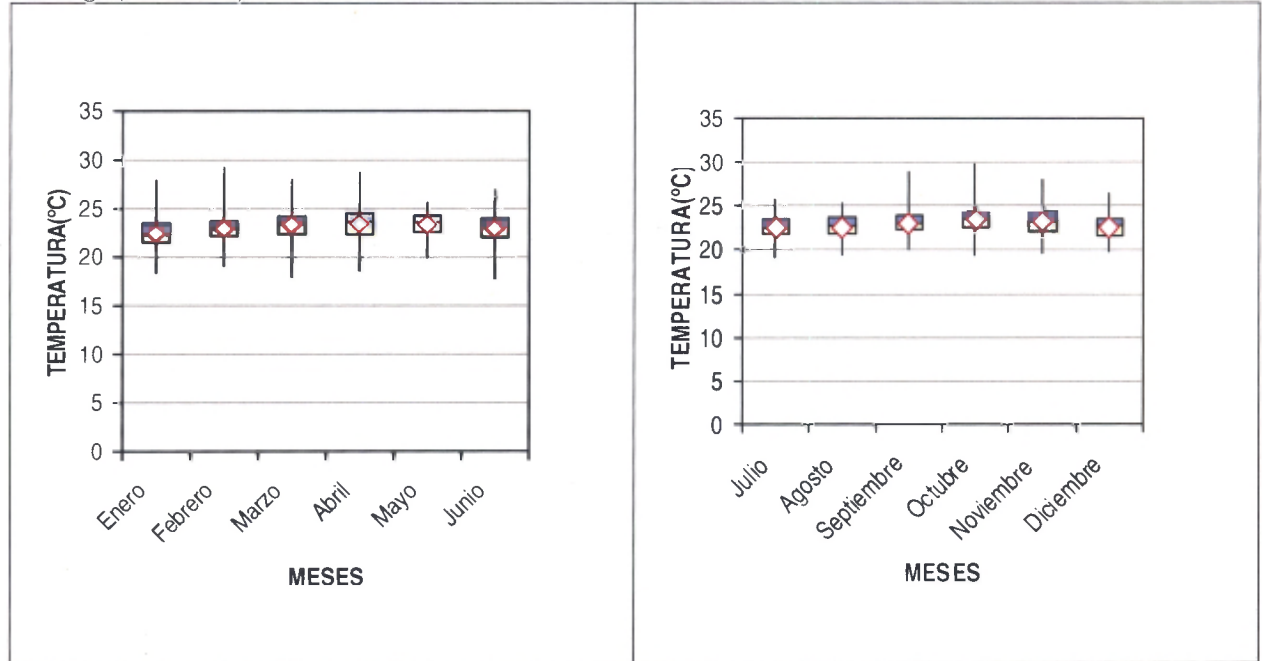


Tabla 12. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Santo Domingo (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	18.4	19.1	18.6	18.6	20	17.7	19.1	19.4	20	19.4	19.6	19.9
25th	21.5	22.2	22.4	22.4	22.6	22.1	21.8	21.9	22.3	22.6	22.2	21.6
Mediana	22.3	22.9	23.4	23.65	23.6	23.2	22.6	22.7	23.1	23.5	23.2	22.7
75th	23.5	23.7	24.2	24.5	24.3	24	23.4	23.6	23.9	24.4	24.3	23.4
Máxima	27.9	29.2	28.8	28.8	25.6	26.9	25.7	25.4	29	29.9	28.1	26.5
Promedio	22.5	23.0	23.4	23.5	23.4	23.0	22.6	22.7	23.1	23.5	23.2	22.6
Desviación. Estándar. (SD)	1.5	1.5	1.7	1.8	1.1	1.4	1.2	1.2	1.1	1.4	1.5	1.3
Primer Cuartil	3.1	3.1	4.4	3.8	2.6	4.4	3.1	3.1	4.4	3.8	2.6	4.4
Segundo Cuartil	0.8	0.7	1	1.25	1	1.1	0.8	0.7	1	1.25	1	1.1
Tercer Cuartil	1.2	0.8	0.8	0.85	0.7	0.8	1.2	0.8	0.8	0.85	0.7	0.8
Cuarto Cuartil	4.4	5.5	3.8	4.3	1.3	2.9	4.4	5.5	3.8	4.3	1.3	2.9

Figura 21. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de San Antonio (1993-2003).

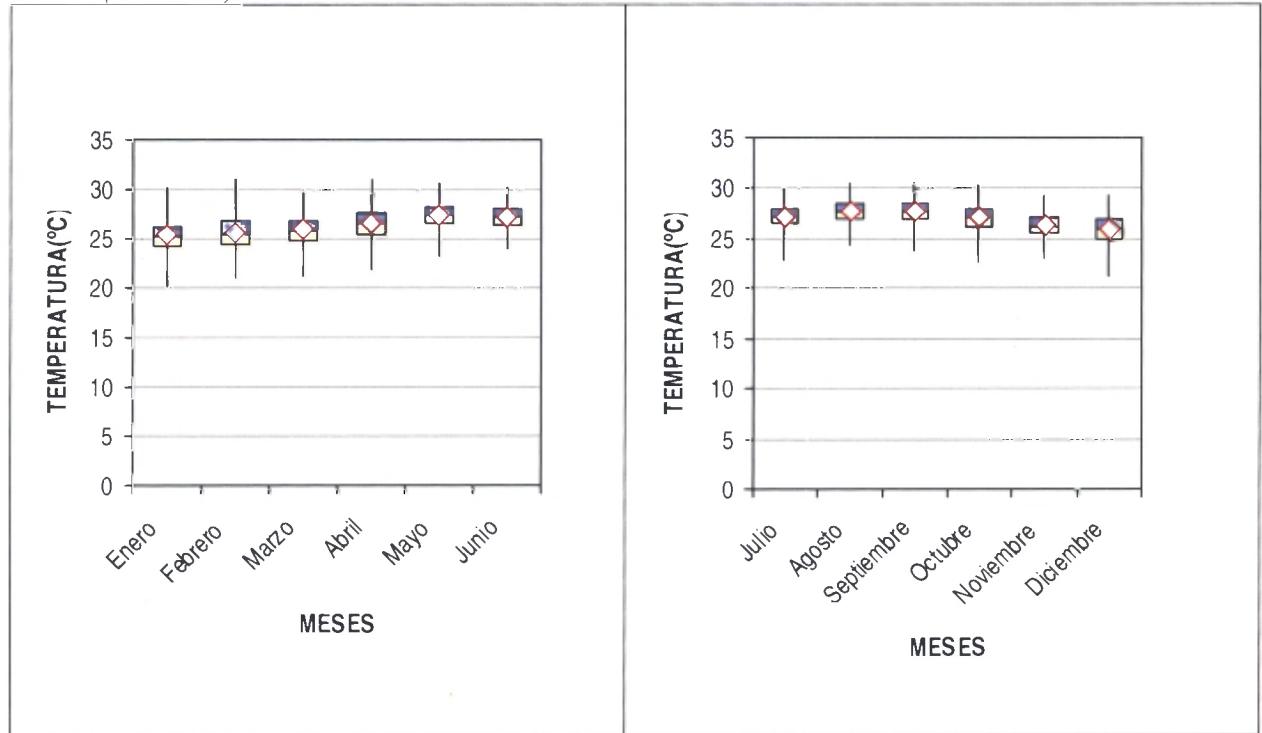


Tabla 13. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de San Antonio (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	20.2	21.1	21.3	21.9	23.2	24.0	22.8	24.4	23.8	22.6	23.0	21.2
25th	24.3	24.4	24.9	25.4	26.6	26.4	26.5	26.9	27.0	26.2	25.5	24.9
Mediana	25.2	25.5	25.8	26.6	27.5	27.3	27.2	27.7	27.7	27.1	26.1	26.0
75th	26.2	26.8	26.9	27.7	28.3	28.1	28.0	28.5	28.5	28.0	27.1	27.0
Máxima	30.2	31.0	29.7	31.0	30.7	30.2	29.8	30.5	30.4	30.2	29.2	29.3
Promedio	25.3	25.6	25.9	26.5	27.4	27.3	27.1	27.7	27.6	27.1	26.3	25.9
Desviación. Estándar. (SD)	1.7	1.7	1.6	1.6	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.2	1.4
Primer Cuartil	4.1	3.3	3.6	3.5	3.4	2.5	4.1	3.3	3.6	3.5	3.4	2.5
Segundo Cuartil	0.9	1.1	0.9	1.3	0.9	0.9	0.9	1.1	0.9	1.3	0.9	0.9
Tercer Cuartil	1.0	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8	1.0	1.3	1.1	1.0	0.8	0.8
Cuarto Cuartil	4.0	4.2	2.8	3.3	2.4	2.1	4.0	4.2	2.8	3.3	2.4	2.1

Figura 22. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de El Vigía (1993-2003).

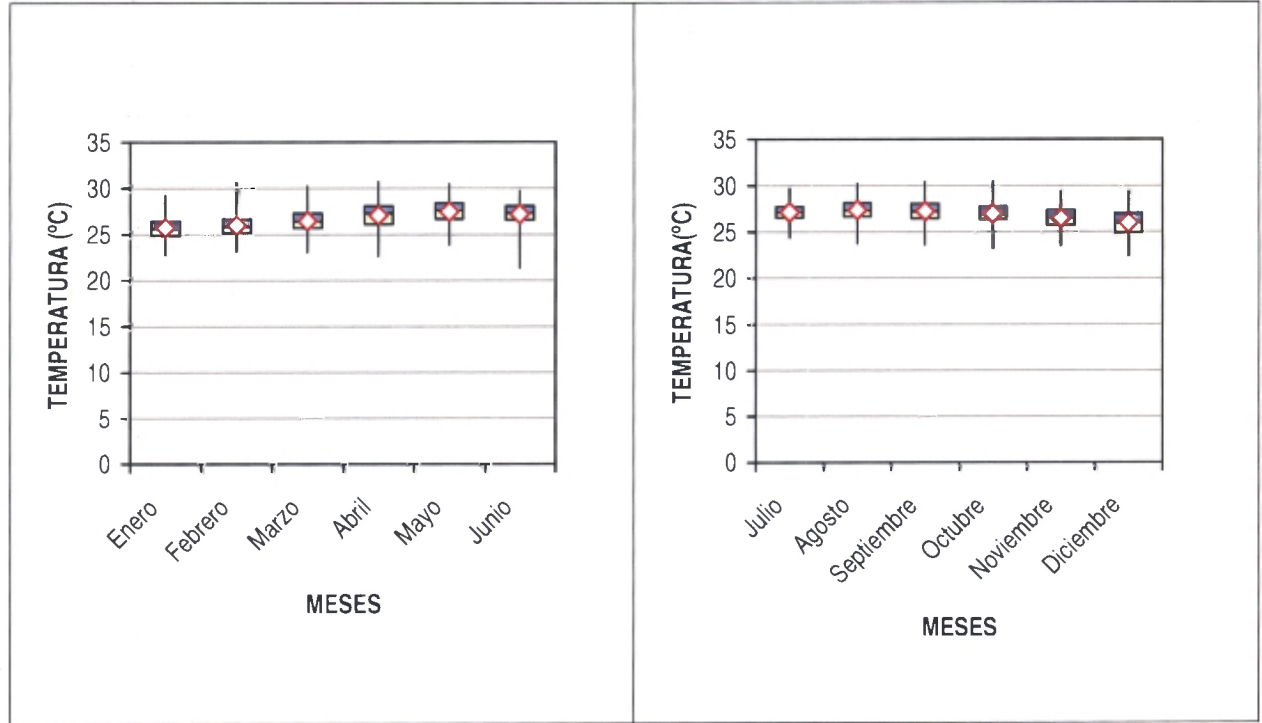


Tabla 14. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de El Vigía (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	22.8	23.2	23.1	22.7	23.9	21.4	24.4	23.8	23.7	23.3	23.6	22.5
25th	24.9	25.2	25.7	26.1	26.7	26.6	26.5	26.6	26.4	26.3	25.7	24.9
Mediana	25.6	25.8	26.4	27.3	27.6	27.3	27.1	27.3	27.2	26.9	26.5	25.9
75th	26.4	26.7	27.3	28.1	28.4	28.1	27.7	28.1	28.0	27.7	27.3	27.0
Máxima	29.2	30.6	30.2	30.7	30.4	29.7	29.7	30.2	30.4	30.5	29.5	29.5
Promedio	25.8	26.0	26.5	27.1	27.5	27.2	27.1	27.4	27.2	27.0	26.5	26.0
Desviación. Estándar. (SD)	1.3	1.3	1.3	1.4	1.3	1.1	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Primer Cuartil	2.1	2.0	2.6	3.4	2.8	5.2	2.1	2.0	2.6	3.4	2.8	5.2
Segundo Cuartil	0.7	0.6	0.7	1.2	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	1.2	0.9	0.7
Tercer Cuartil	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
Cuarto Cuartil	2.8	3.9	2.9	2.6	2.0	1.6	2.8	3.9	2.9	2.6	2.0	1.6

Figura 23. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mérida (1993-2003).

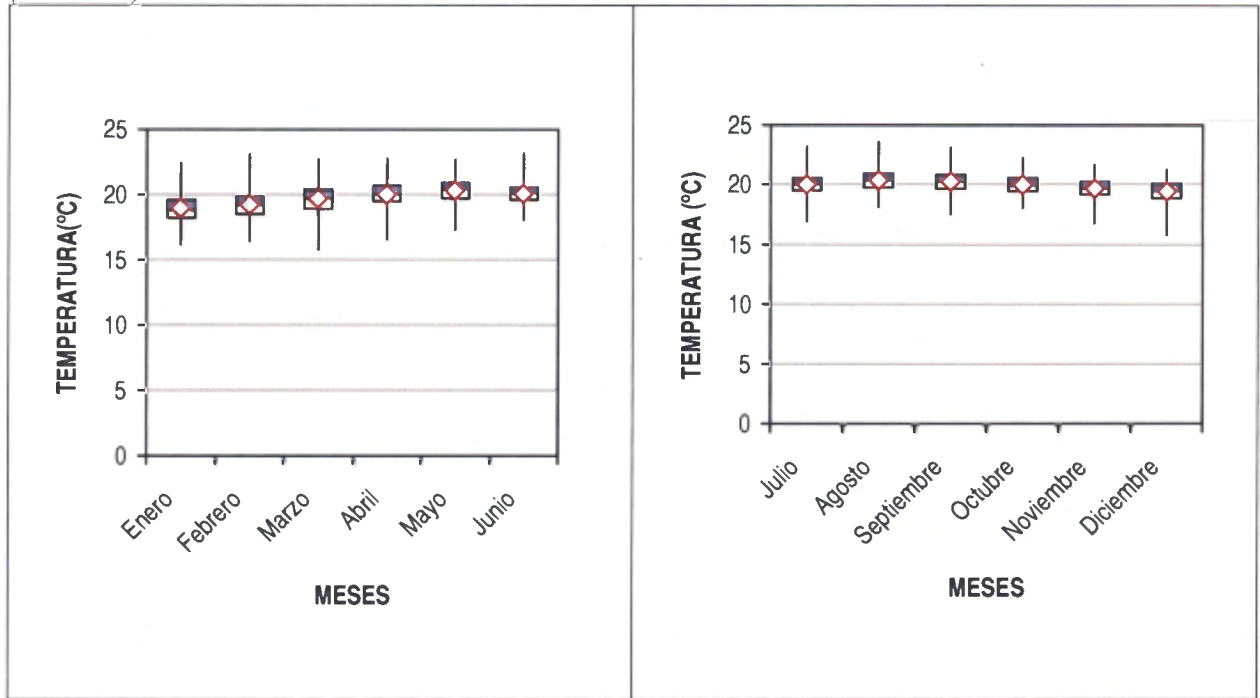


Tabla 15. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mérida (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	16.2	16.4	15.8	16.6	17.3	18.1	16.9	18.1	17.5	18.0	16.7	15.7
25th	18.2	18.5	18.9	19.5	19.7	19.6	19.5	19.7	19.6	19.4	19.1	18.8
Mediana	18.8	19.2	19.7	20.0	20.4	20.1	20.0	20.3	20.2	19.9	19.6	19.4
75th	19.6	19.8	20.4	20.7	20.9	20.5	20.5	20.9	20.8	20.5	20.2	20.0
Máxima	22.4	23.1	22.7	22.8	22.7	23.2	23.2	23.5	23.1	22.2	21.6	21.2
Promedio	19.0	19.2	19.7	20.0	20.3	20.1	20.0	20.4	20.2	20.0	19.6	19.4
Desviación. Estándar. (SD)	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9
Primer Cuartil	2.1	2.1	3.1	2.9	2.4	1.5	2.1	2.1	3.1	2.9	2.4	1.5
Segundo Cuartil	0.6	0.7	0.8	0.5	0.7	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.7	0.5
Tercer Cuartil	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5	0.4	0.8	0.6	0.7	0.7	0.5	0.4
Cuarto Cuartil	2.8	3.3	2.3	2.1	1.8	2.7	2.8	3.3	2.3	2.1	1.8	2.7

Figura 24. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Valera (1993-2003).

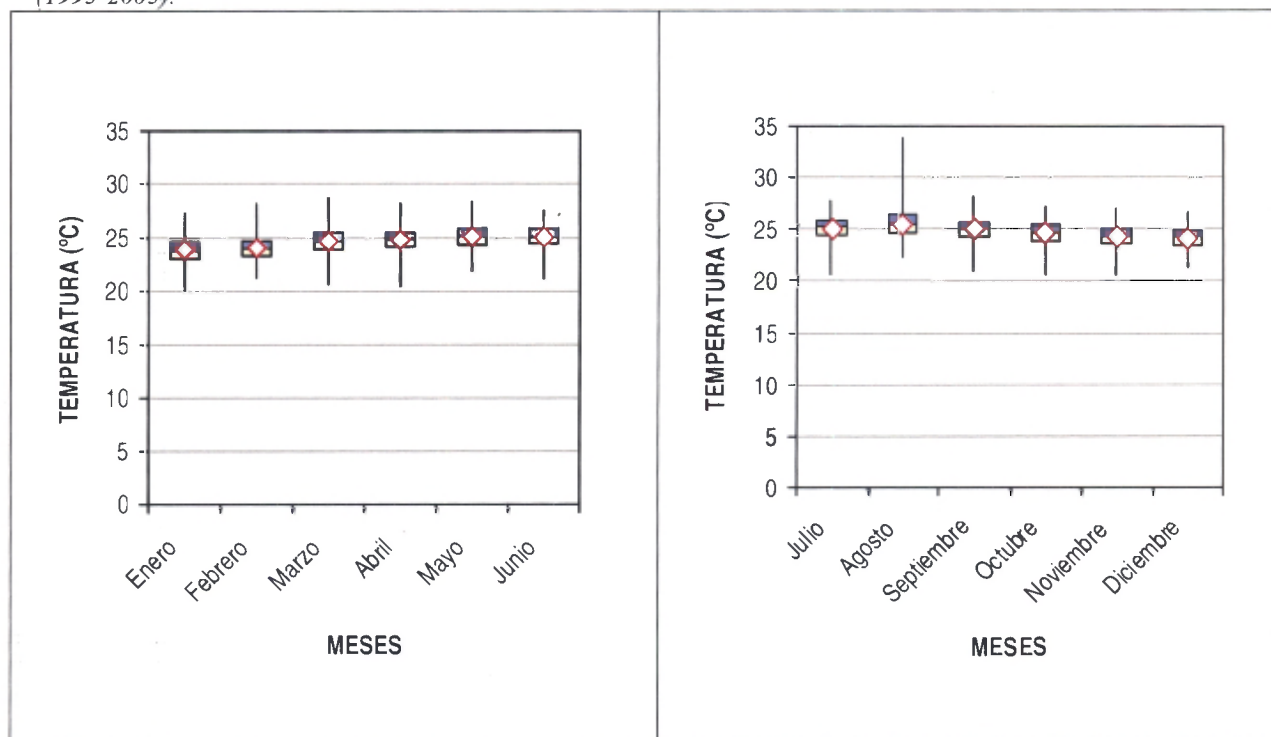


Tabla 16. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Valera (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	20.1	21.3	20.7	20.5	21.9	21.2	20.6	22.3	21.1	20.7	20.7	21.4
25th	23.1	23.3	23.9	24.2	24.4	24.5	24.4	24.7	24.3	23.9	23.8	23.5
Mediana	23.8	24.0	24.7	24.9	25.2	25.1	25.3	25.5	25.0	24.7	24.3	24.2
75th	24.6	24.7	25.5	25.5	25.9	25.9	25.9	26.3	25.7	25.4	25.0	24.9
Máxima	27.3	28.1	28.7	28.1	28.3	27.5	27.7	33.9	28.1	27.2	27.0	26.5
Promedio	23.9	24.1	24.7	24.9	25.2	25.1	25.1	25.4	25.0	24.6	24.4	24.2
Desviación. Estándar. (SD)	1.2	1.3	1.3	1.1	1.1	1.0	1.2	1.2	1.1	1.1	0.9	1.0
Primer Cuartil	3.0	2.0	3.2	3.7	2.5	3.3	3.0	2.0	3.2	3.7	2.5	3.3
Segundo Cuartil	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6
Tercer Cuartil	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	0.7	0.8
Cuarto Cuartil	2.7	3.4	3.2	2.6	2.4	1.6	2.7	3.4	3.2	2.6	2.4	1.6

Figura 25. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para estación de Coro (1993-2003).

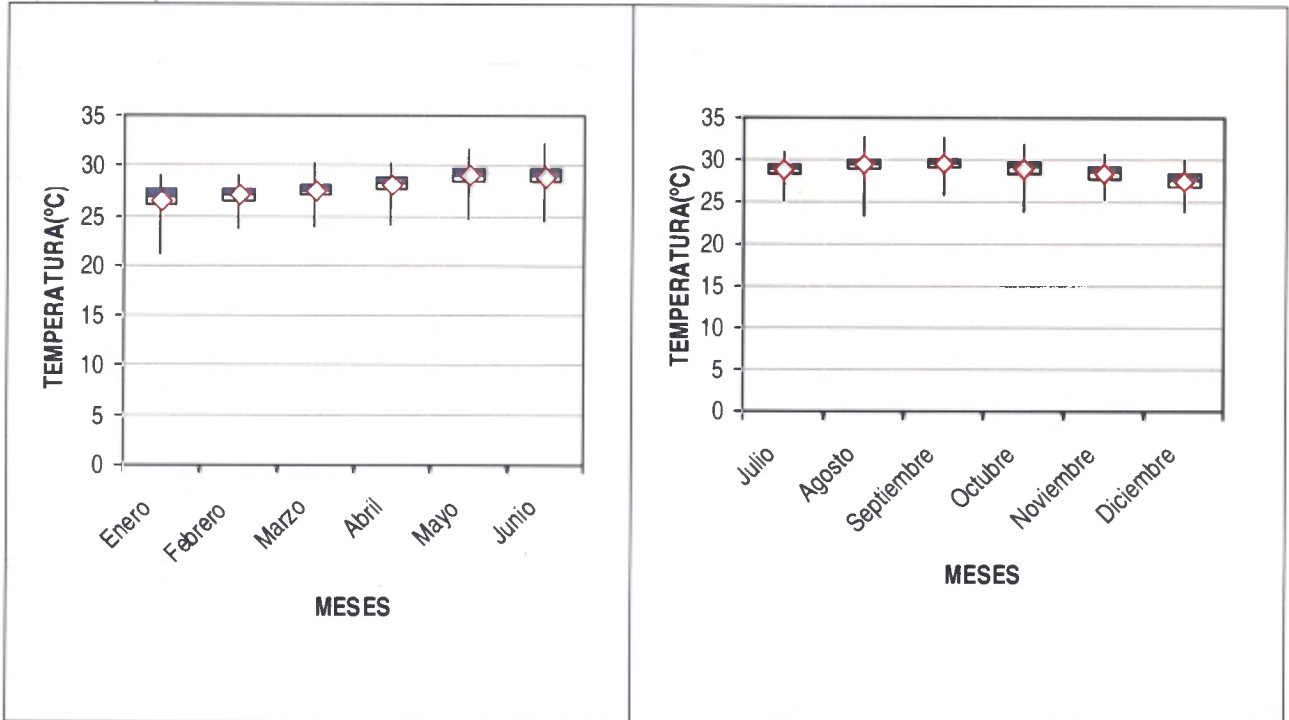


Tabla 17. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Coro (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	21.2	23.8	24.0	24.2	24.8	24.6	25.2	23.4	25.9	23.9	25.4	23.9
25th	26.1	26.5	27.0	27.6	28.5	28.5	28.4	28.9	29.1	28.4	27.8	26.9
Mediana	26.9	27.1	27.5	28.2	29.0	29.0	28.9	29.5	29.6	29.2	28.6	27.7
75th	27.6	27.7	28.0	28.8	29.6	29.6	29.4	30.0	30.0	29.7	29.2	28.4
Máxima	29.0	29.0	30.3	30.2	31.6	32.3	30.9	32.8	32.6	31.8	30.7	30.0
Promedio	26.5	27.0	27.4	28.1	29.0	29.0	28.8	29.5	29.6	29.0	28.4	27.5
Desviación. Estándar. (SD)	1.7	1.0	0.9	0.9	0.9	1.0	0.8	1.0	0.9	1.1	1.0	1.2
Primer Cuartil	4.9	2.7	3.0	3.4	3.7	3.9	4.9	2.7	3.0	3.4	3.7	3.9
Segundo Cuartil	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5
Tercer Cuartil	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
Cuarto Cuartil	1.4	1.3	2.3	1.4	2.0	2.7	1.4	1.3	2.3	1.4	2.0	2.7

Figura 26. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Barquisimeto (1993-2003).

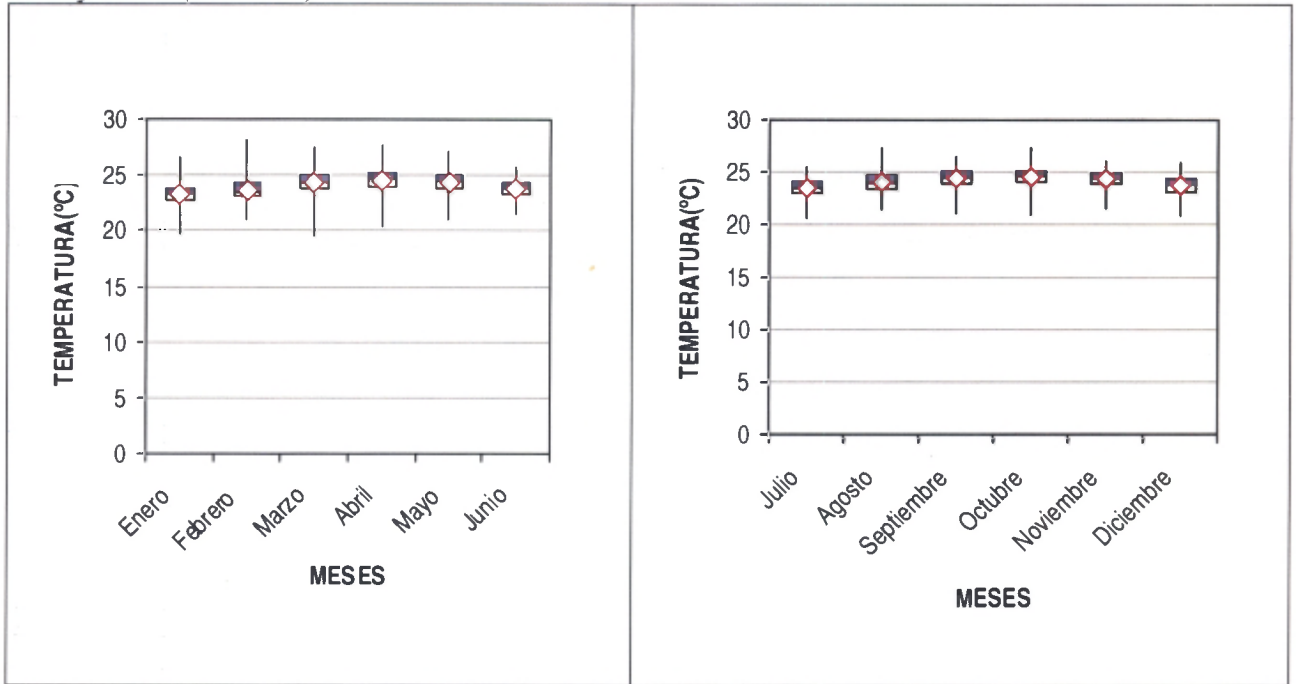


Tabla 18. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Barquisimeto (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	19.7	20.9	19.6	20.5	20.9	21.4	20.6	21.4	21.1	20.9	21.5	20.8
25th	22.7	23.0	23.7	23.9	23.8	23.2	23.0	23.4	23.9	24.1	23.9	23.1
Mediana	23.2	23.5	24.4	24.6	24.5	23.9	23.5	24.0	24.5	24.7	24.4	23.8
75th	23.8	24.3	25.1	25.2	25.0	24.3	24.1	24.7	25.1	25.1	24.9	24.4
Máxima	26.6	28.2	27.5	27.7	27.1	25.8	25.5	27.3	26.5	27.3	26.1	25.9
Promedio	23.3	23.6	24.3	24.5	24.4	23.8	23.5	24.1	24.4	24.6	24.4	23.7
Desviación. Estándar. (SD)	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9
Primer Cuartil	3.1	2.1	4.1	3.4	2.9	1.8	3.1	2.1	4.1	3.4	2.9	1.8
Segundo Cuartil	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7
Tercer Cuartil	0.6	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.6	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
Cuarto Cuartil	2.8	3.9	2.4	2.5	2.1	1.5	2.8	3.9	2.4	2.5	2.1	1.5

Figura 27. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Maracaibo (1993-2003).

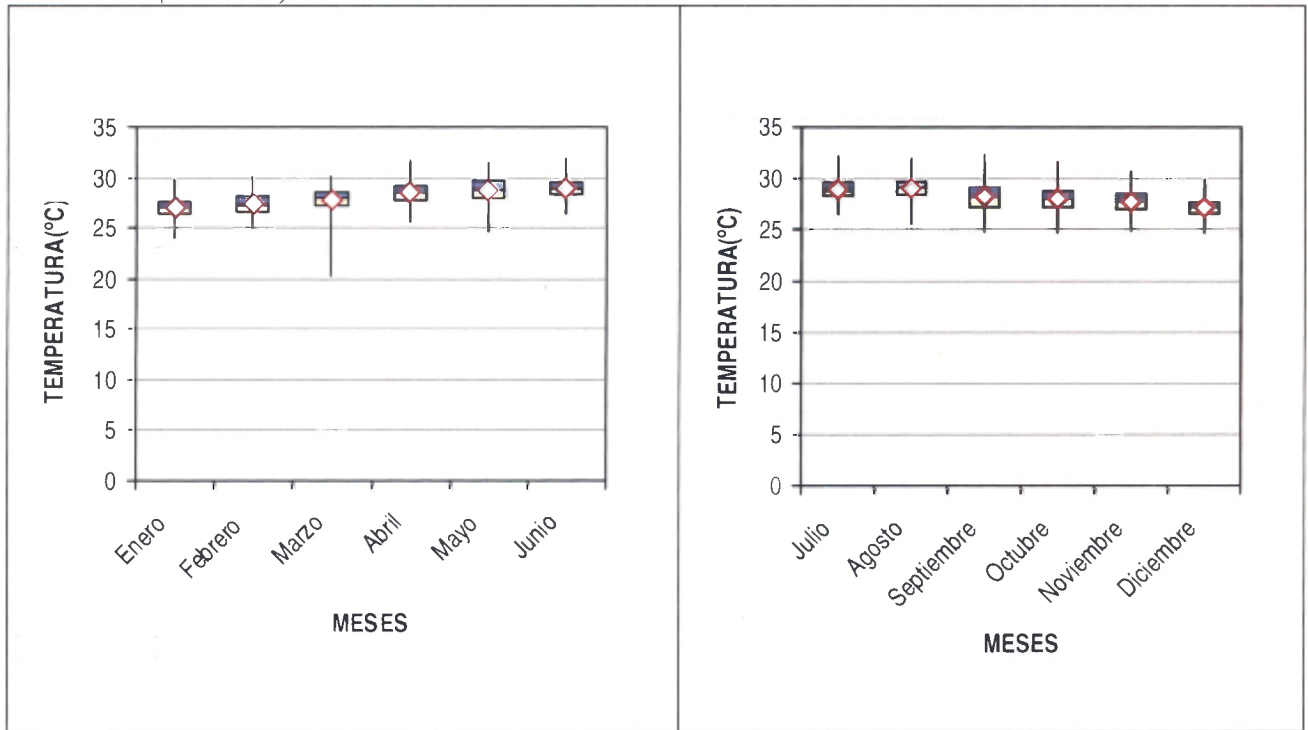


Tabla 19. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Maracaibo (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Minima	24.0	25.0	20.4	25.7	24.6	26.3	26.5	25.6	24.8	24.7	24.9	24.6
25th	26.3	26.5	27.1	27.7	27.9	28.4	28.3	28.4	27.2	27.2	27.0	26.6
Mediana	26.9	27.2	27.9	28.5	28.7	28.9	28.8	29.1	28.2	28.1	27.8	27.2
75th	27.5	28.2	28.6	29.2	29.7	29.6	29.6	29.7	29.1	28.8	28.5	27.7
Máxima	29.7	30.2	30.1	31.7	31.5	31.8	32.2	32.0	32.3	31.6	30.6	29.8
Promedio	26.9	27.3	27.9	28.5	28.7	29.0	29.0	29.1	28.3	28.1	27.7	27.2
Desviación. Estándar. (SD)	0.9	1.1	1.1	1.0	1.3	0.9	1.0	1.1	1.4	1.2	1.1	1.0
Primer Cuartil	2.3	1.5	6.7	2.0	3.3	2.1	2.3	1.5	6.7	2.0	3.3	2.1
Segundo Cuartil	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5
Tercer Cuartil	0.6	1.0	0.7	0.7	1.0	0.7	0.6	1.0	0.7	0.7	1.0	0.7
Cuarto Cuartil	2.2	2.0	1.5	2.5	1.8	2.2	2.2	2.0	1.5	2.5	1.8	2.2

Figura 28. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de La Cañada (1993-2003).

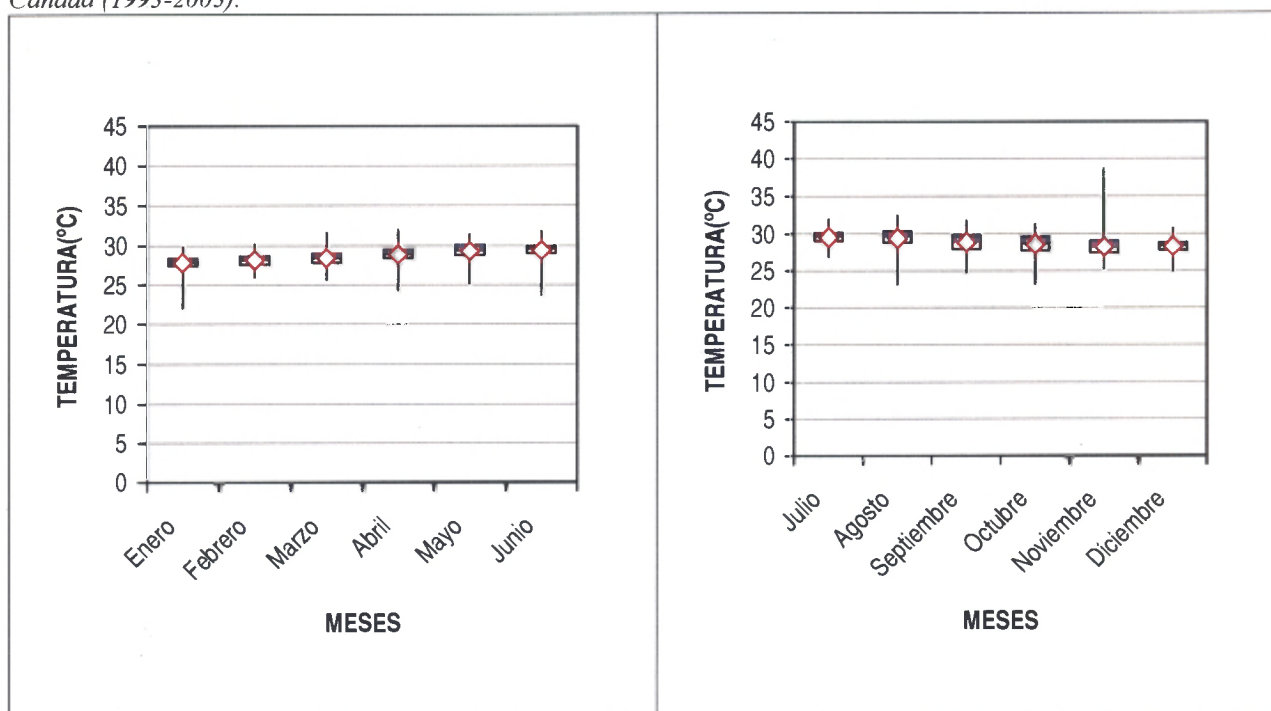


Tabla 20 Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de La Cañada (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	22.1	26.0	25.7	24.3	25.2	23.7	26.9	23.1	24.8	23.2	25.3	25.0
25th	27.4	27.6	27.8	28.4	28.8	29.0	29.1	28.9	28.0	27.8	27.5	27.9
Mediana	27.8	28.2	28.4	28.9	29.4	29.6	29.7	29.7	29.0	28.8	28.3	28.5
75th	28.4	28.7	29.0	29.5	30.1	30.0	30.1	30.3	29.8	29.5	29.1	28.9
Máxima	29.8	30.2	31.6	32.0	31.4	31.7	31.9	32.4	31.7	31.2	38.6	30.7
Promedio	27.8	28.2	28.5	28.9	29.3	29.4	29.5	29.4	28.9	28.7	28.3	28.4
Desviación. Estándar. (SD)	0.9	0.7	0.9	1.1	1.1	1.0	0.9	1.3	1.3	1.2	1.3	0.8
Primer Cuartil	5.3	1.6	2.1	4.1	3.6	5.3	5.3	1.6	2.1	4.1	3.6	5.3
Segundo Cuartil	0.4	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.4	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6
Tercer Cuartil	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.4	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.4
Cuarto Cuartil	1.5	1.5	2.6	2.5	1.3	1.7	1.5	1.5	2.6	2.5	1.3	1.7

Figura 29. Representación de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mene Grande (1993-2003).

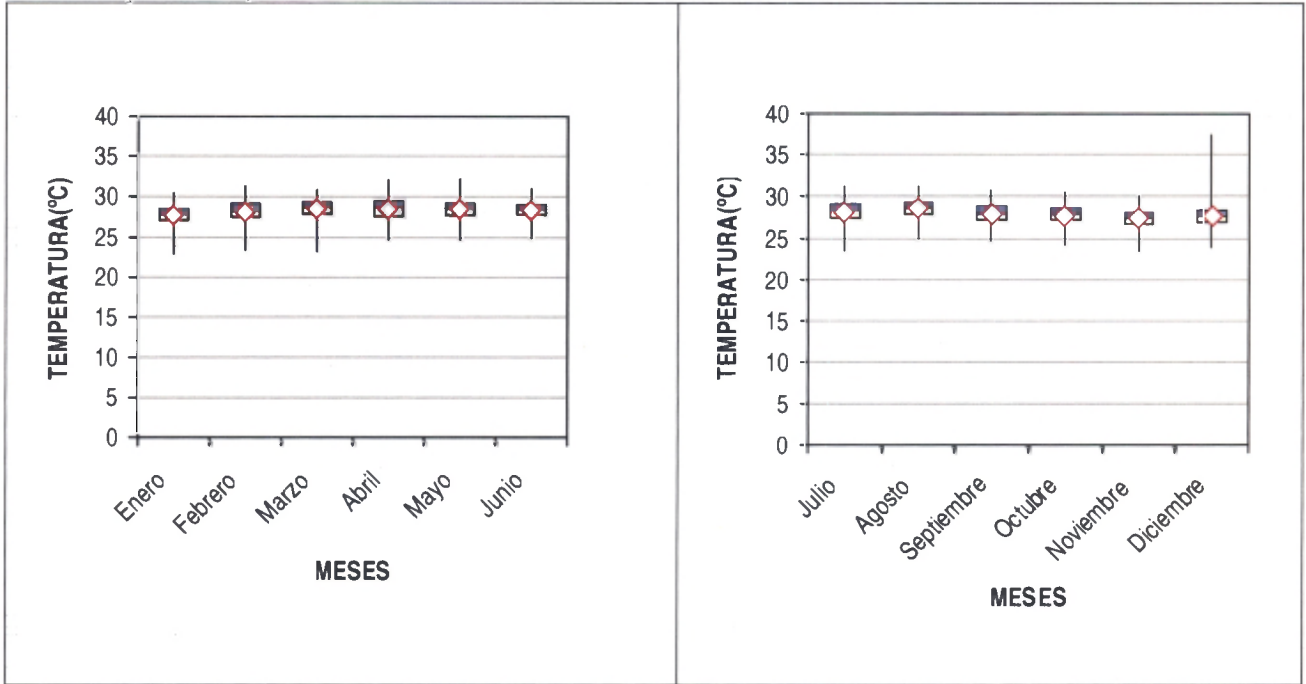


Tabla 21. Datos de la distribución intercuartil de datos de temperatura para la estación de Mene Grande en (1993-2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínima	23.0	23.5	23.3	24.7	24.7	25.0	23.6	25.0	24.8	24.3	23.5	24.0
25th	27.1	27.5	27.8	27.6	27.7	27.8	27.4	27.8	27.1	27.0	26.7	26.8
Mediana	27.8	28.2	28.7	28.7	28.5	28.4	28.3	28.6	27.9	27.8	27.4	27.6
75th	28.5	29.1	29.3	29.4	29.2	29.0	29.0	29.3	28.7	28.6	28.2	28.4
Máxima	30.4	31.3	30.8	32.1	32.2	31.0	31.3	31.2	30.7	30.4	29.9	37.5
Promedio	27.7	28.1	28.5	28.5	28.5	28.3	28.1	28.5	27.9	27.7	27.4	27.6
Desviación. Estándar. (SD)	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.0	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2
Primer Cuartil	4.1	4.0	4.6	2.9	3.0	2.8	4.1	4.0	4.6	2.9	3.0	2.8
Segundo Cuartil	0.7	0.7	0.8	1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	1.1	0.8	0.7
Tercer Cuartil	0.7	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6	0.7	0.9	0.6	0.7	0.7	0.6
Cuarto Cuartil	1.9	2.2	1.5	2.7	3.0	1.9	1.9	2.2	1.5	2.7	3.0	1.9

La representación gráfica permite observar cómo está cambiando mensualmente la temperatura, asimismo da una idea en dónde se encuentra la media e identificar claramente los valores de la temperatura máxima y mínima en cada uno de los meses. Finalmente la tabla completa la información gráfica con los datos reales obtenidos del cálculo estadístico llevado a cabo.

A continuación se muestran los valores medios de temperatura de toda la serie, con la finalidad de observar el comportamiento de las curvas y comparar así la similitud o los valores de temperaturas dentro del periodo. Las gráficas se realizan una por cada región y no en todas las estaciones, sino que se toman algunas estaciones representativas para cumplir con el objetivo. Por medio de las gráficas (figuras 30 y 31) se puede ver por regiones el comportamiento de la temperatura de las dos regiones, es otra forma de ver en cada mes la variación de la temperatura de la estación.

Figura 30. Distribución promedio mensual de temperatura para la región de los Andes de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.

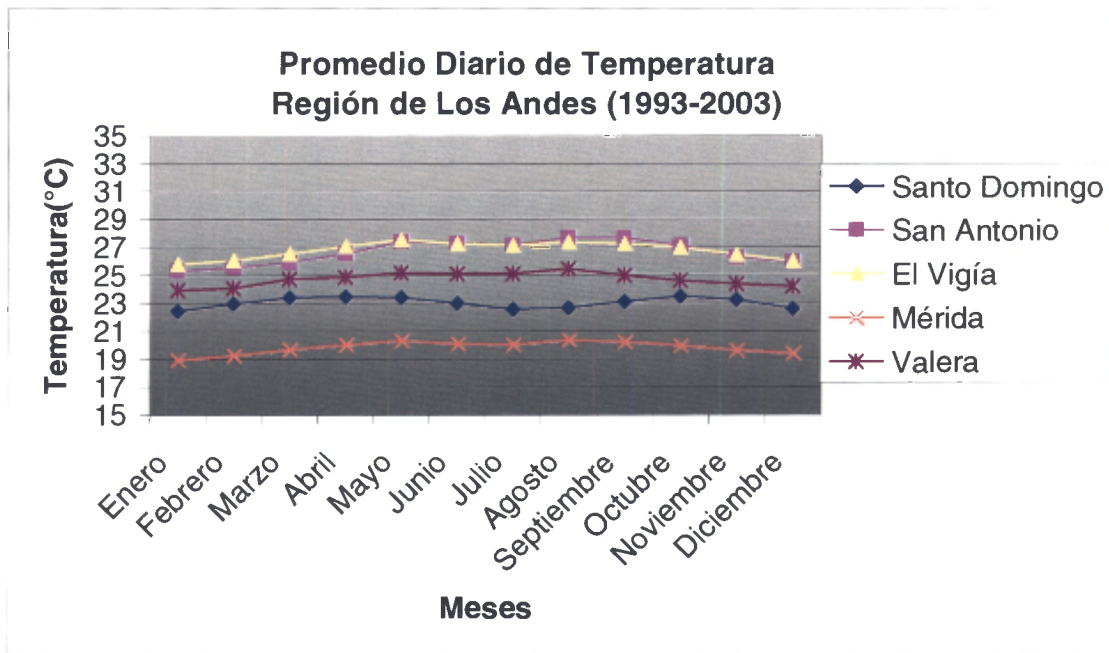
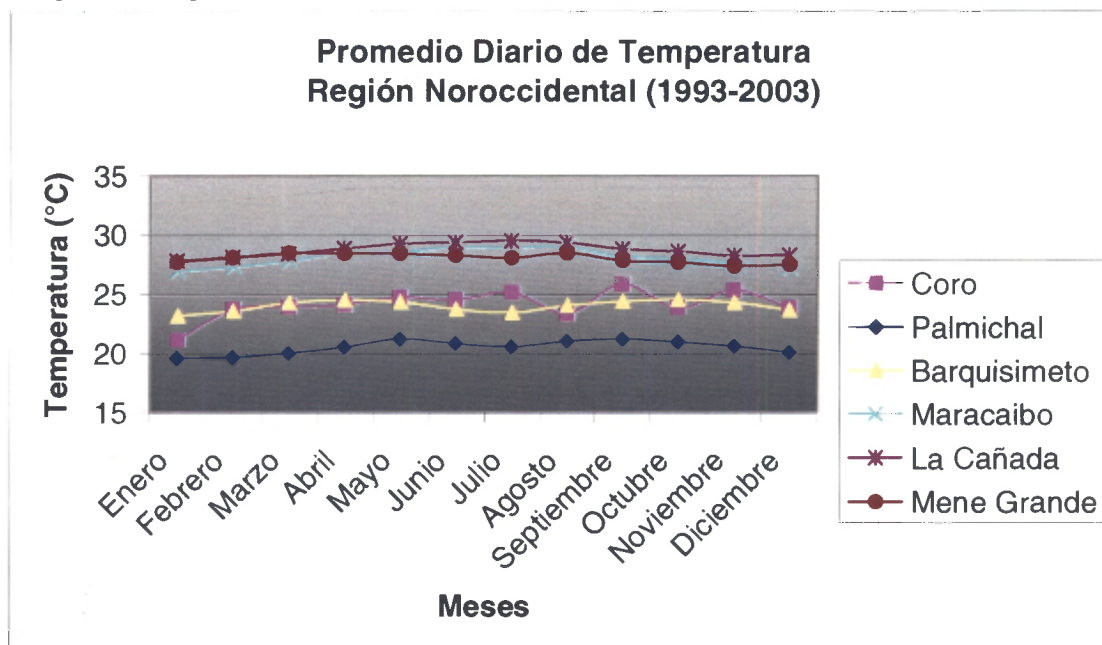


Figura 31. Distribución promedio mensual de temperatura para la región de Noroccidental de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.



De lo obtenido anteriormente y lo mostrado en cada una de las gráficas, se puede concluir que la variación notable en la temperatura es ciertamente durante el día por influencia del ciclo diurno, la diferencia de temperatura de temperatura a lo largo del día, puede ser hasta de varios grados centígrados dependiendo de la hora, y se ve reflejada en los valores de la temperatura máxima y mínima. Mientras que la oscilación o el cambio de temperatura en cada uno de los años es muy pequeña, característica típica de una región tropical.

Analizando ambas gráficas correspondientes a las figuras 30 y 31 se observa que los valores más bajos de temperatura durante el año se presentan en los meses de diciembre, enero y parte de febrero, pero en especial durante el mes de enero la temperatura suele ser más baja, una de las razones de este hecho es la gran influencia de flujo y corrientes de aire provenientes de latitudes medias, que para la fecha se encuentran en la estación de invierno correspondiente al Hemisferio Norte, donde se le añade también la advección de masas

con temperaturas muy bajas que afectan el entorno de la atmósfera al llegar a nuestras latitudes.

En la región de Los Andes la temperatura aumenta para los meses de marzo, abril, mayo y junio, donde se observa que el máximo de temperatura se presenta en el mes de mayo. Existe una pequeña oscilación en los meses de julio y agosto, esto se debe a una mínima disminución de temperatura, pero suele ser menor a 1°C. Las temperaturas en la región de Los Andes suelen ser menores a la de la región Noroccidental debido a que es una región con gran influencia montañosa, aunado a la ubicación y elevación sobre el nivel del mar suele ser mayor para casi todas las estaciones. En la región Noroccidental la temperatura tiende a aumentar para el periodo de meses marzo-julio, con una leve disminución para los meses de agosto-octubre, aunque igualmente este cambio resulta ser menor a 1°C.

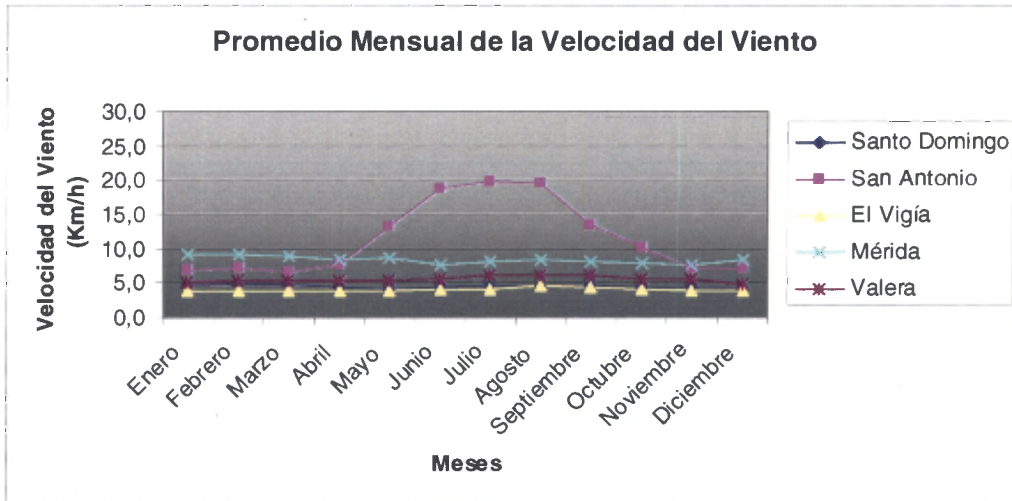
El estudio del viento en la climatología de las regiones se hizo utilizando los datos registrados por las estaciones, y la información dada por el NCEP del reanálisis para acceder a los datos de las componentes de viento zonal y meridional en distintos niveles de la troposfera (850hPa, 500 hPa y 250 hPa), además permite identificar la existencia de diferentes sistemas en la atmósfera, según el nivel de altura de la troposfera en que se esté evaluando los campos de interés.

Inicialmente se obtuvo un promedio de cada mes de las intensidades de viento por cada estación registradas en superficie según la región donde se ubique.

Las estaciones de Mérida, El Vigía, Valera y Santo Domingo (figura 32) exhiben un comportamiento muy similar entre ellas, en cambio la estación de San Antonio la intensa velocidad del viento registrada la hace diferente al resto de estaciones. Para las estaciones de El Vigía y Santo Domingo la oscilación que presentan las curvas son prácticamente las mismas, esto quiere decir que el viento varía muy poco a lo largo del año, a lo sumo un total de 1 Km/h. Este mismo patrón se mantiene en tanto en la estación de Mérida como la de Valera, sólo que podrían diferir en unos 3 Km/h en intensidades de la velocidad, ya que en Mérida registra aproximadamente entre 8 y 9 Km/h en el año y para Valera su intensidad es de unos 6 Km/h.

La estación de San Antonio del Táchira presenta un comportamiento completamente diferente al resto, que afecta el comportamiento del viento de igual manera la formación de precipitación de esta parte de la región. Tal cual como lo sostiene Lovera (2003) en su investigación donde “puede observarse que en esta estación se da una relación directamente proporcional entre los indicadores viento y precipitación, es decir que a medida que la velocidad del viento aumenta también lo hace la precipitación y viceversa. No responde entonces a lo que se esperaría de estaciones acantonadas en la pendiente norte de la cordillera, sin embargo posiblemente el hecho de que la estación se encuentra en una zona que se asemeja a una especie de valle dentro de la cordillera y que permite la convergencia de vientos por forzamiento orográfico, los que vienen de barlovento y los que vienen de la circulación cerrada que se produce en el sotavento de la cordillera (cargados de humedad), en dicha región entonces se produzca la formación nubosa y posterior precipitación”.

Figura 32. Distribución del promedio mensual de la velocidad del viento para la región de Los Andes de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.

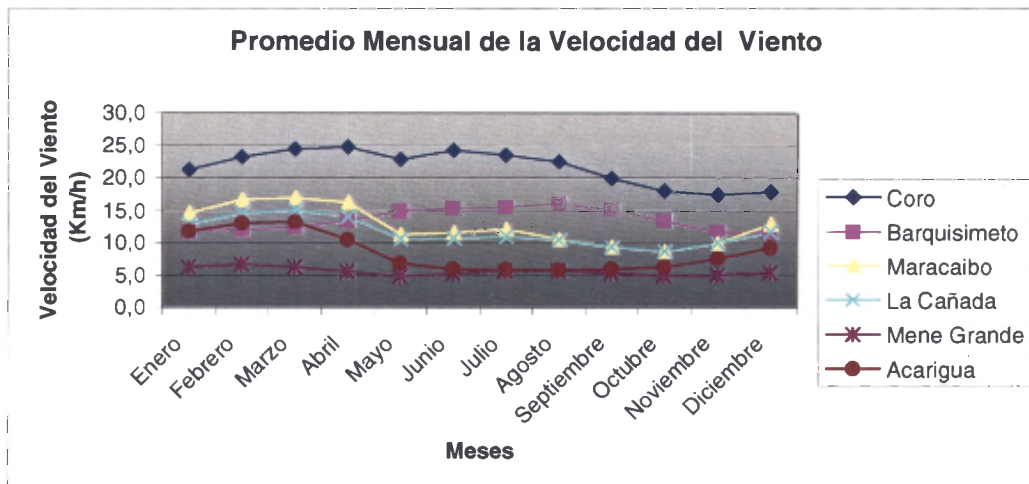


Ahora si se analiza la región Noroccidental (figura 33) se debe resaltar que las estaciones se encuentran geográficamente ubicadas más al norte del país quizás sea una de estas las razones de que la magnitud del viento sea mayor, al verse sometidas bajo la influencia de los vientos alisios, el chorro bajo del este entre otros; dependiendo de la época

del año. Un ejemplo claro es lo visto para la estación de Coro; de hecho, es la estación que se encuentra más al norte de todas, y es la que presenta las intensidades en la velocidad del viento mayores al resto, con intensidades de 20 Km/h y diferencias de hasta 15 Km/h sobre algunas estaciones. En lo observado en la gráfica, para los meses de diciembre-abril se presentan las mayores intensidades en la velocidad, éstas comienzan a disminuir en los meses de mayo a agosto y se reducen más en los meses de septiembre hasta los primeros días de noviembre. Una excepción a este comportamiento lo presenta la estación meteorológica de Barquisimeto, para la cual aumenta la velocidad del viento en los meses de abril a noviembre y disminuye en los meses de diciembre a marzo. Para las estaciones de Maracaibo y La Cañada el comportamiento del viento es prácticamente el mismo, de hecho que las velocidades registradas son casi del mismo valor, la cercanía presente entre ambas estaciones es la razón de peso de este hecho. La estación de Mene Grande presenta una velocidad de unos 5-6 Km/h poco variable en el transcurso del año. Sin embargo, es de hacer notar que esta estación en particular podría verse afectada por otros fenómenos locales como el de convergencia local, por el hecho de estar ubicada próxima al área del Lago de Maracaibo y por la circulación cerrada que se produce en esta región como consecuencia de la presencia de la Cordillera de Los Andes y la Sierra de Perijá, Goldbrunner (1963).

La característica a destacar en la estación de Acarigua es que presenta una fuerte diferencia entre los valores máximos y mínimos siendo la separación extrema entre velocidades observadas de 7 Km/h.

Figura 33. Distribución promedio del mensual de la velocidad del viento para la región de Noroccidental de Venezuela en el periodo comprendido de 1993 a 2003.



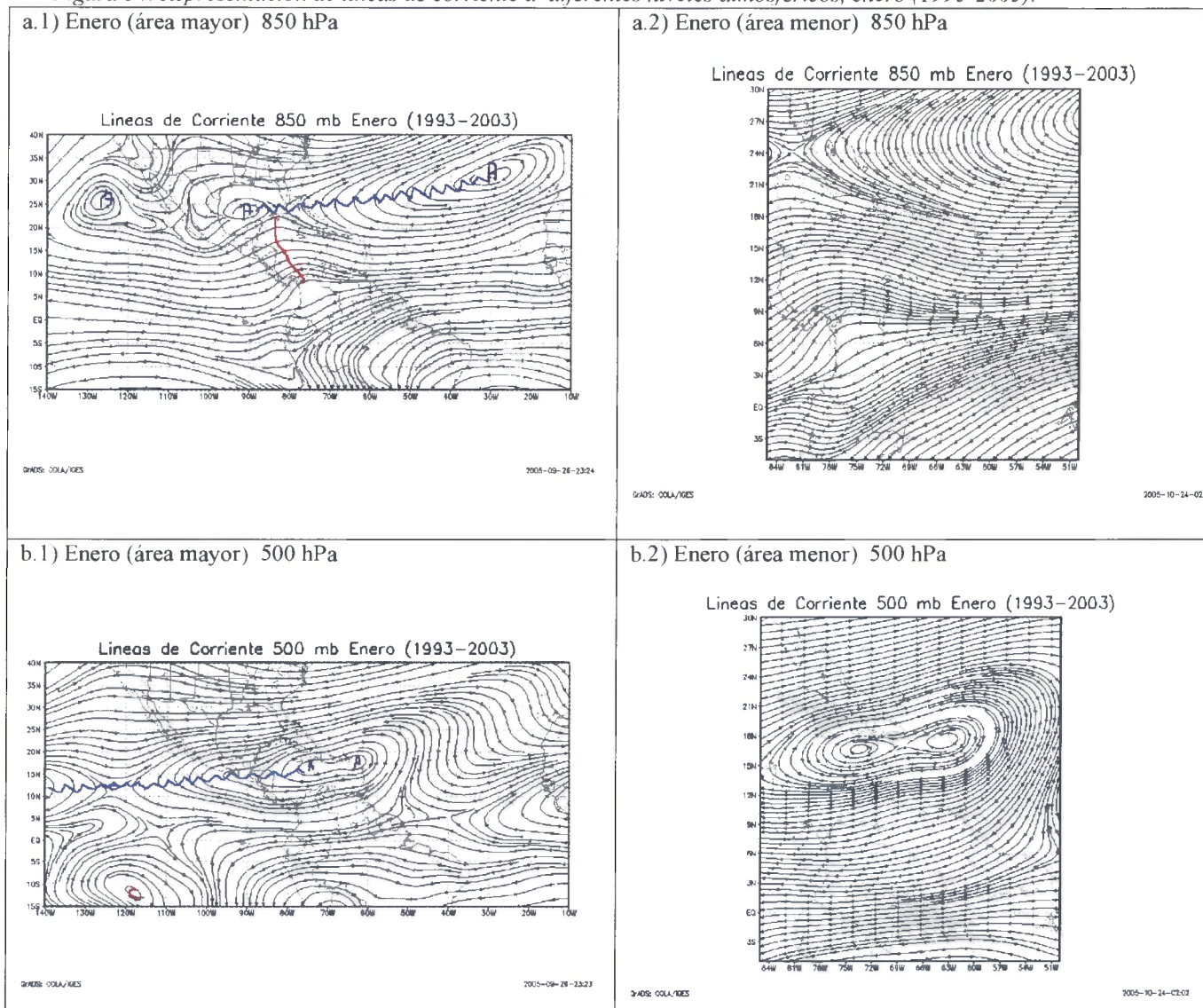
Por otra parte, al hacer una representación de líneas de corriente especialmente para el nivel de 850 y 925 hPa, se puede notar que a partir de la segunda mitad del mes de noviembre, seguido de diciembre, enero, febrero y marzo el flujo aumenta y mantiene una dirección proveniente del este, característica del flujo alisio. Seguidamente los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, la dirección del flujo cambia ya que la presencia del viento meridional se hace progresivamente más notable, provocando cierta disminución y desviación del viento este o antizonal, lo que provoca que el viento que pasa por las dos regiones de estudio siga siendo del este; no obstante su dirección está entre los 45° y 50° dirigidos hacia el oeste. En consecuencia, el viento en bajo nivel incide perpendicularmente sobre el territorio irregular y montañoso de ambas regiones, creando inestabilidad que podrían dar lugar a la formación de nubes, niebla, lluvia, turbulencia entre otros fenómenos naturales, dependiendo de las condiciones del entorno que propicie el origen de la actividad convectiva. En el mes de octubre esta tendencia varía nuevamente, cuando la intensidad de la componente meridional disminuye dando lugar al aumento de la intensidad en el flujo del este. En cuanto a los niveles de 250 y 500 hPa se podrían describir ambos niveles para el periodo de estudio de diez años mediante la siguiente tabla:

Tabla 22. Estudio de las líneas de corriente en los niveles atmosféricos de 250 y 500 hPa, para el periodo de 1993-2003.

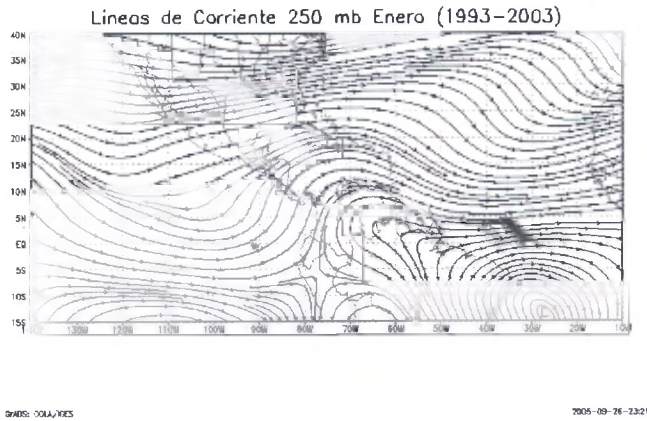
Mes/ Nivel	250 hPa	500hPa
Enero	Gran divergencia y salida de flujo.	Presencia de un sistema anticiclónico ubicado a 15°N de latitud, sobre el Caribe.
Febrero	Vientos divergentes sobre el país.	Anticiclón sobre Centroamérica, generando viento en dirección noroeste del país.
Marzo	Presencia de un sistema anticiclónico sobre Colombia, cuya circulación afecta directamente todo el territorio de Venezuela.	Se mantiene el anticiclón esta vez desplazado más al norte, sobre Cuba e Islas del Caribe.
Abril	Presencia de una dorsal que va desde la Península de Yucatán y pasa por sobre la región de Los Andes.	Vientos divergentes con dirección noroeste.
Mayo	Sistema anticiclónico justo sobre el territorio nacional.	Se mantiene el anticiclón, reforzado con una dorsal sobre la Costa Norte de Venezuela.
Junio	Pequeño anticiclón al noreste del país, con la presencia de una dorsal que pasa exactamente sobre la zona de estudio.	Flujo del este paralelo al territorio.
Julio-Agosto-Septiembre	Vientos divergentes sobre el país y en especial sobre las regiones de estudio.	Vientos divergentes sobre las regiones de estudio.
Octubre-Noviembre	Sistema anticiclónico sobre Centroamérica, genera fuerte flujo incidente al norte del país, en especial sobre la región Noroccidental.	Se mantiene el anticiclón, el flujo generado lleva dirección este y afecta el norte del territorio.
Diciembre	Intensa divergencia de viento principalmente en la parte centro norte del país.	Intenso flujo proveniente del este incidiendo en casi todo el territorio.

A partir de la figura 34 se presentan algunos meses representativos para identificar los cambios en la dirección e intensidad del viento en diferentes niveles de la troposfera, de igual manera se logran observar desde el punto de vista sinóptico los grandes sistemas que afectaron directamente en la climatología de la región durante el periodo de diez años estudiados en la serie.

Figura 34. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, enero (1993-2003).



c.1) Enero (área mayor) 250 hPa



c.2) Enero (área menor) 250 hPa

Lineas de Corriente 250 mb Enero (1993-2003)

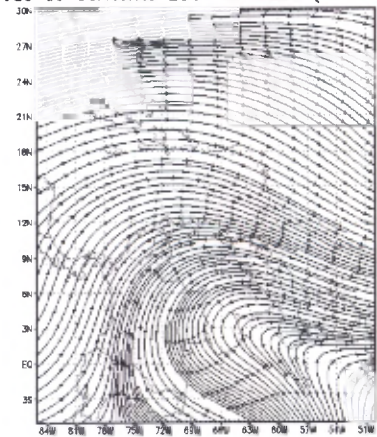
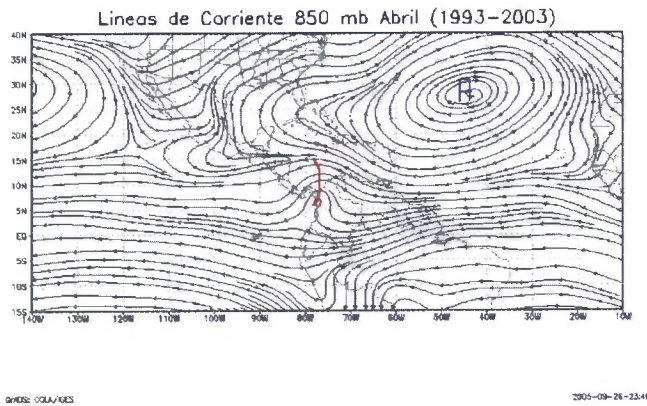


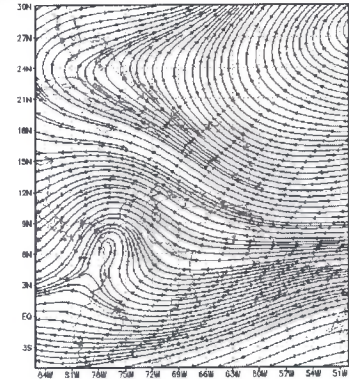
Figura 35. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, abril (1993-2003).

a.1) Abril (área mayor) 850 hPa

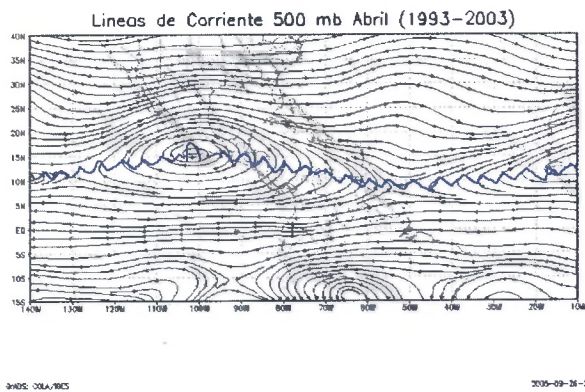


a.2) Abril (área menor) 850 hPa

Lineas de Corriente 850 mb Abril (1993-2003)

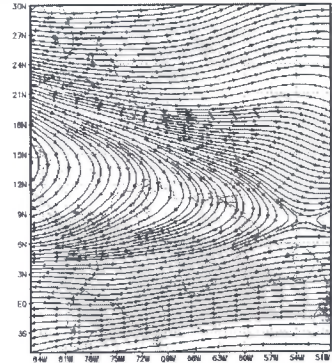


b.1) Abril (área mayor) 500 hPa

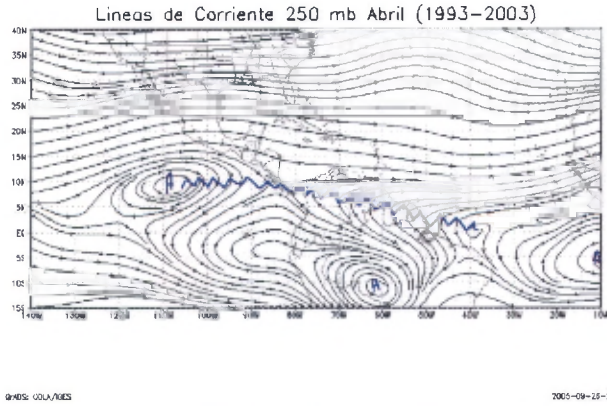


b.2) Abril (área menor) 500 hPa

Lineas de Corriente 500 mb Abril (1993-2003)



c.1) Abril (área mayor) 250 hPa



c.2) Abril (área menor) 250 hPa

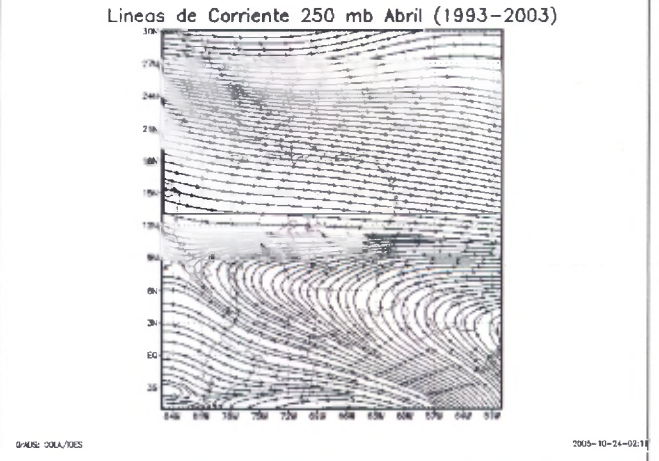
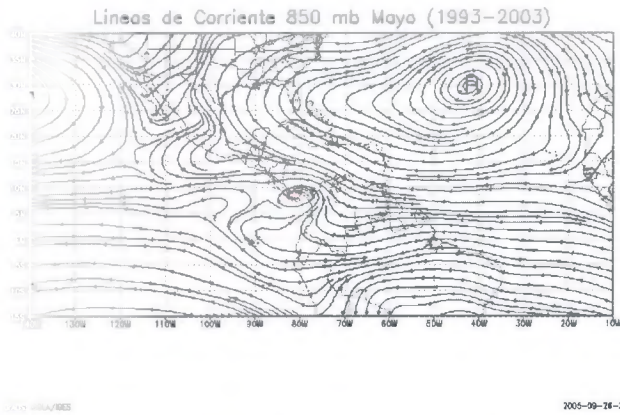
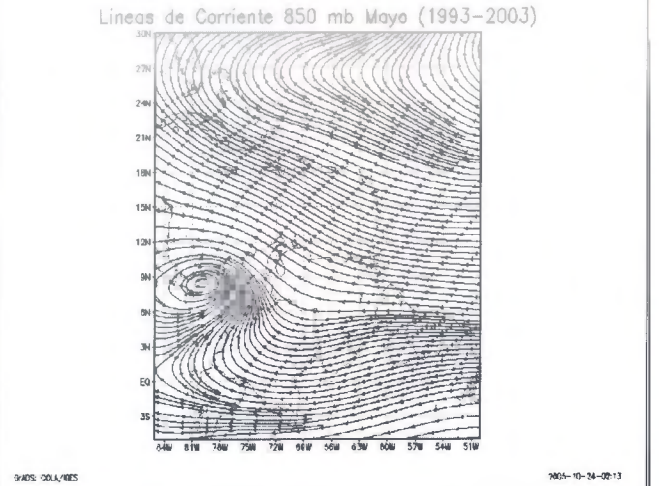


Figura 36. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, mayo (1993-2003).

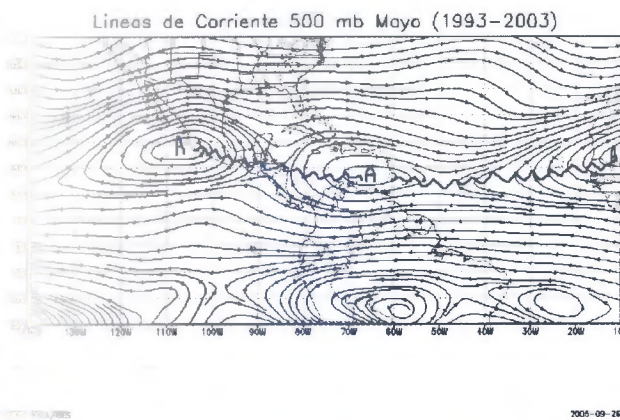
a.1) Mayo (área mayor) 850 hPa



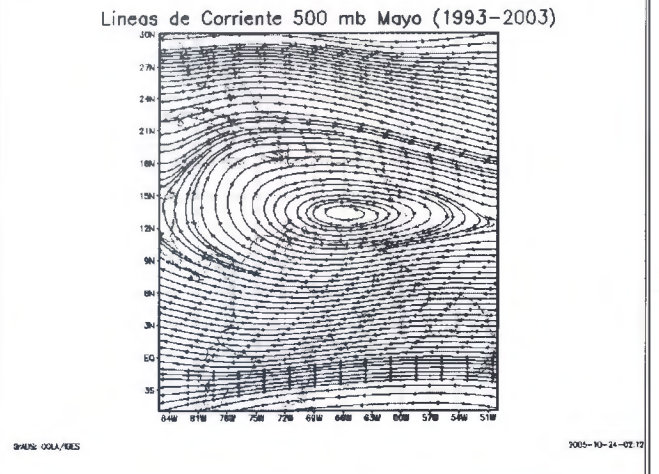
a.2) Mayo (área menor) 850 hPa



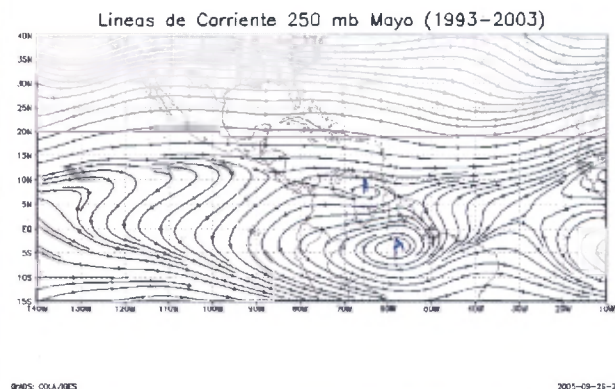
b.1) Mayo (área mayor) 500 hPa



b.2) Mayo (área menor) 500 hPa



c.1) Mayo (área mayor) 250 hPa



c.2) Mayo (área menor) 250 hPa

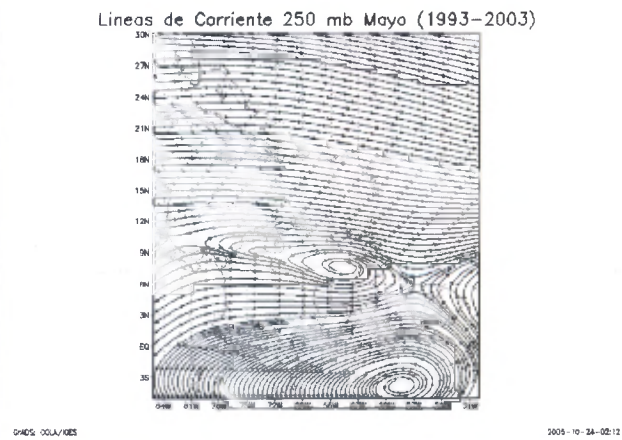
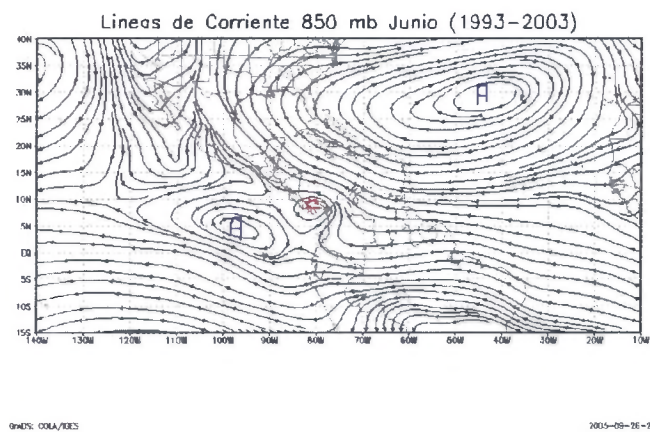
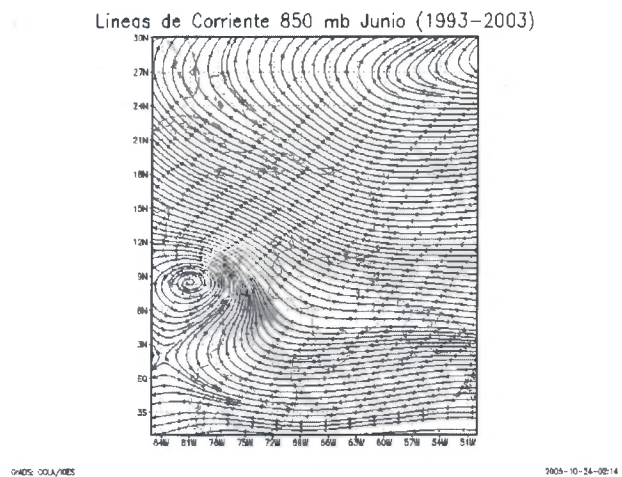


Figura 37. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, junio (1993-2003).

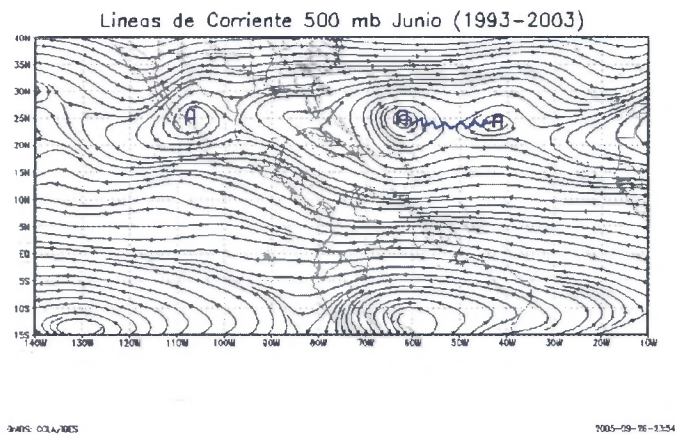
a.1) Junio (área mayor) 850 hPa



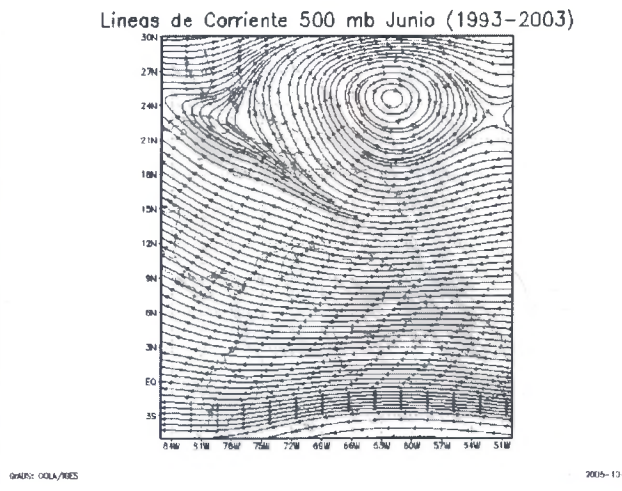
a.2) Junio (área menor) 850 hPa



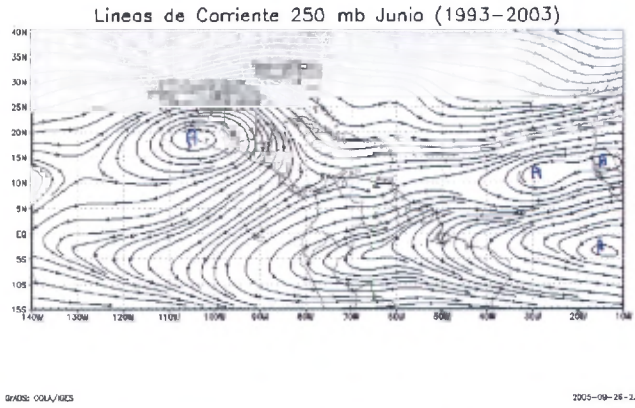
b.1) Junio (área mayor) 500 hPa



b.2) Junio (área menor) 500 hPa



c.1) Junio (área mayor) 250 hPa



c.2) Junio (área menor) 250 hPa

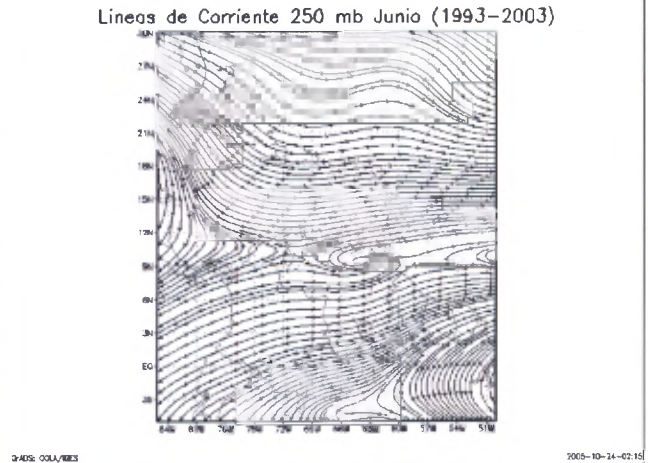
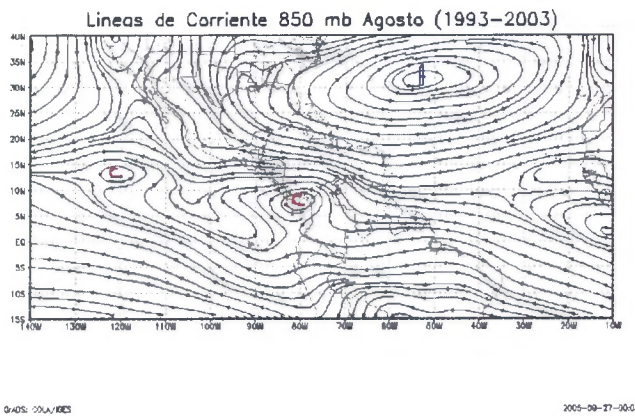
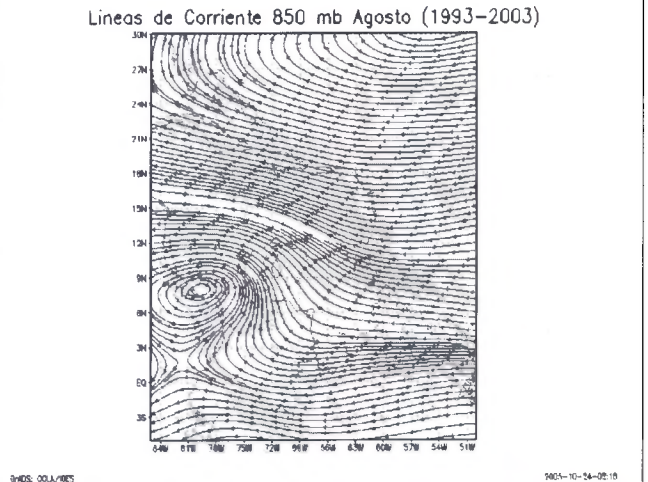


Figura 38. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, agosto (1993-2003).

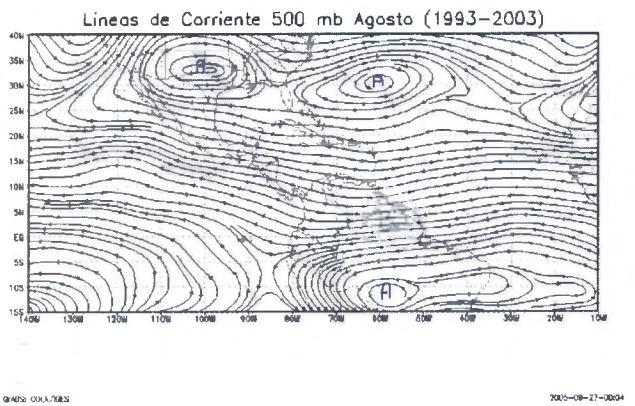
a.1) Agosto (área mayor) 850 hPa



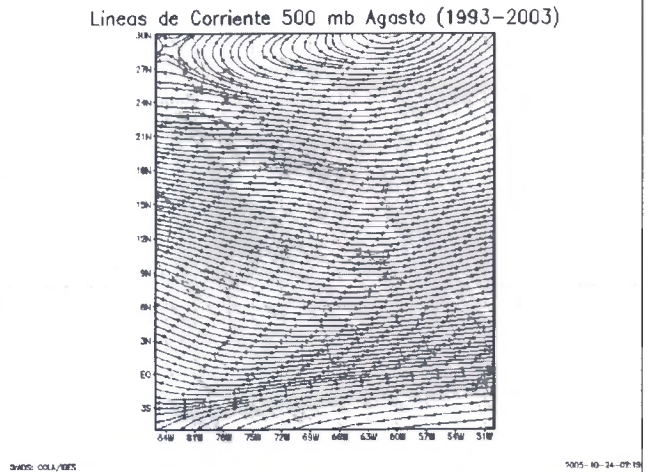
a.2) Agosto (área menor) 850 hPa



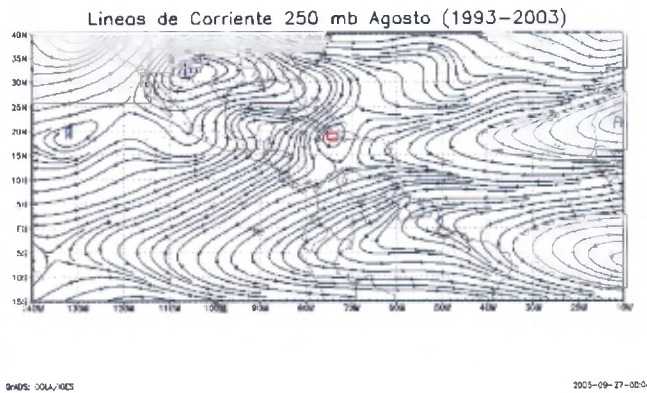
b.1) Agosto (área mayor) 500 hPa



b.2) Agosto (área menor) 500 hPa



c.1) Agosto (área mayor) 250 hPa



c.2) Agosto (área menor) 250 hPa

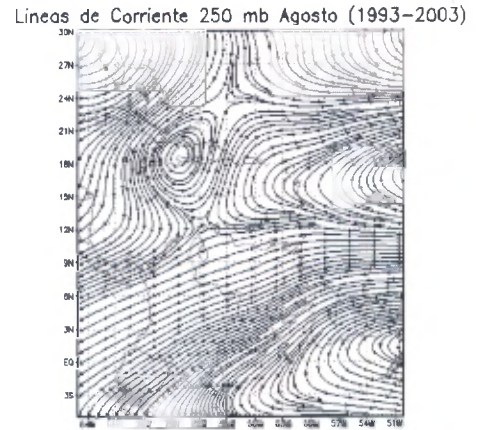
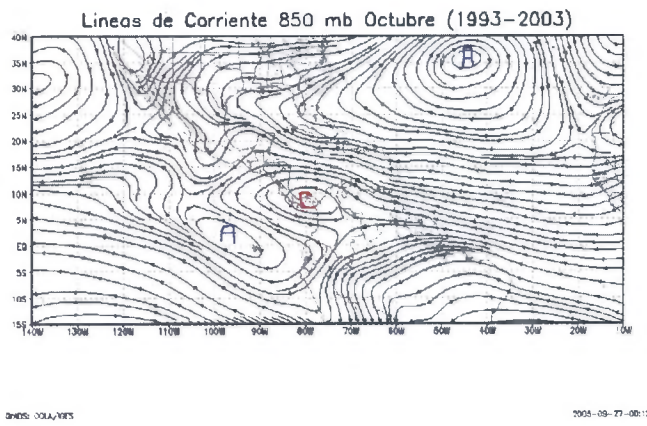
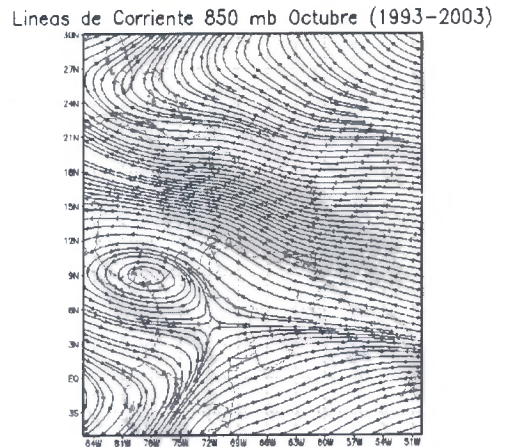


Figura 39. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, octubre (1993-2003).

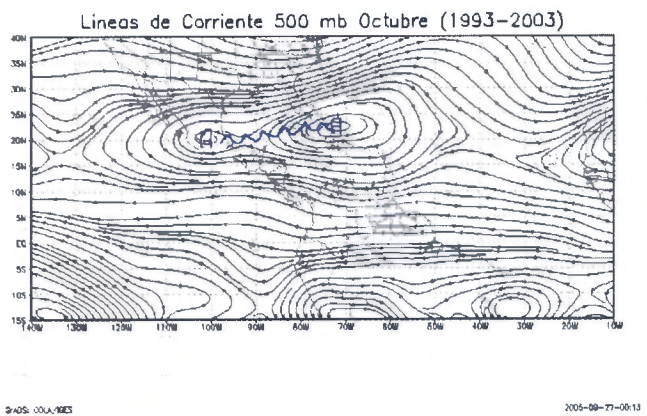
a.1) Octubre (área mayor) 850 hPa



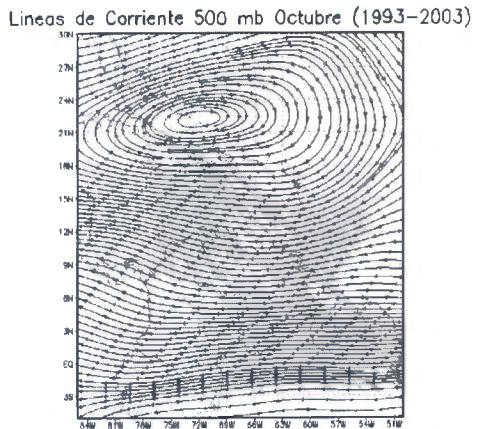
a.2) Octubre (área menor) 850 hPa



b.1) Octubre (área mayor) 500 hPa



b.2) Octubre (área menor) 500 hPa



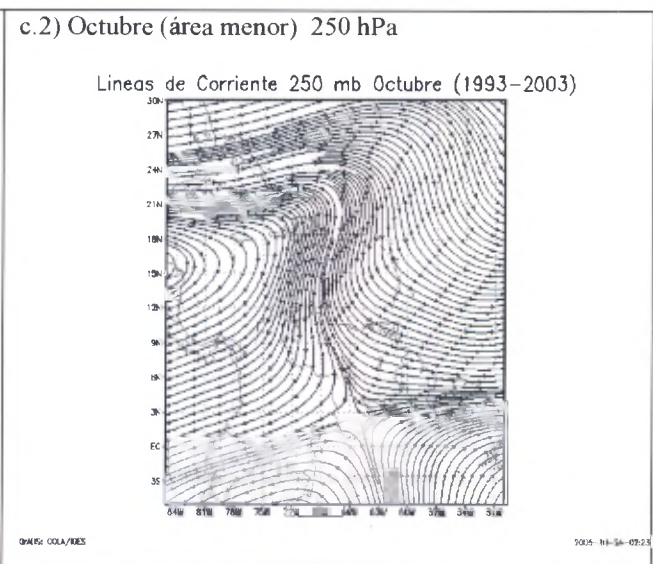
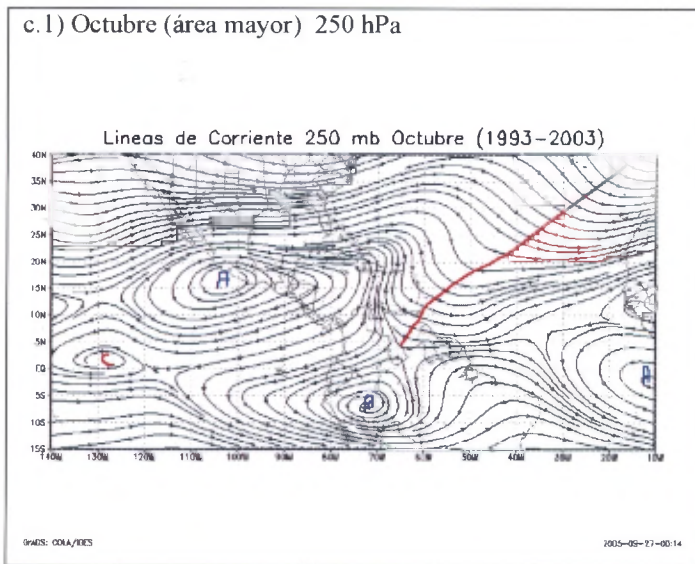
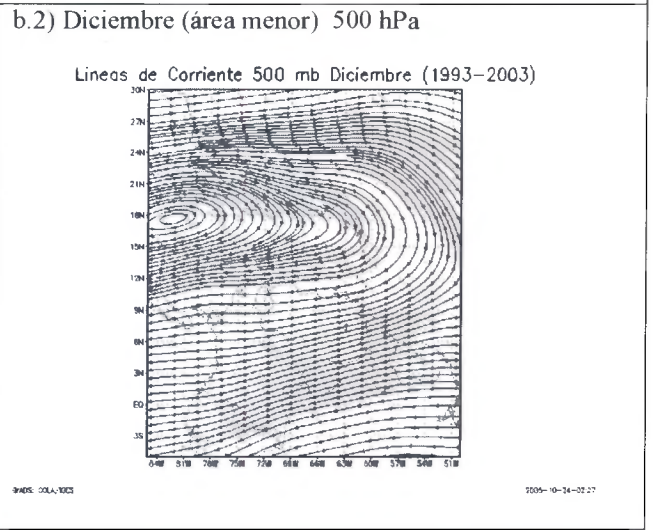
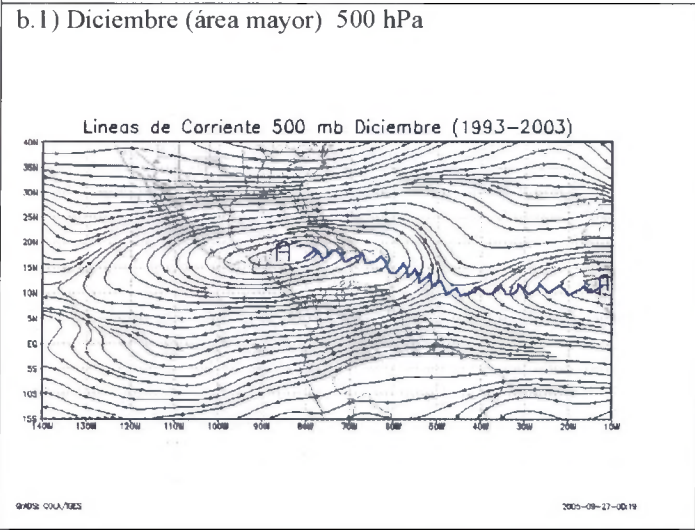
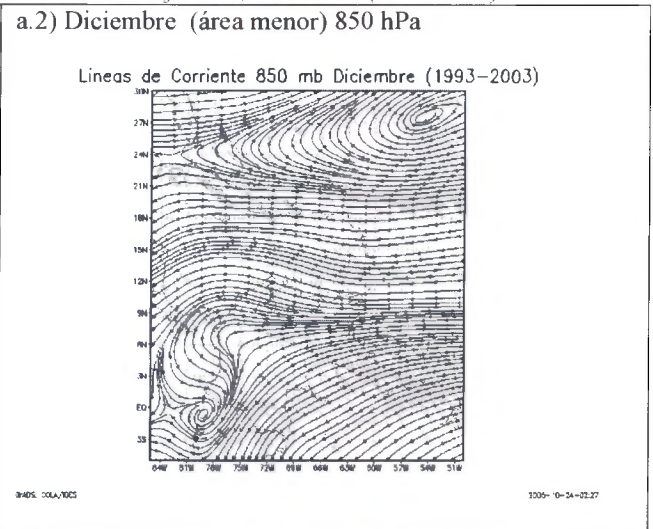
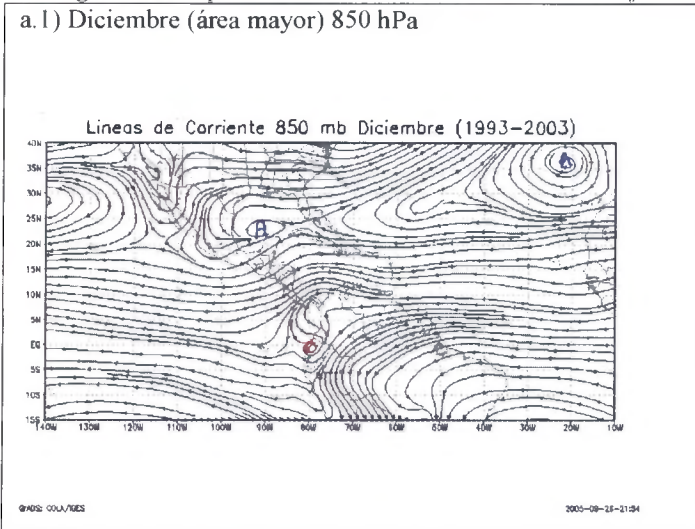
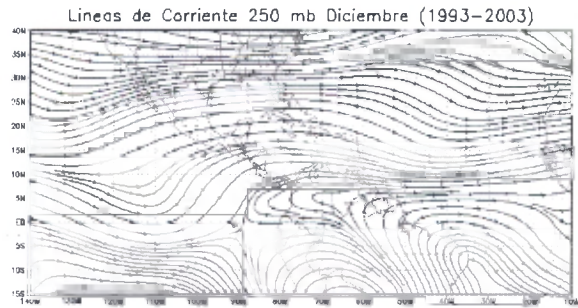


Figura 40. Representación de líneas de corriente a diferentes niveles atmosféricos, diciembre (1993-2003).

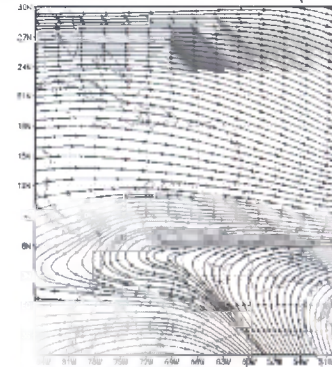


c.1) Diciembre (área mayor) 250 hPa



c.2) Diciembre (área menor) 250 hPa

Lineas de Corriente 250 mb Diciembre (1993-2003)



De igual manera estos resultados se ajustan o coinciden a las magnitudes de las componentes zonal y meridional del viento, donde se manifiestan velocidades mayores en los mismos meses antes nombrados, un ejemplo de ello es la magnitud que presenta la componente zonal de viento en los 850 hPa de 8 Km/h; el signo negativo que aparece en el reanálisis para este caso se usa por conveniencia para identificar viento zonal o con dirección antizonal. En cambio el viento meridional se intensifica en los meses de julio-septiembre repercutiendo por ende en las velocidades del viento zonal, ya que afecta directamente en el desplazamiento que lleva éste y que le hace disminuir la velocidad.

Lovera (2003) también establece que el comportamiento del viento respondería no sólo a la circulación general y sinóptica en las cuales los vientos alisios se intensifican en los meses de diciembre-marzo, disminuyendo su intensidad en abril-mayo y noviembre, aumentando en julio-agosto, sino que también, a la interacción del flujo medio con la cordillera de los Andes venezolanos, los cuales producen un ascenso orográfico sobre el aire a barlovento, descendiendo posteriormente, calentando adiabáticamente a sotavento de la orografía.

4.2 Identificar los eventos de precipitación extrema durante el periodo (1993-2003) para la zona de estudio

Se desea clasificar los eventos extremos de lluvia, de una serie de diez años de datos de precipitación. Se realizó la prueba estadística Mann-Kendall en cada una de las series temporales y regionales.

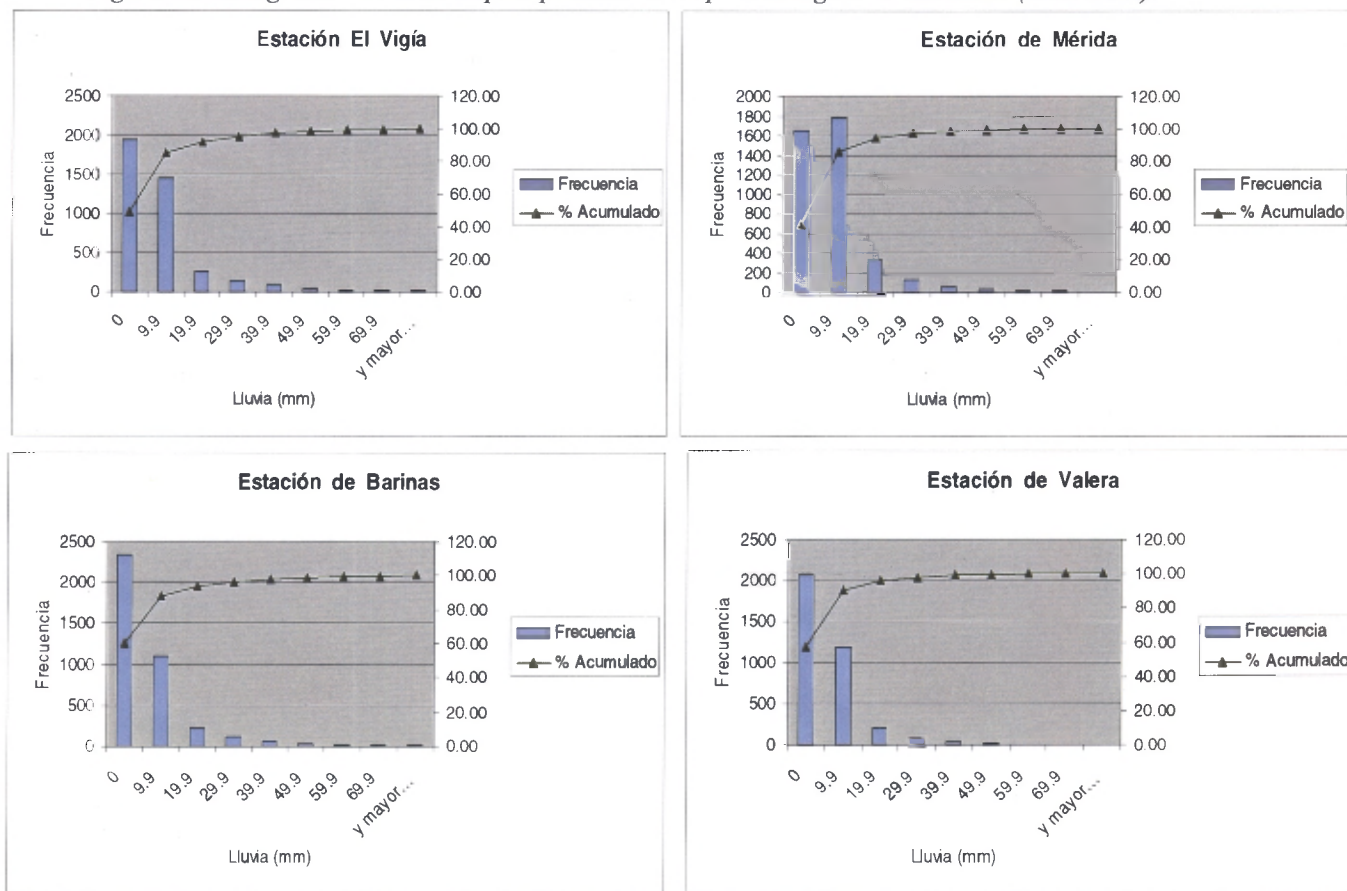
De igual manera se realiza el análisis estadístico por el método Mann-Kendall de los datos de precipitación a ciertas estaciones meteorológicas, que aunque no pertenecen a la regiones propias de estudio, son utilizadas en el mismo por ser estaciones vecinas, y sirven de referencia para compararlas con las otras estaciones de la región. Asimismo logran aportar información valiosa, en cuanto a la existencia de precipitación, origen y desplazamiento de sistemas convectivos para la región de interés.

En la prueba de Mann-Kendall sirvieron de ayuda las relaciones de la figura 41 para determinar en cada serie de datos el número de valores máximos de precipitación a utilizar en el análisis. Una muestra de ello, es la representación de los histogramas de las estaciones, se puede ver que a partir de la clase que corresponde a un determinado valor, de acuerdo a la estación, hacia su derecha inician los valores máximos extraordinarios de precipitación que son los que interesan en el análisis. En todo caso, el número inicial de valores necesarios para llevar a cabo la prueba estadística, es obtenido con base en el histograma de valores diarios para cada una de las series. En cada uno de los histogramas el número de clases fue definido buscando en todo momento el mejor aporte de información, se requería una adecuada cantidad de clases, que no fuera muy grande para no tener un exceso de información, que dificulta el manejo de la misma; pero a su vez que éstas no fueran muy pocas porque no permitirían observar características importantes de la información.

La importancia que reviste el histograma es que a partir del mismo, se logra definir la mayor cantidad de datos con intensidad más alta a incluir en el análisis, la cual se puede aumentar o disminuir para obtener con mayor precisión el límite de la región de los valores extremos. A su vez, determina el porcentaje o la probabilidad de ocurrencia de estos eventos, que aun siendo mínima no están exentos a dejar de ocurrir.

La figura 41 muestra algunos de los histogramas correspondientes a la serie de precipitación diaria, en este caso pertenecientes a la región de los Andes, los mismos son representativos al resto de las estaciones de ambas regiones, y no se colocan todos en la figura, debido a que es un número muy grande de histogramas.

Figura 41. Histogramas de series de precipitación diaria para la región de Los Andes (1993-2003).

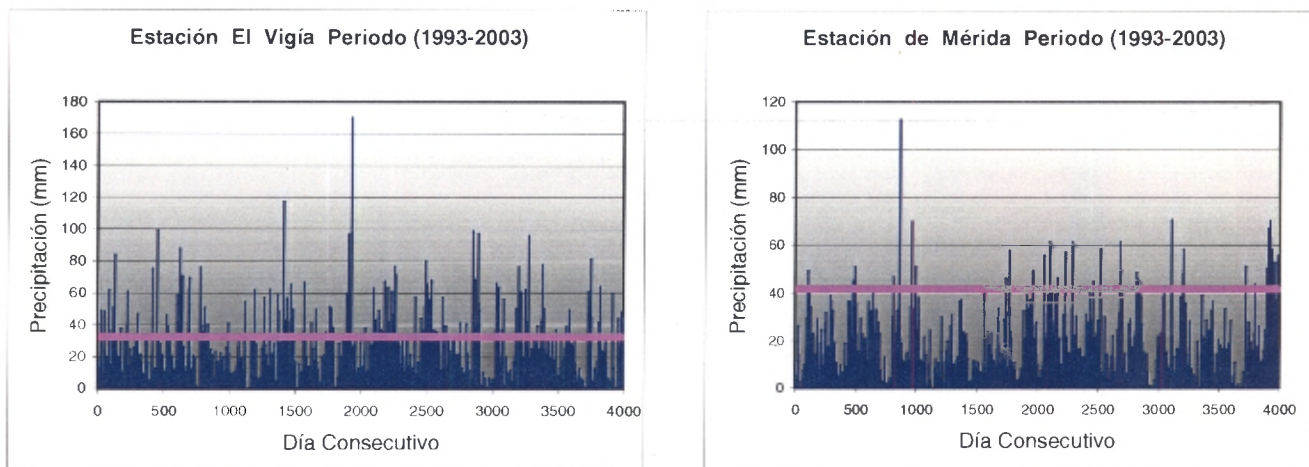


Es preciso notar que en el análisis de la distribución de frecuencia en este grupo de estaciones, la precipitación obtenida presenta valores muy bajos, éstos se ven reflejados en el histograma, los mismos se presentan a partir de 19.9 mm, los cuales sirven de punto de referencia para el análisis, por encontrarse por debajo del 10 % y lo hace ideal para aplicar la técnica de Mann-Kendall.

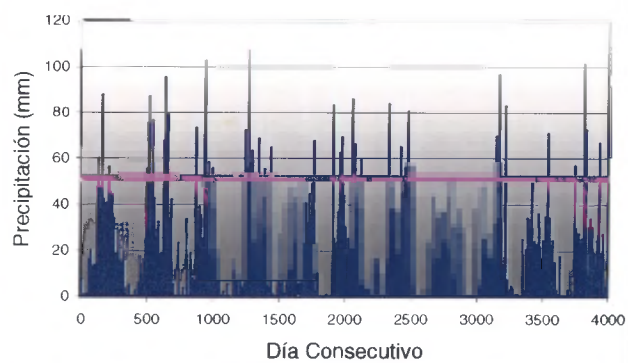
Las figuras muestran aproximaciones realizadas con diferentes cantidades de valores máximos, notando que cada límite que se calcula con cierto número de datos, dependiendo de la estación, lo que se hace es aproximar el número de datos a un punto donde la recta cambia de pendiente, ya que según Gerstengarbe y Werner (1989), el límite de una región de valores extremos puede ser definido como el punto a partir del cual los cambios de las diferencias de una región parcial son significativamente diferentes al resto de la serie.

En la siguiente figura 42 se muestran los eventos de precipitación de la serie temporal (1993-2003), de las estaciones de la región de Los Andes. En la misma se representan la precipitación y los eventos extremos de cada una de las estaciones pertenecientes a la región. Los mismos pueden ser reconocidos en las gráficas luego de sobrepasar la línea segmentada que se encuentra asociada al umbral de precipitación o la cantidad mínima de precipitación requerida para separar los datos normales de los valores extremos.

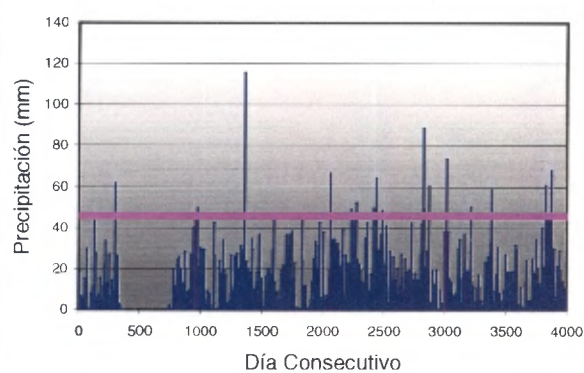
Figura 42. Serie de precipitación diaria para las estaciones pertenecientes a la región de Los Andes, con el umbral de valores extremos mediante la prueba de Mann Kendall secuencial.



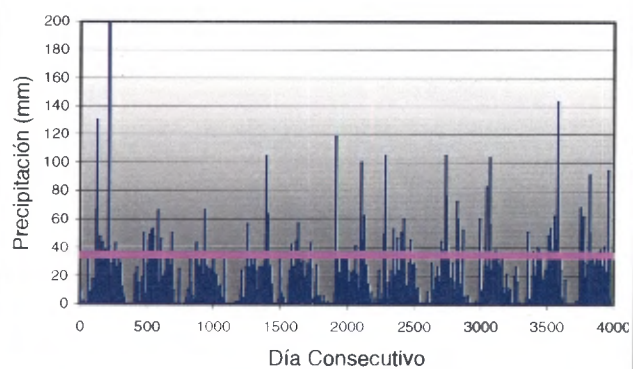
Estación de Barinas Periodo (1993-2003)



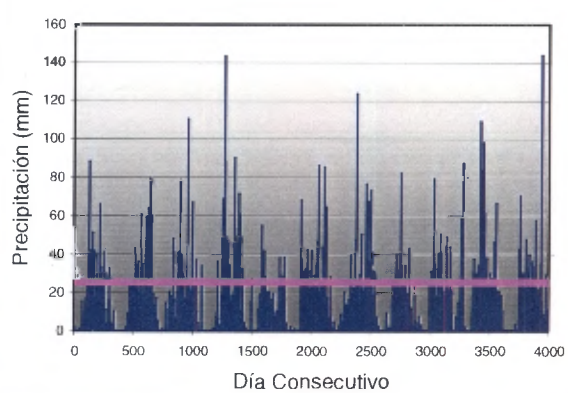
Estación de Valera Periodo (1993-2003)



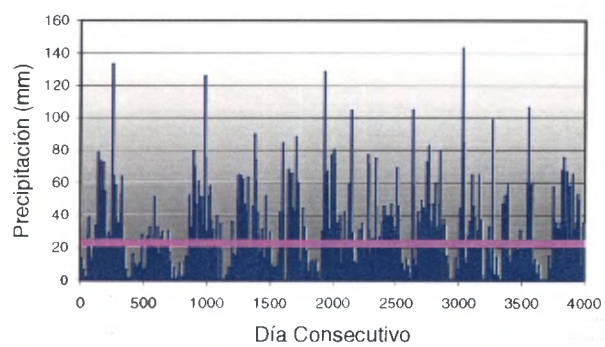
Estación de Guanare Periodo (1993-2003)



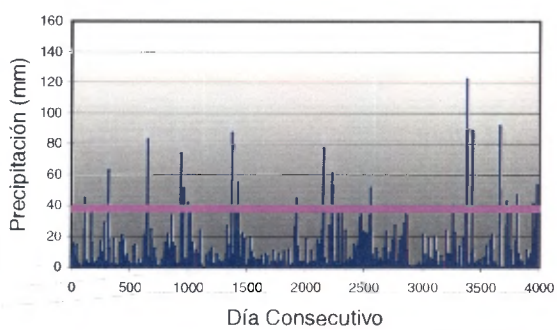
Estación de Acarigua Periodo (1993-2003)



Estación Santo Domingo Periodo (1993-2003)



Estación San Antonio del Táchira Periodo (1993-2003)



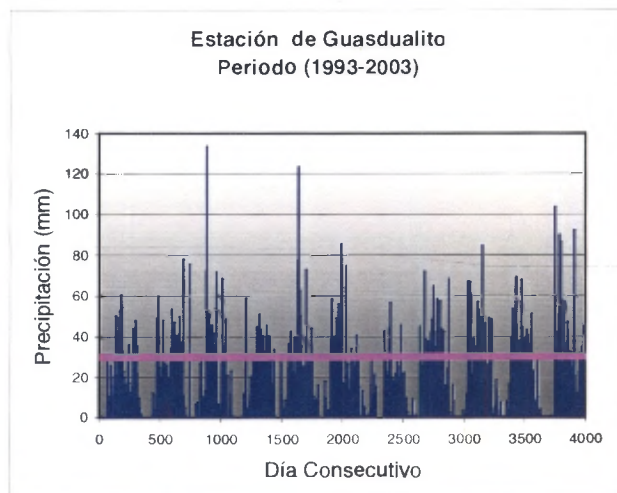
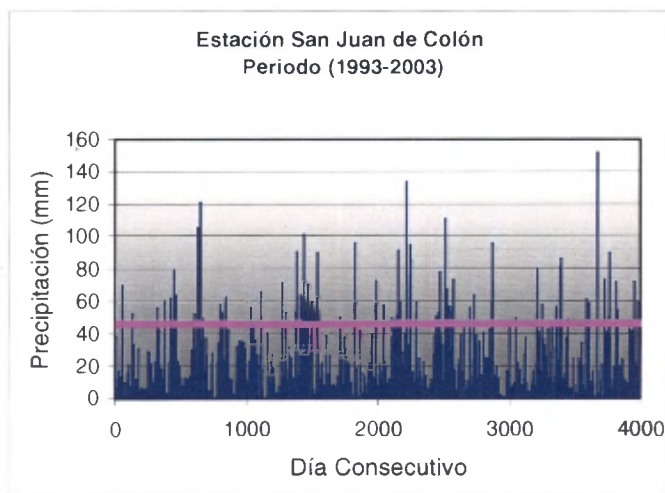
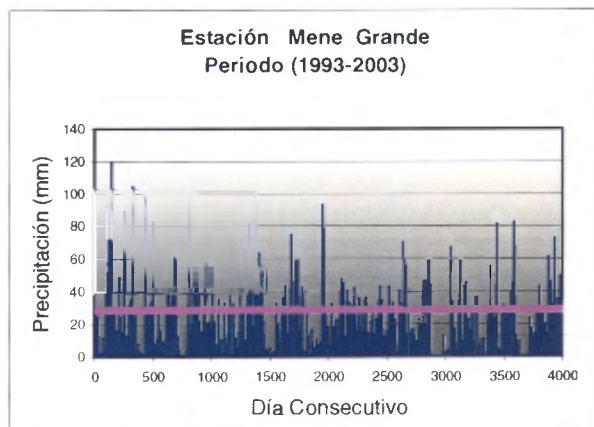
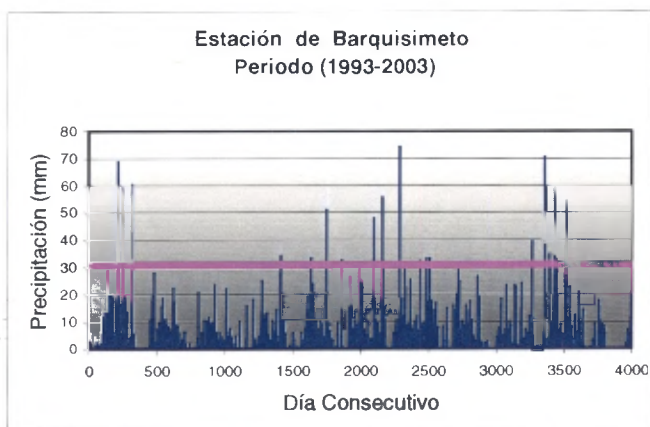
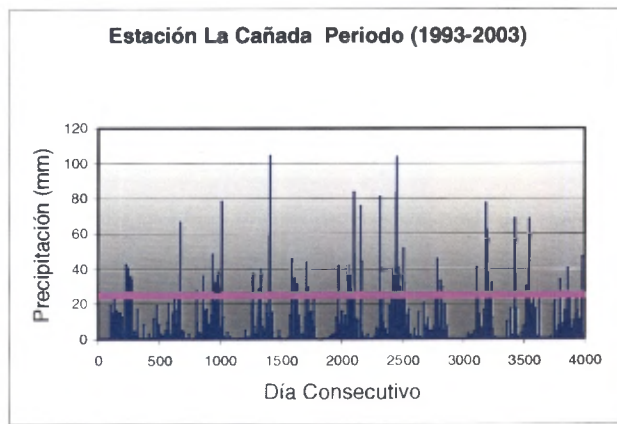
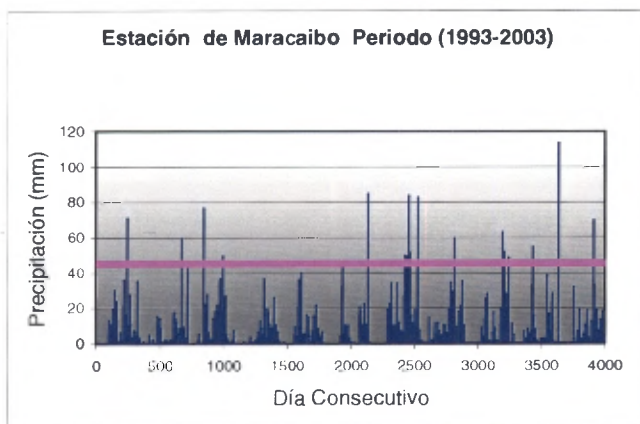
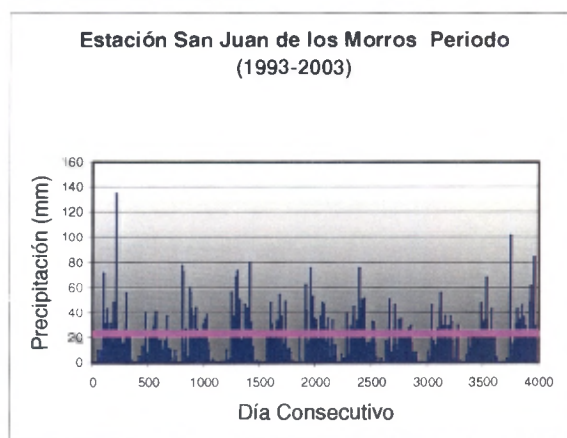
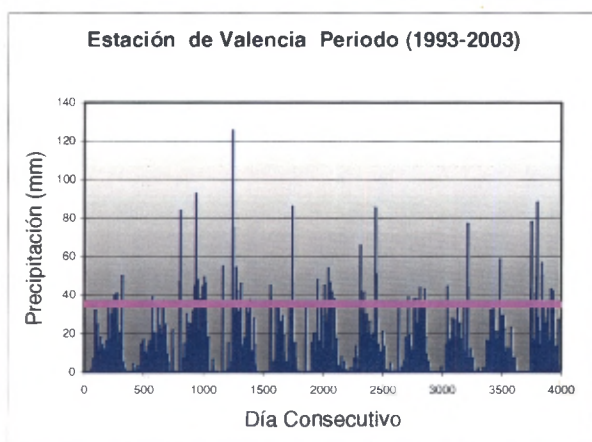
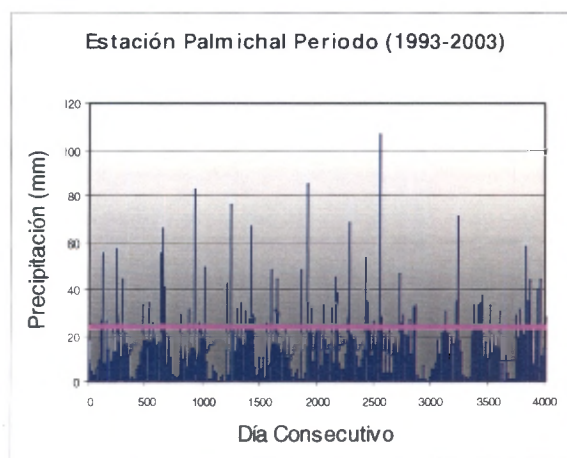
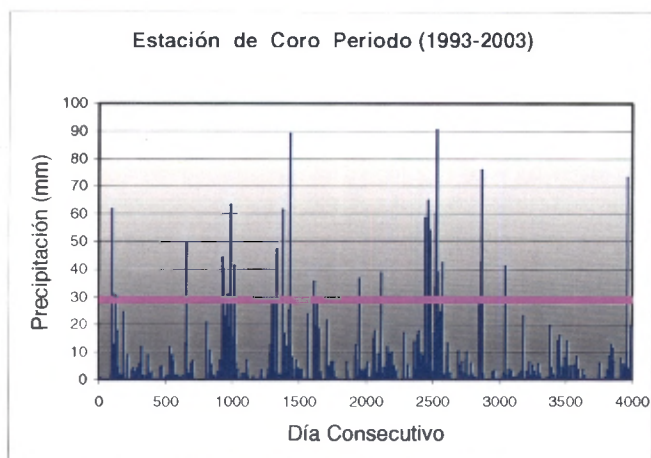


Figura 43. Serie de precipitación diaria para las estaciones pertenecientes a la región Noroccidental, con el umbral de valores extremos mediante la prueba de Mann Kendall secuencial.





Una vez realizado este procedimiento, se tendrá en cuenta que cualquier evento que resultase superior a esta cantidad de precipitación o límite calculado, podría llegar a considerarse un evento extremo para la estación afectada y debe ser comparado con el resto de estaciones, para seleccionar fechas en común.

Así se podría saber con el respaldo de las imágenes satelitales si alguna tormenta se desplazó fuera de la región o si sencillamente el área afectada durante el desarrollo de la misma fue menor.

Luego de obtener los datos de referencia se procede a establecer una comparación de todos los valores de precipitación en orden cronológico, esto permite identificar fechas de

eventos extremos comunes en algún día específico, para destacar los de mayor intensidad y las más comunes entre todas las estaciones.

Después de realizar este análisis y teniendo los umbrales o la cantidad límite de precipitación para valores extremos de las estaciones, junto con las gráficas, se lleva a cabo la comparación de los datos de lluvia de todas las estaciones para ambas regiones, la cual se hace por día en toda la serie de los diez años. El procedimiento busca relacionar eventos extremos con fechas en común como se mencionó anteriormente, que pudieran ser objeto de estudio por la alta intensidad de precipitación afectando un número considerable de estaciones.

Una vez terminada la comparación, se observó en repetidas ocasiones la ocurrencia de eventos extremos o precipitaciones muy intensas para algunas estaciones, mientras que en las otras la lluvia registrada era muy baja y hasta resultaba despreciable. Este hecho se debe a la gran distancia horizontal que existe entre cada una de las estaciones, considerando que podrían ser hasta de varios cientos de kilómetros de distancia que las separan, lo que imposibilita un poco estudiar un área menor con mayor detalle, así como obtener un evento extremo en común para todas las estaciones de la región. Sin embargo, los eventos seleccionados se caracterizan por ser categorizados como extremos para unas estaciones a partir de la prueba estadística, con cierta cantidad de lluvia registrada en la mayoría de estaciones restantes. Los mismos fueron seleccionados tomando en cuenta el mayor número de estaciones meteorológicas que registraban eventos extremos según la prueba, pero además presentaban los valores más altos de precipitación en estos valores extremos. De esta forma, se seleccionaron tres fechas distintas dentro de la serie temporal estudiada para llevar a cabo el estudio de los eventos extremos más significativos en este periodo de diez años.

La comparación de los eventos extremos se hizo para cada región; es decir, tanto la región de Los Andes y región Noroccidental, y los resultados se pueden resumir en las tablas siguientes.

Tabla 23. Límite de la región de Los Andes de los valores máximos extremos.

Código	Estación	Nº días de registro	Valor límite (mm)	Número de eventos ocurridos	Probabilidad de ocurrencia de los valores máximos ocurridos (%)
8047500	Santo Domingo	3957	22,6	175	4,3
8044700	San Antonio del Táchira.	3987	38,1	25	0,90
8092	San Juan de Colón	3995	46,1	85	1,23
8043700	El Vigía	3987	32,3	152	3,34
8043800	Mérida	3987	41,7	36	1,48
8044000	Barinas	3926	51,8	47	0,74
8042600	Valera	3622	46,0	18	0,99
8042800	Guanare	3957	34,9	87	3,74
8042700	Acarigua	3656	25,4	168	2,88
8044800	Guasualito	3836	30,3	175	3,36

Tabla 24. Límite de la región Noroccidental de los valores máximos extremos.

Código	Estación	Nº días de registro	Valor límite (mm)	Número de eventos ocurridos	Probabilidad de ocurrencia de los valores máximos ocurridos (%)
804077	Maracaibo	3598	45,5	18	0,44
8047600	La Cañada	3867	24,8	60	2,15
8042500	Mene Grande	4014	28,5	144	4,93
8041000	Barquisimeto	3987	30,8	24	0,75
8040300	Coro	3714	29,1	26	0,59
8047900	Palmichal	3986	24,1	102	1,96
8047200	Valencia	3897	35,3	52	1,72
8043100	San Juan de los Morros	3897	23,0	174	5,72

Posteriormente a este análisis se hizo un conteo general de los eventos extremos ocurridos en cada región vistos en las dos siguientes tablas.

Tabla 25 Número de eventos extremos en total para la serie para la región de los Andes en la serie de tiempo 1993-2003

Año /Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	1	2	3	4	14	21	11	10	12	12	13	-
1994	1	3	2	13	4	12	7	14	15	18	8	4
1995	1	2	8	7	6	18	16	17	11	13	7	3
1996	3	-	1	5	-	18	15	11	9	22	12	7
1997	7	4	2	4	9	8	15	11	7	7	9	1
1998	-	-	-	15	19	17	12	13	7	19	13	8
1999	5	12	5	14	4	5	10	15	13	14	9	12
2000	5	-	5	2	12	16	23	10	14	15	15	3
2001	-	-	2	8	11	13	15	6	7	7	5	7
2002	-	1	7	16	15	12	6	8	16	11	1	-
2003	2	-	5	16	13	17	12	12	12	9	14	6
Total	25	24	40	104	107	157	142	127	123	147	106	51

Tabla # 26 Número de eventos extremos en total para la serie para la región Noroccidental en la serie de tiempo 1993-2003

Año /Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1993	-	-	-	9	9	5	2	5	10	5	6	1
1994	-	-	1	6	1	5	6	3	3	8	6	1
1995	-	-	10	3	6	4	8	8	7	11	-	1
1996	1	1	2	3		12	10	11	3	11	8	5
1997	-	-	-	4	4	13	7	4	4	4	2	
1998	-	3	1	4	15	5	5	7	6	10	5	8
1999	1	2	1	10	7	5	5	6	19	9	7	9
2000	4	1	2	2	1	3	4	4	9	10	5	
2001	-	-	-	-	6	1	8	1	4	6	5	4
2002	-	-	3	7	8	6	2	9	6	6	2	2
2003	-	-	-	4	4	5	9	7	4	10	9	4
Total	6	7	20	52	61	64	68	65	75	90	55	35

La región de Los Andes presenta mayor cantidad de eventos extremos en el periodo de estudio, si bien es cierto que en esta región se trabajó con mayor cantidad de datos, al ser aportados por dos estaciones de más, pero cuando se compara el número de eventos extremos ocurridos por estación en cada región, resulta determinante la región de Los Andes en la producción de eventos extremos. Es posible que la compleja orografía, encabezada por la Cordillera de Los Andes se encuentre asociada a esta situación, ya que

gran parte del flujo durante su desplazamiento choca con las laderas produciendo ascenso de masas de aire que desencadenan la formación de convección.

Se realizó un conteo muy detallado del número de eventos extremos, esta vez ocurridos en cada mes a lo largo de los diez años para cada una de las estaciones pertenecientes a las dos regiones que abarca el estudio, lo cual permite dar una idea de los meses del año propensos a ocurrir eventos extremos de precipitación, dependiendo de la estación dentro de la región donde se encuentra.

Datos para la región de Los Andes:

Tabla 27. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Santo Domingo.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	1	-	2	-	1	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	1	-	1	-	--	-	-
Marzo	2	-	-	-	-	-	1	2	-	2	-
Abril	-	-	-	2	-	6	5	-	3	3	3
Mayo	4	1	2	-	5	8	2	7	3	1	3
Junio	11	2	8	9	-	7	2	8	3	1	4
Julio	5	2	7	5	9	6	3	11	7	1	7
Agosto	3	2	6	4	10	5	7	7	2	-	4
Septiembre	7	1	5	2	5	2	6	6	2	3	3
Octubre	5	3	6	6	-	3	3	5	-	6	3
Noviembre	7	1	3	2	-	7	6	4	1	--	3
Diciembre	-	1	-	1	-	1	2	1	1	--	1

Tabla 28. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Antonio del Táchira.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
Febrero	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Abril	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1
Mayo	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	3	-	-	1	-	-	-	-	-
Septiembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Octubre	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Noviembre	2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Diciembre	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	2

Tabla 29. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Guasdalito.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Abril	-	2	1	1	3	1	-	-	1	2	2
Mayo	1	1	-	-	1	2	-	3	2	4	7
Junio	4	1	7	-	3	4	1	2	2	3	2
Julio	3	-	4	3	5	1	3	5	5	2	3
Agosto	-	4	4	4	1	1	-	3	1	3	3
Septiembre	2	1	-	2	-	1	-	2	1	2	3
Octubre	4	3	4	4	1	1	1	1	1	1	-
Noviembre	1	3	1	1	3	-	-	1	1	-	2
Diciembre	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1

Tabla 30. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Juan de Colón.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	1	-	1	1	-	1	2	-	-	1
Febrero	1	1	-	-	1	-	3	-	-	-	-
Marzo	-	2	2	-	2	-	-	-	-	2	1
Abril	-	3	3	-	-	-	2	1	-	3	1
Mayo	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
Junio	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1	2
Julio	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Septiembre	-	2	-	-	1	-	2	-	-	1	-
Octubre	-	3	-	2	-	2	1	-	1	-	-
Noviembre	1	1	1	2	-	2	1	2	1	1	2
Diciembre	-	-	-	2	1	1	4	-	-	-	-

Tabla 31. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de El Vigía.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	1	-	-	1	5	-	3	2	-	-	-
Febrero	1	2	2	-	-	-	3	-	3	1	-
Marzo	-	-	5	1	-	-	2	2	-	1	2
Abril	3	2	2	1	1	2	1	1	1	2	3
Mayo	2	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-
Junio	1	2	-	1	1	-	1	-	2	1	2
Julio	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-
Agosto	1	2	-	1	-	-	1	-	-	-	1
Septiembre	-	4	1	-	-	1	1	1	2	2	1
Octubre	-	2	-	2	2	2	3	2	2	-	-
Noviembre	1	2	-	4	2	3	4	5	2	-	2
Diciembre	-	3	-	1	-	4	4	2	2	-	1

Tabla 35. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Guanare.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Abril	-	1	-	-	-	1	5	-	1	-	3
Mayo	2	-	1	-	1	2	-	-	1	1	-
Junio	2	3	-	1	3	1	1	2	2	2	2
Julio	1	3	1	-	-	-	1	3	1	-	-
Agosto	2	1	-	-	-	1	3	-	-	3	-
Septiembre	2	1	-	-	1	-	-	1	-	2	2
Octubre	1	1	1	1	-	3	1	2	-	3	1
Noviembre	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1
Diciembre	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 36. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Acarigua.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-
Abril	-	2	1	1	-	4	-	-	2	2	3
Mayo	2	-	-	-	2	5	1	-	2	5	2
Junio	2	2	3	3	1	1	-	3	4	4	5
Julio	1	2	4	3	-	4	3	3	1	2	1
Agosto	3	3	2	2	-	4	2	-	2	2	2
Septiembre	1	5	1	3	-	1	1	2	1	5	-
Octubre	1	3	1	5	3	6	2	1	-	1	2
Noviembre	1	-	2	2	2	-	2	1	-	-	1
Diciembre	-	-	1	-	-	1	1	-	3	-	-

Datos para la región Noroccidental

Tabla 37. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Maracaibo.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Abril	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
Junio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1
Septiembre	1	-	1	-	-	-	2	1	1	2	1
Octubre	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-
Noviembre	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	-
Diciembre	-	1	-	-	-	-	-	1	1	1	-

Tabla 38. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de La Cañada.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mayo	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-
Junio	-	-	-	1	2	1	-	-	-	-	1
Julio	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-
Agosto	1	-	2	2	-	1	1	1	-	1	-
Septiembre	2	-	1	-	2	2	5	1	1	-	-
Octubre	1	1	1	-	-	1	4	1	2	4	1
Noviembre	-	1	-	1	-	1	1	-	1	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1

Tabla 39. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Mene Grande.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-
Febrero	-	-	-	1	-	-	2	1	-	-	-
Marzo	-	1	3	1	-	-	1	2	-	1	-
Abril	1	3	1	1	2	-	1	1	-	4	-
Mayo	4	1	2	-	-	8	2	1	3	-	-
Junio	1	-	1	4	4	-	-	-	-	2	1
Julio	1	-	-	-	1	1	1	-	2	-	-
Agosto	-	-	2	4	2	-	-	-	-	1	1
Septiembre	1	2	2	2	2	-	3	4	2	-	2
Octubre	1	2	2	3	1	3	-	2	-	-	2
Noviembre	-	1	-	1	-	1	1	-	1	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1

Tabla 40. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de Barquisimeto.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Abril	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
Mayo	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-
Junio	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
Julio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agosto	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Septiembre	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Octubre	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-
Noviembre	1	-	-	1	-	-	2	-	-	-	-
Diciembre	-	-	-	-	-	2	-	-	1	-	-

Tabla 44. Número de eventos extremos por mes y por años en total para la estación de San Juan de Los Morros.

Mes/Año	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Enero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febrero	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	-	-	3	-	-	2	-	-	-	-	-
Abril	4	1	1	-	-	1	3	1	-	-	1
Mayo	4	-	2	-	2	3	2	-	2	1	1
Junio	3	2	3	3	1	3	2	1	1	2	3
Julio	1	5	3	8	5	2	4	2	4	1	5
Agosto	3	2	1	3	2	3	2	1	1	3	3
Septiembre	1	-	2	-	-	3	1	1	1	4	-
Octubre	-	-	4	5	1	2	-	2	4	1	5
Noviembre	1	1	-	2	-	1	1	1	1	-	2
Diciembre	1	-	-	-	-	-	3	-	1	-	-

Tabla 45. Archivo histórico de eventos cálidos y fríos o episodios de "El Niño" y "La Niña" ocurridos en el periodo 1993-2003 (M. L. de la Cruz, 2003)

EVENTO CALIDO		EVENTO FRIO	
Comienza	Finaliza	Comienza	Finaliza
Feb, Mar, Abr 1993	Jun, Jul, Ago 1993	Ago, Sep, Oct 1995	Mar, Abr, May 1996
Ago, Sep, Oct 1994	Feb, Mar, Abr 1995	Jun, Jul, Ago 1998	Feb, Mar, Abr 2001
Abr, May, Jun 1997	Mar, Abr, May 1998		
May, Jun, Jul, 2002	Feb, Mar, Abr 2003		

Comparando los datos ubicados en las tablas, producto del conteo del número de eventos extremos por estaciones ocurridos en cada uno de los meses desde 1993 al 2003, con la tabla de fechas de los eventos históricos de los fenómenos ocurridos de "El Niño" y "La Niña", se concluye que en el periodo (1993-2003) se presentaron hasta cuatro tipos de eventos cálidos del ENOS, influyendo considerablemente en la reducción del número de eventos extremos de precipitación, esta observación se ajusta a lo que normalmente se produce durante la ocurrencia de "El Niño", manifestada en una gran reducción de la precipitación, no sólo en las regiones de estudio, sino que afecta al país en general.

Para los dos eventos de fases frías o el fenómeno de "La Niña", ocurridos durante el periodo que abarca la serie (1993-2003), no se aprecia ningún cambio significativo en la ocurrencia de eventos extremos, sólo un leve aumento en el número observado éstos en muy pocas estaciones.

Sin embargo, se podría considerar que las condiciones naturales podrían ser más favorables, para que los eventos extremos de precipitación se produzcan, debido a que en las “fases frías” generalmente se observa un aumento de la precipitación en el país.

A partir de los datos de temperatura también se pueden obtener los eventos extremos en el análisis de la serie temporal dentro del periodo de estudio. El estudio se llevó a cabo haciendo una representación de los puntos atípicos que corresponderán a fechas de eventos extremos, los mismos se encuentran ubicados fuera del rango de datos o valores comunes dentro del diagrama representativo, lo cual permite comparar rápidamente la ocurrencia de eventos extremos en cada una de las estaciones para un periodo específico. Asimismo, se tendrá la influencia de la temperatura en la ocurrencia de eventos extremos.

El análisis fue hecho para ciertas estaciones representativas de la región de los Andes y región Noroccidental, obteniéndose dentro de cada una de las gráficas los llamados puntos atípicos (conocidos en inglés como “outliers”, que están directamente relacionados con la posible presencia de eventos extremos.

Región de Los Andes

Figura 44. Representación de puntos atípicos para la estación de Mérida en el periodo 1993-2003.

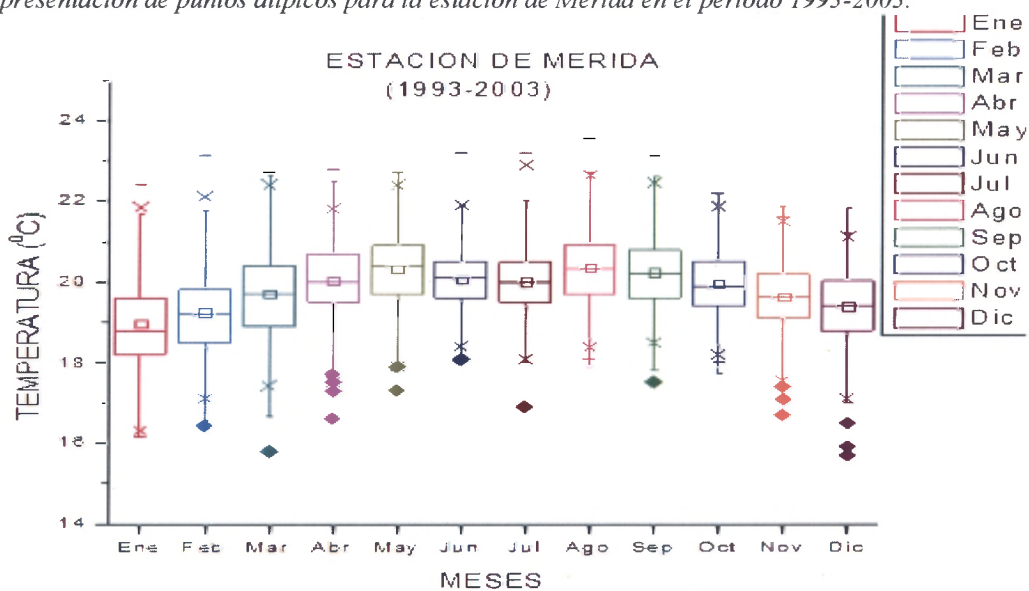


Figura 45. Representación de puntos atípicos para la estación de El Vigía en el periodo 1993-2003.

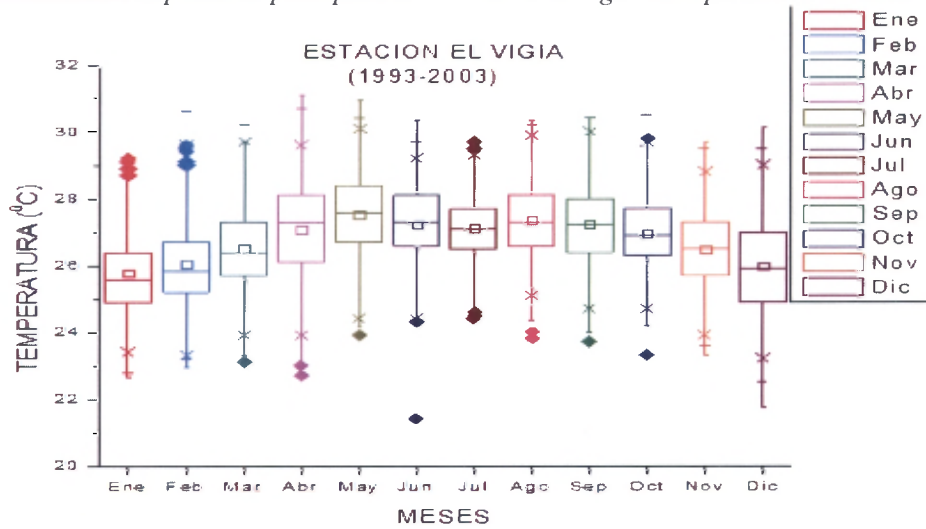


Figura 46. Representación de puntos atípicos para la estación de San Antonio del Táchira en el periodo 1993-2003.

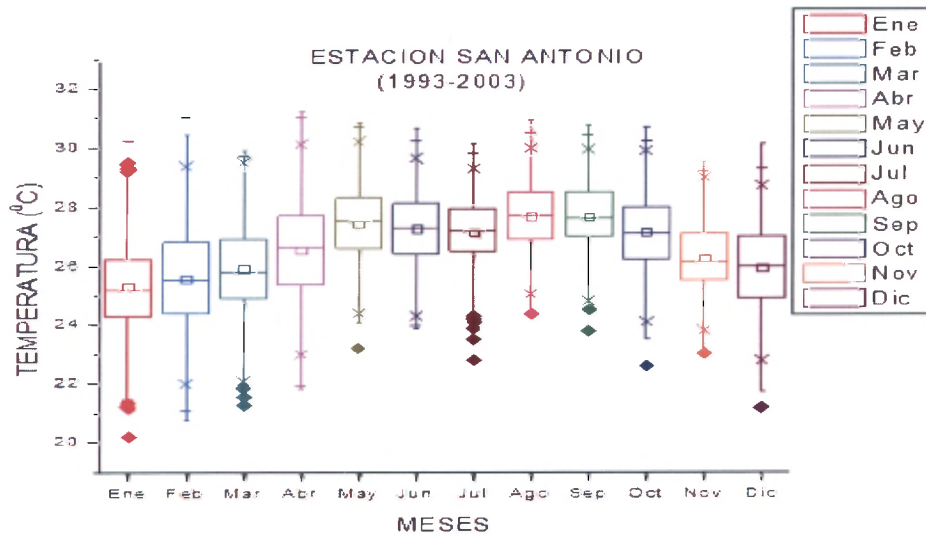


Figura 47. Representación de puntos atípicos para la estación de Santo Domingo en el periodo 1993-2003.

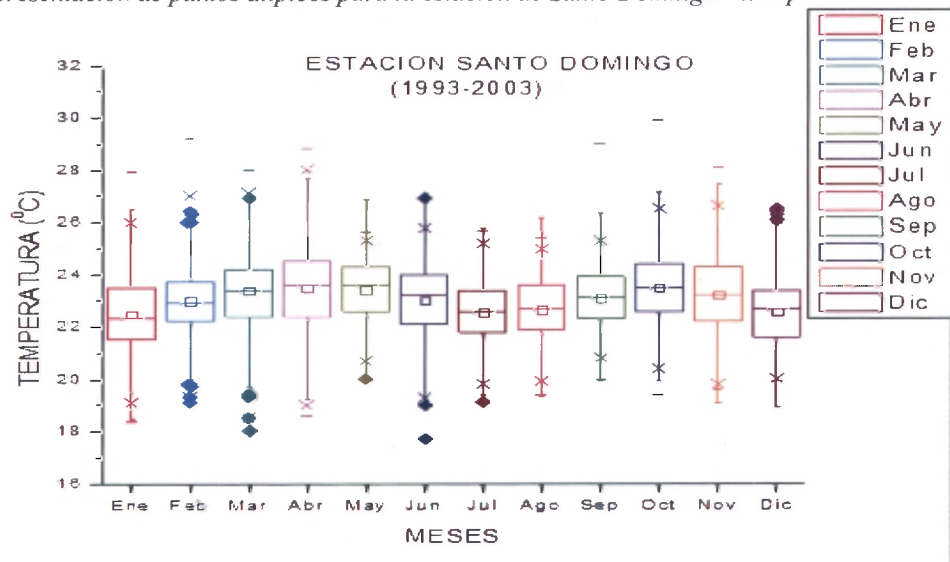
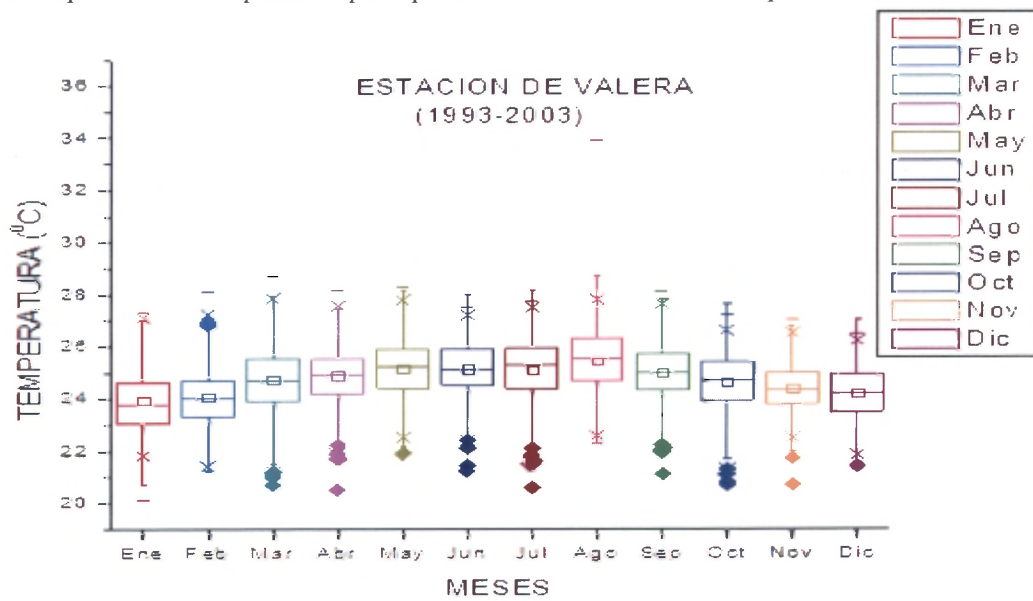


Figura 48. Representación de puntos atípicos para la estación de Valera en el periodo 1993-2003.



Región Noroccidental

Figura 49. Representación de puntos atípicos para la estación de Maracaibo en el periodo 1993-2003.

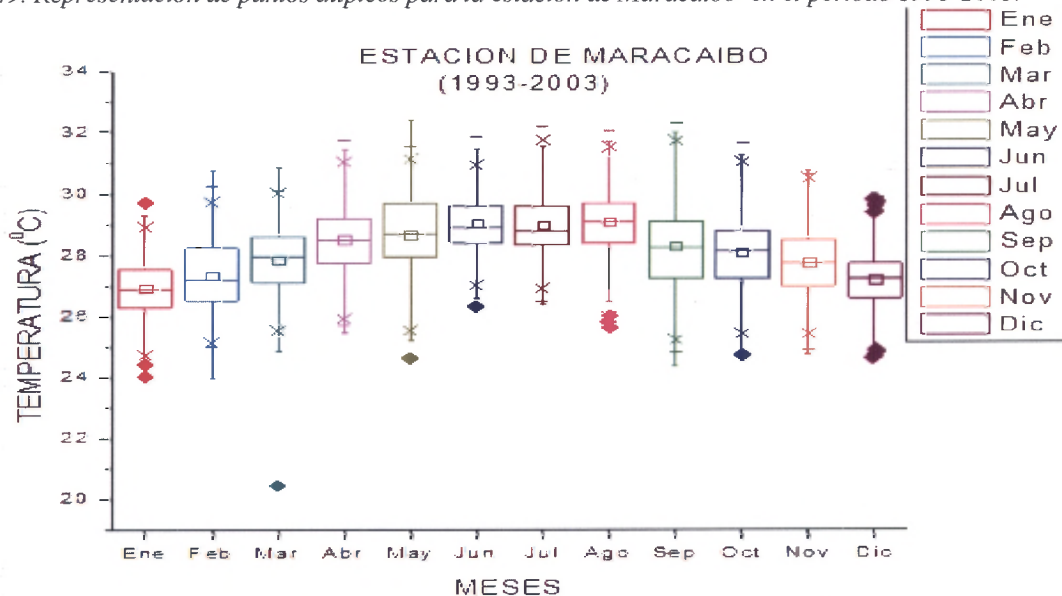


Figura 50. Representación de puntos atípicos para la estación de Coro en el periodo 1993-2003.

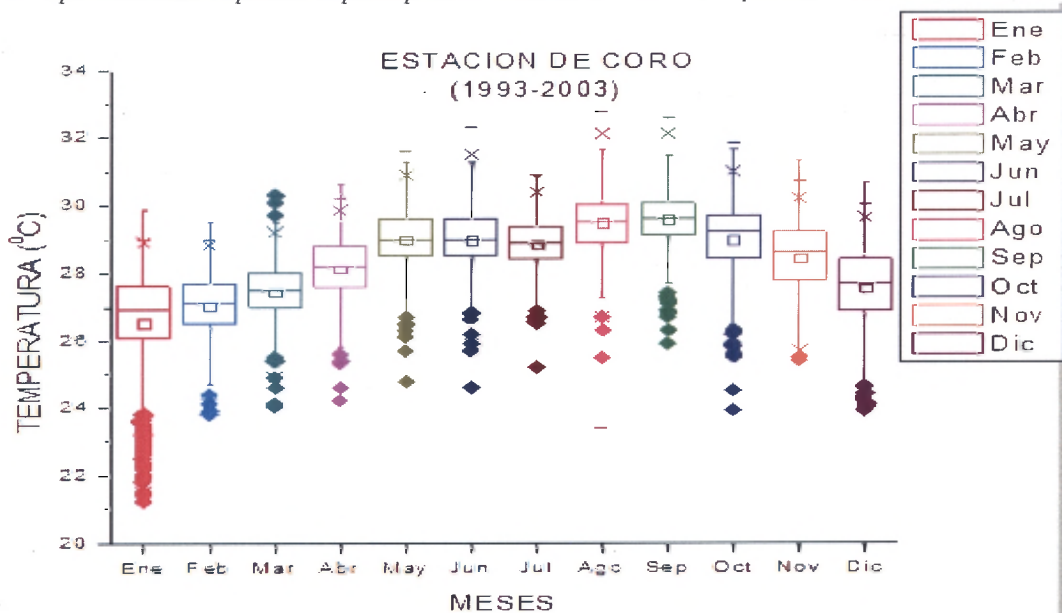


Figura 51. Representación de puntos atípicos para la estación de Barquisimeto en el periodo 1993-2003.

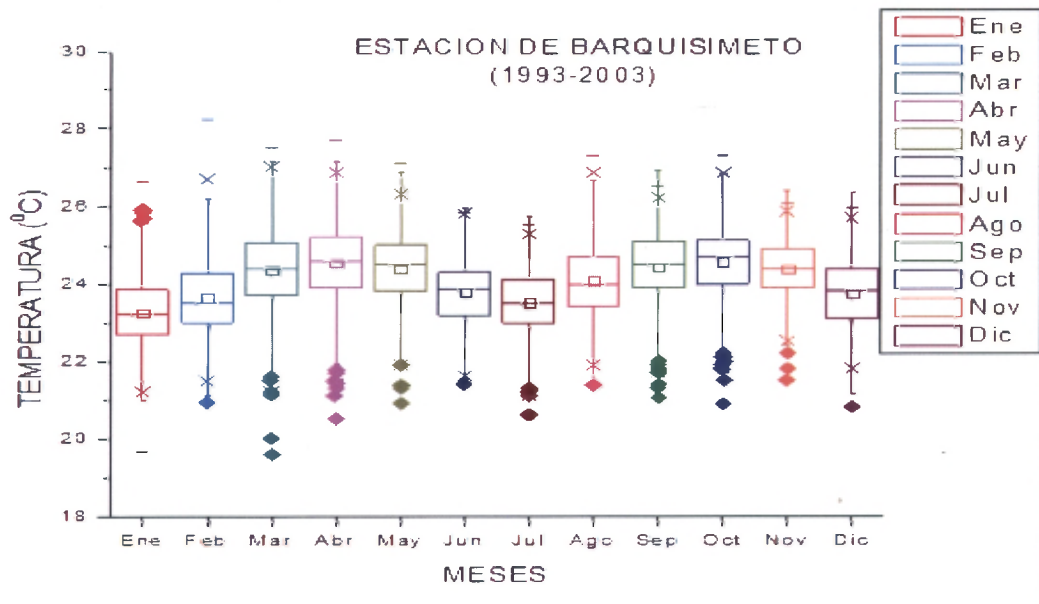
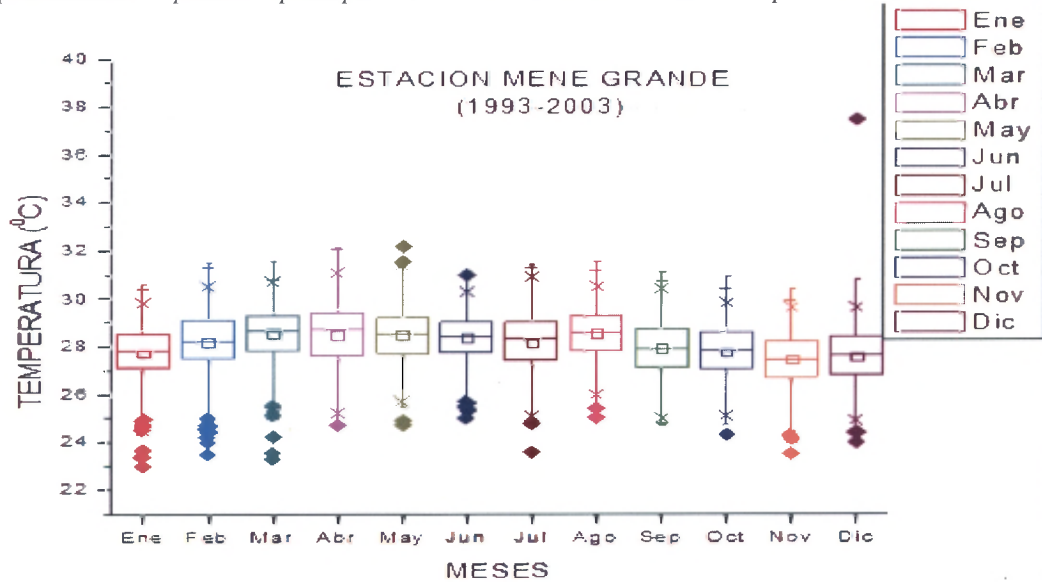


Figura 52. Representación de puntos atípicos para la estación de Mene Grande en el periodo 1993-2003.



4.3 Analizar las condiciones sinópticas asociadas a eventos extremos

Para realizar el análisis sinóptico se utilizaron las líneas de corriente, el parámetro omega, la humedad relativa, el viento zonal, el viento meridional y sus anomalías, y el potencial de la velocidad del viento.

4.3.1 Definiciones de los campos de interés:

- **Líneas de corriente**

Son aquellas líneas paralelas en cualquier punto a la velocidad instantánea del viento, lo que hace que nunca sean atravesadas por éste (Holton, 2004). Las líneas se trazaron a partir de la información del reanálisis (Kanamitsu et al., 1991), utilizando las coordenadas de las componentes de viento zonal y meridional. En cada uno de los casos se obtuvieron en los niveles: 250 hPa, 500 hPa, 850 hPa, 925 hPa y superficie, con una resolución temporal de 6 horas: 0, 6, 12 y 18 UTC, para tratar de obtener mayor información del desplazamiento de los sistemas de cada evento.

- **Parámetro omega**

Este parámetro permite obtener una aproximación al movimiento vertical de la atmósfera en la escala sinóptica (Holton 2004)

De acuerdo a la ecuación de equilibrio hidrostático se obtiene:

$$\begin{aligned} dP &\approx -\rho g dz \\ \frac{dP}{dt} &= -\rho g \frac{dz}{dt} \end{aligned} \quad (4.3.1)$$

Además

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{dP}{dt} \\ \omega &\approx -\rho g w \end{aligned} \quad (4.3.2)$$

$$w = \frac{dz}{dt}$$

A través de esta variable se determina indirectamente el tipo de desplazamiento vertical de las masas de aire; es decir, si se efectúan movimientos ascendentes o

descendentes en la atmósfera, ya que esta variable resulta ser inversamente proporcional a la velocidad vertical.

- **Humedad Relativa**

Es una medida del grado de saturación de la masa de aire a una temperatura dada. Es el porcentaje de la cantidad de humedad de la masa de aire presente en la atmósfera a una temperatura dada y la cantidad necesaria para saturar el ambiente a la misma temperatura. El aire está saturado cuando la humedad relativa es del 100% (Wiesner, 1970)

$$HR = \frac{\rho_w}{\rho_{ws}} * 100 \quad (4.3.3)$$

Donde ρ_w representa la masa de vapor de agua en un volumen dado a una temperatura dada:

$$\rho_w = \frac{m}{V} \quad (4.3.4) \quad m: \text{masa de vapor de agua}$$

V: volumen

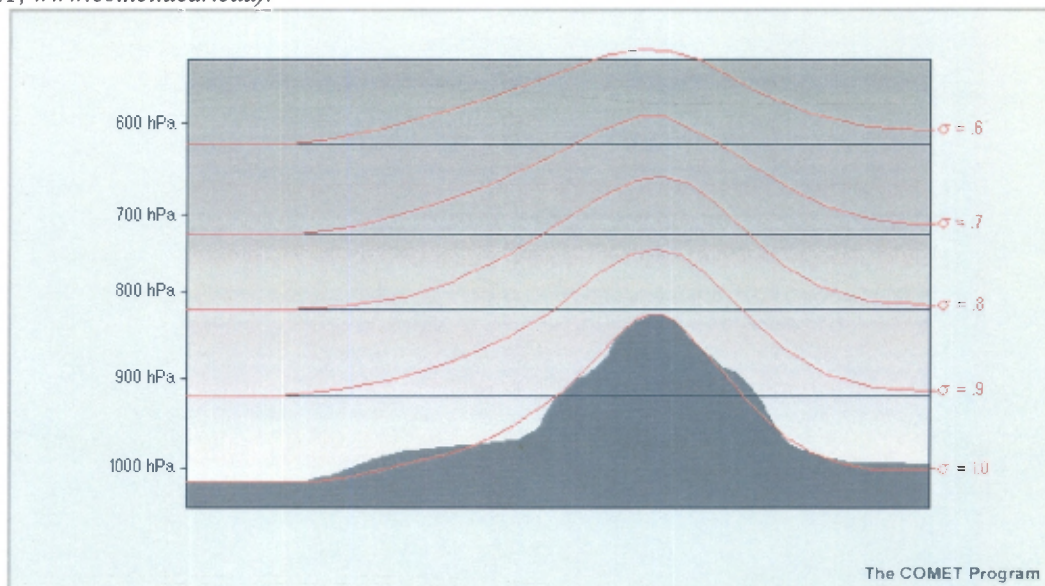
De la misma manera se define ρ_{ws} como la humedad absoluta si el aire estuviera saturado a una temperatura dada.

- **Potencial de la velocidad del viento**

El viento se descompone en la componente rotacional, vista a través de la función de corriente y la componente divergente, expresada por medio del potencial de la velocidad. Los valores negativos del potencial de la velocidad están asociados con divergencia y los valores positivos, con convergencia (Bluestein, 1992). Si se presentan valores negativos del potencial de velocidad en las capas altas de la atmósfera y valores positivos en superficie, se favorecen los procesos convectivos de gran desarrollo vertical, o mayor precipitación en superficie.

La figura 53 muestra una representación del potencial de la velocidad del viento, aplicado a un sistema orográfico, el cual es dividido en diferentes niveles de acuerdo a la altura presente en el relieve, donde se presenta convergencia y divergencia del flujo, según sean las condiciones atmosféricas existentes que puedan afectar el flujo.

Figura 53. Representación de niveles sigma sobre un terreno montañoso, (Biblioteca del pronosticador del COMET, www.comet.ucar.edu).



- **El radiosondeo**

El radiosondeo resulta ser otra herramienta de mucha ayuda para el estudio de y comportamiento de la atmósfera, ya que aporta mucha información sobre las condiciones climáticas presentes al momento de ocurrir algún tipo de evento, esto permite conocer los posibles factores favorables que dieron lugar la formación de sistemas convectivos. Para nuestro caso se usó la información del sondeo hecho para la fecha en la Isla de Curazao, que se encuentra muy cercana a la región de estudio, dado a que en Venezuela desde los últimos años no se está haciendo uso del sondeo por problemas presupuestarios.

Curazao se encuentra en el suroeste del Caribe. Es la mayor de las Antillas Holandesas, tiene 38 millas (60.8 Km) de largo y de 2 a 7.5 millas (3,2 a 12 Km) de ancho. Está localizada únicamente a 35 millas (56 Km) al norte de Venezuela y 42 millas (67,2 Km) al oriente de Aruba.

4.3.2 Evento del mes de Abril de 1999

Este evento categorizado como extremo por medio de la prueba estadística Mann-Kendall se caracteriza por la formación de sistemas convectivos que causaron precipitaciones para la zona de interés durante varios días, específicamente con fechas del 06, 07, 08, y 09 de abril de 1999, los cuales registran eventos extremos en cada uno de estos días, a partir del 06 comienzan a presentarse los eventos de precipitación y llegan a intensificarse el día 09 del mes de abril. No obstante, la característica particular de las precipitaciones registradas en las estaciones, aunado a lo observado en las imágenes satelitales es la presencia de nubosidad estratiforme, lo que favorece la precipitación de menor intensidad pero prolongadas, especialmente durante las horas nocturnas luego de ser activadas por el calentamiento diurno. Para el 09 de abril se presentaron los mayores conglomerados de nubes cúmulos, que se manifiestan en la ocurrencia de eventos extremos de precipitación para este día, mayor al de los días anteriores, conservando la condición de formarse entre las horas finales de la tarde y durante la noche. Otra característica importante observada es la presencia de abundante nubosidad formada a lo largo de la Cordillera de los Andes tal como se muestran en las figuras 54.i y 54.j, al igual sobre la Sierra de Perijá mostrada en la figura 57.h. Los sistemas convectivos allí formados, pudieron ser causa de abundante precipitación en sus respectivas regiones. Cabe resaltar que los registros de lluvia y eventos extremos no ocurren simultáneamente para todas las estaciones; de hecho, no todas las estaciones presentan registros de lluvia para un mismo día, sólo ciertas estaciones presentan registros de grandes intensidades de lluvia que resultan como eventos extremos según la prueba estadística de Mann-Kendall. Lo que indica que los procesos de convección y precipitación en las regiones fueron por efectos locales, dependiendo de las condiciones naturales que presentaba la atmósfera en ese momento. Otra circunstancia significativa del por qué no ocurren eventos extremos simultáneamente en la mayoría de estaciones, es la considerable distancia existente entre las mismas, lo cual crea un problema en la resolución horizontal debido a que la mayoría de las estaciones no tienen la capacidad y el equipo de medición adecuado, ni cuenta con los

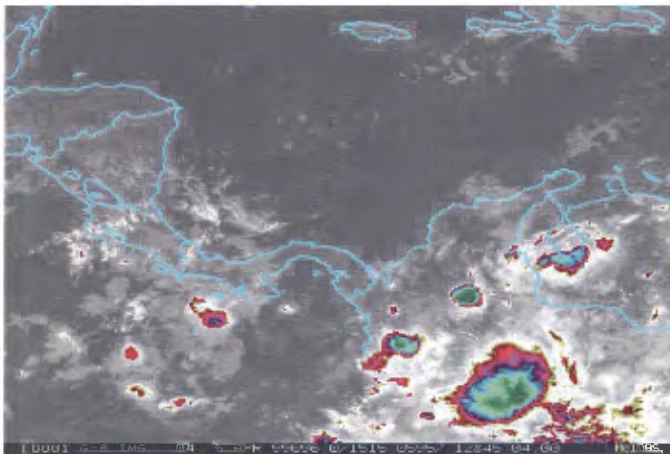
instrumentos necesarios que logren cubrir la mayor distancia posible en el momento de realizar las observaciones.

Figura 54. Escala de colores para valores de temperatura, utilizadas en las imágenes satelitales.

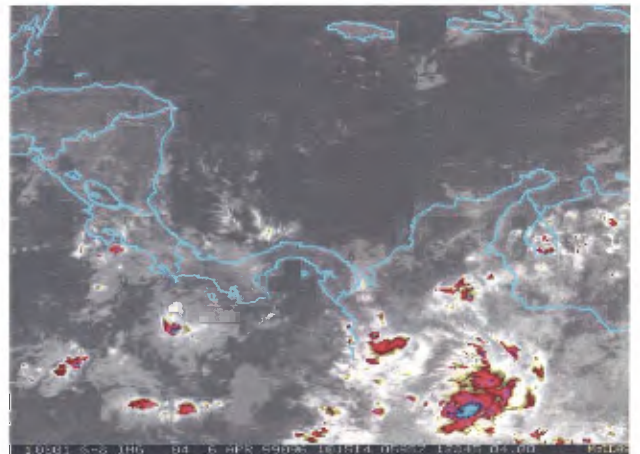


Figura 55. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 06 de abril de 1999.

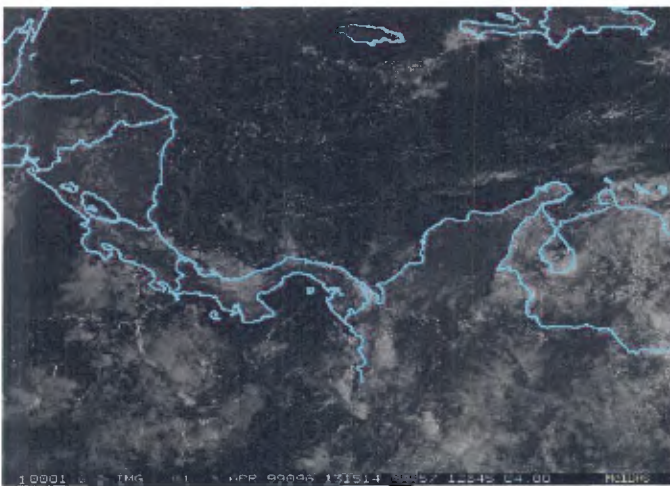
a) 06abr1999 03:15 hrs.



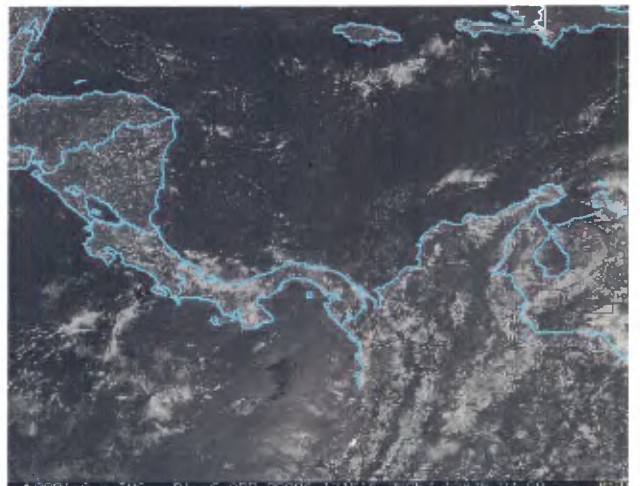
b) 06abr1999 06:15 hrs.



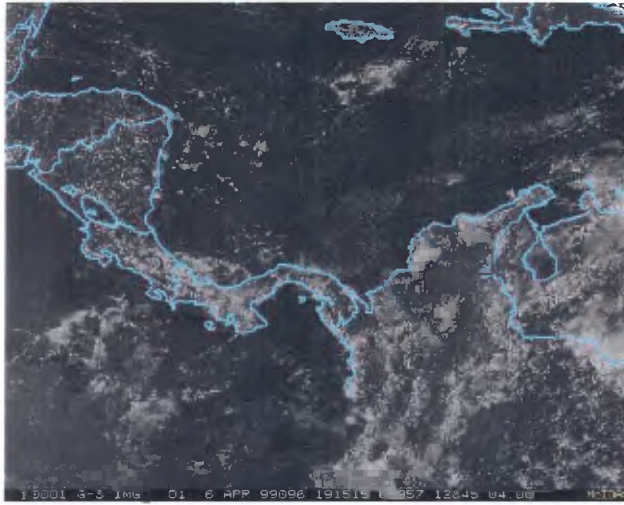
c) 06abr1999 09:15 hrs.



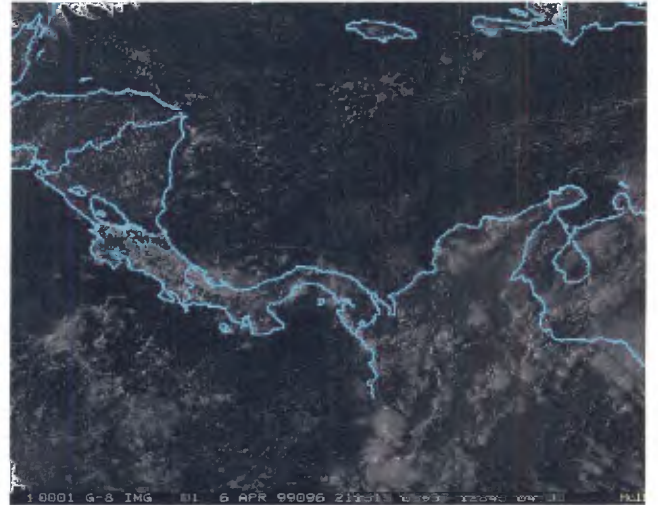
d) 06abr1999 13:15 hrs.



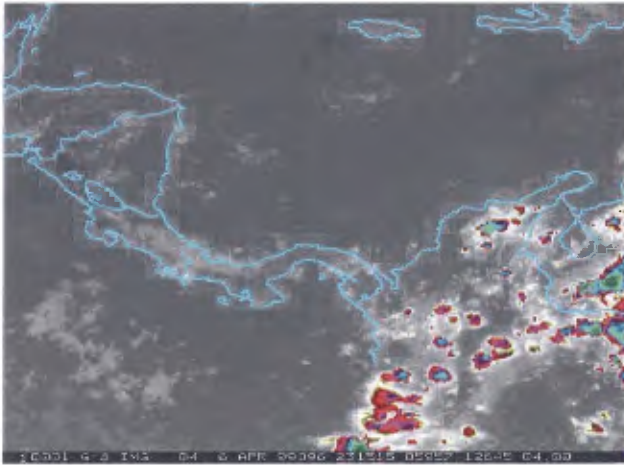
e) 06abr1999 15:15 hrs.



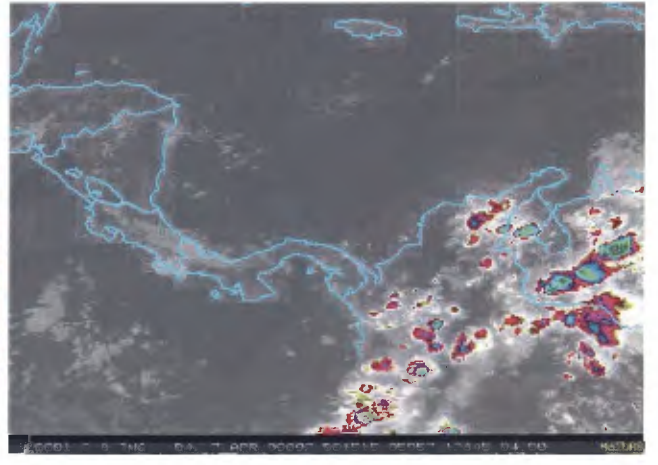
g) 06abr1999 17:15 hrs



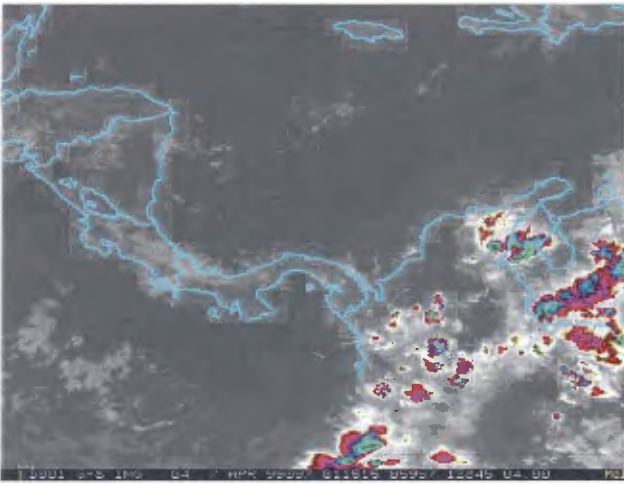
h) 06abr1999 19:15 hrs



i) 06abr1999 20:15 hrs



j) 06abr1999 21:15 hrs



k) 06abr1999 23:15 hrs

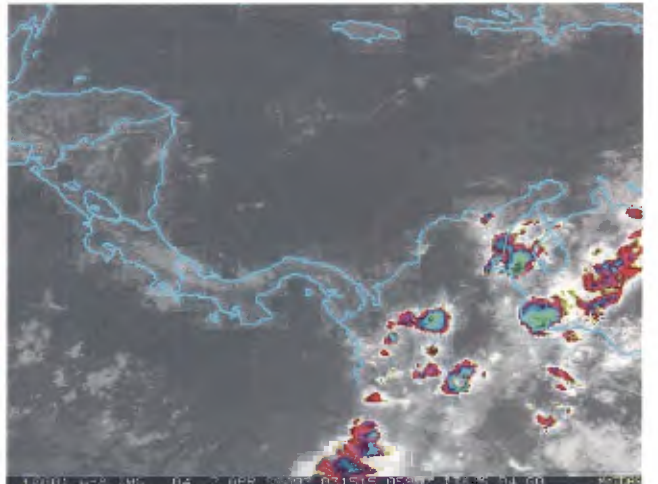
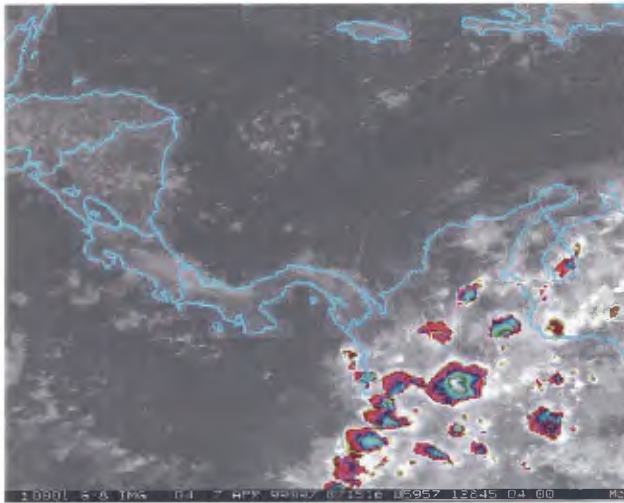
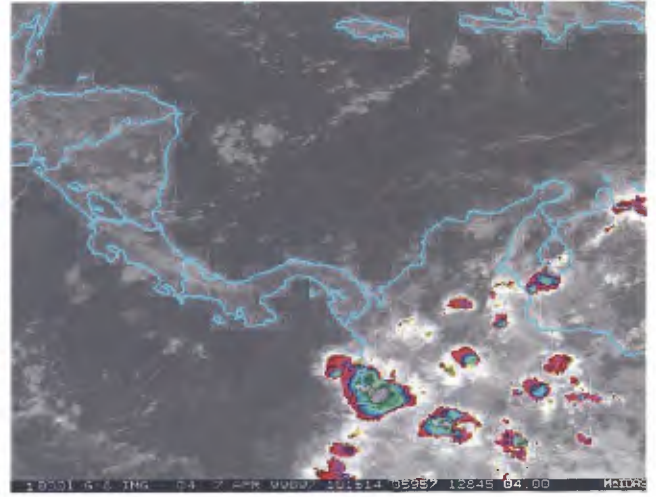


Figura 56. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 07 de abril de 1999.

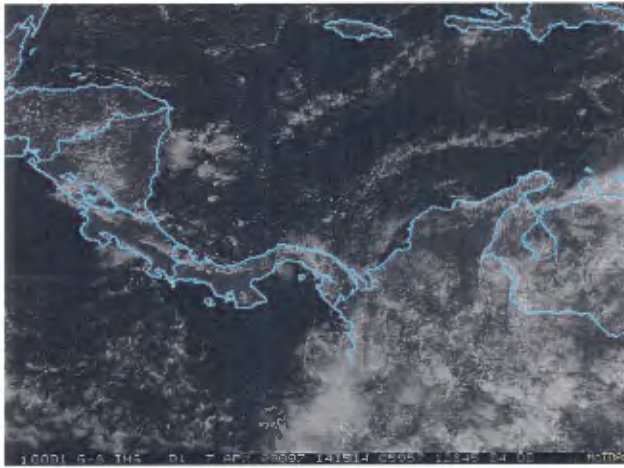
a) 07abr1999 03:15 hrs



b) 07abr1999 07:15 hrs



c) 07abr1999 10:15 hrs



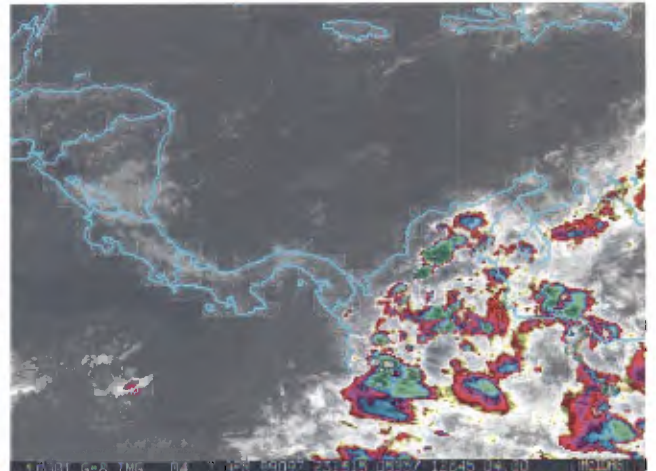
d) 07abr1999 15:15 hrs



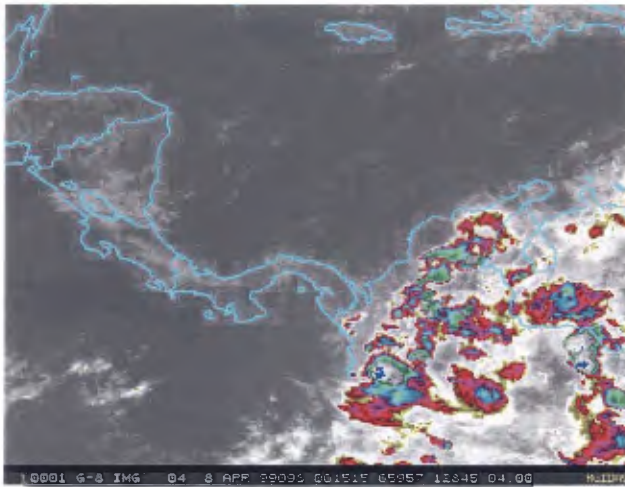
e) 07abr1999 17:15 hrs



f) 07abr1999 19:15 hrs



g) 07abr1999 20:15 hrs



h) 07abr1999 23:15 hrs

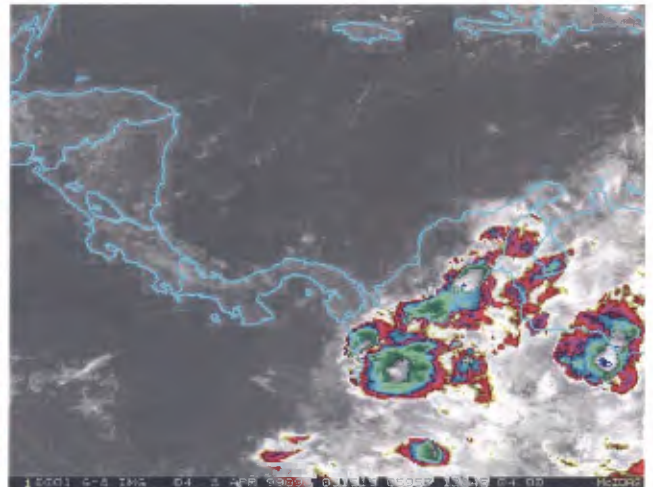
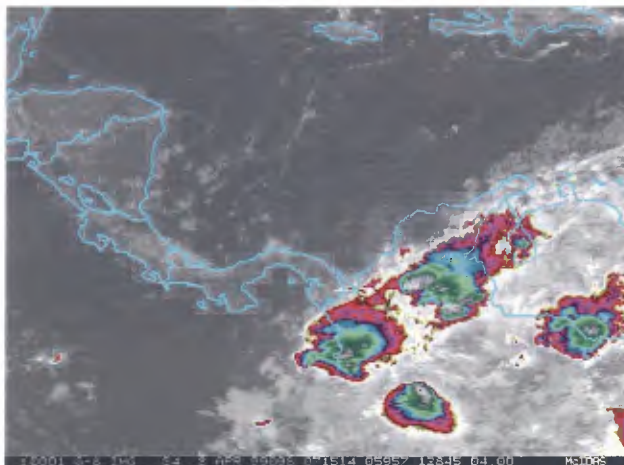
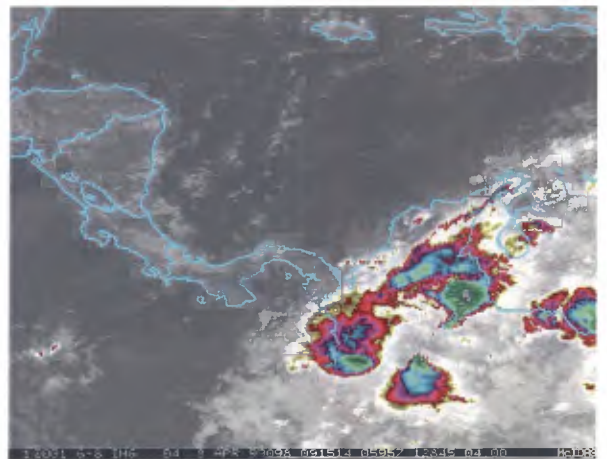


Figura 57. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 08 de abril de 1999.

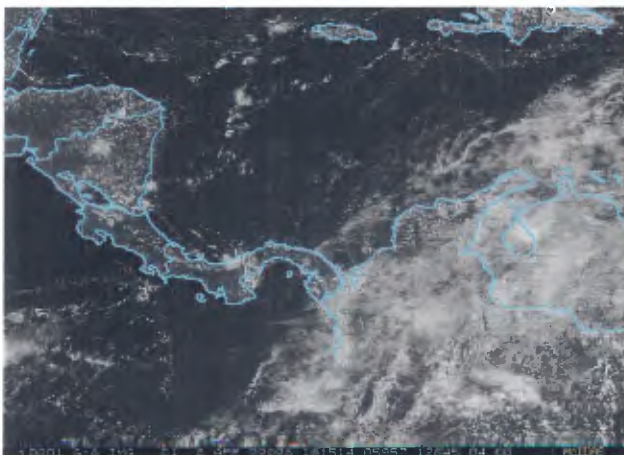
a) 08abr1999 03:15 hrs



b) 08abr1999 05:15 hrs



c) 08abr1999 12:15 hrs



d) 08abr1999 15:15 hrs

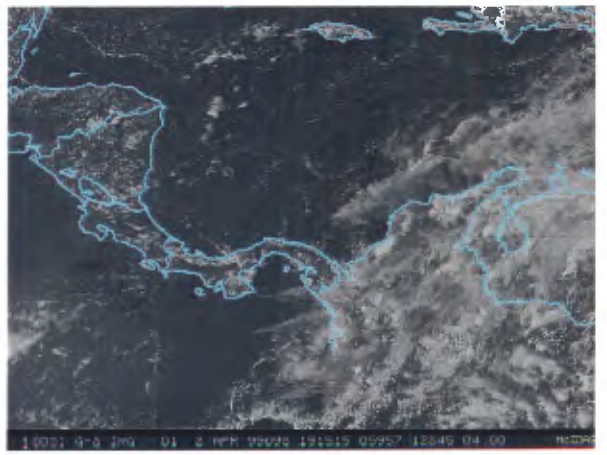
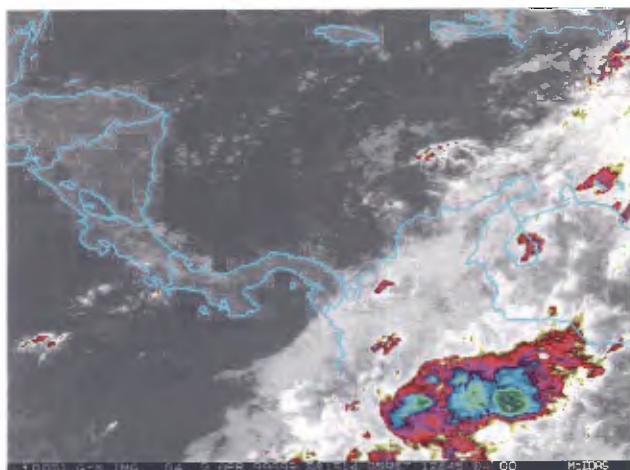


Figura 58. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 09 de abril de 1999.

a) 09abr1999 04:15 hrs



b) 09abr1999 09:15 hrs



c) 09abr1999 12:15 hrs



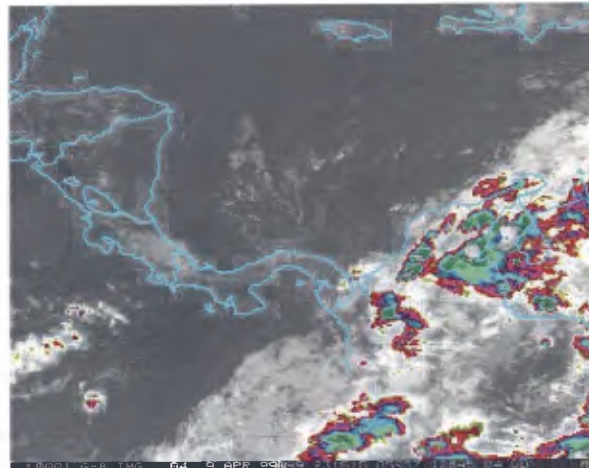
d) 09abr1999 15:15 hrs hrs



e) 09abr1999 17:15 hrs



f) 09abr1999 19:15 hrs



g) 09abr1999 21:15 hrs



h) 09abr1999 23:15 hrs

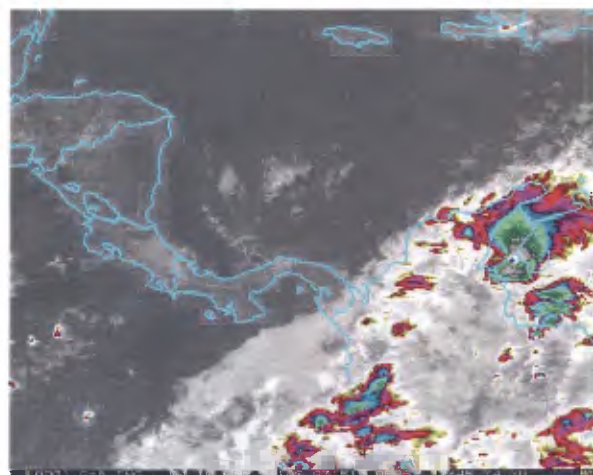
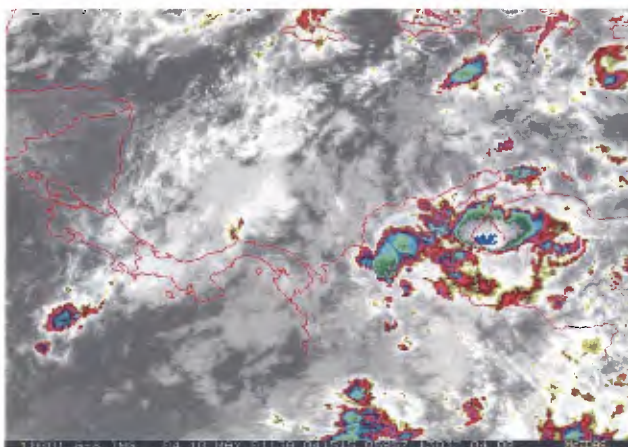


Figura 59. Imágenes satelitales del canal infrarrojo del 10 de abril de 1999.

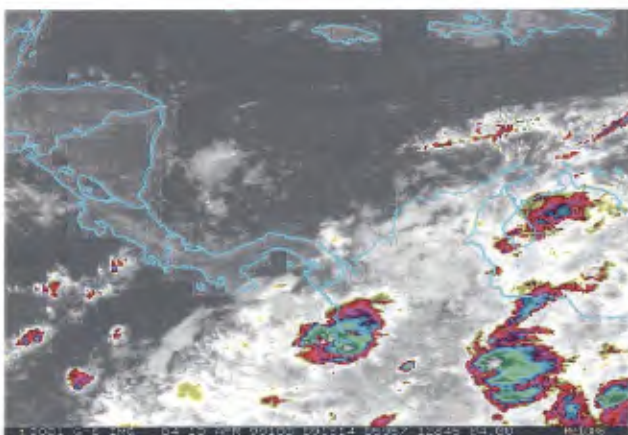
a) 10abr1999 00:15 hrs



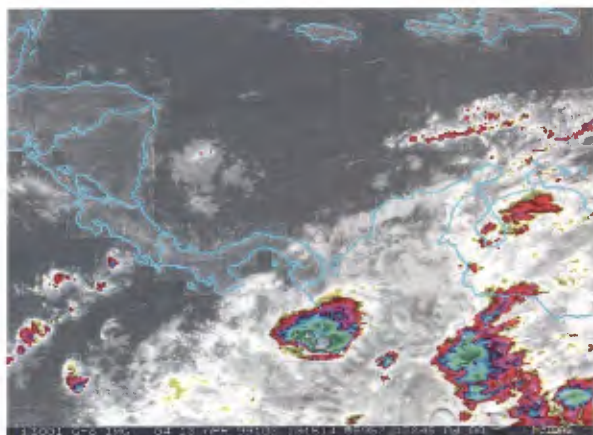
b) 10abr1999 03:15 hrs



c) 10abr1999 03:15 hrs



d) 10abr1999 06:15 hrs



Resumen de las figuras de líneas de corriente (figura 60-figura 64)

04 de abril de 1999

En 250 hPa

- Dorsal extenso en altura ubicada entre este y oeste del país, que genera fuerte divergencia en altura, pasa justamente sobre el centro del territorio. (12 y 18z).
- Vientos intensos generándose exactamente sobre la región de estudio, por efectos de la circulación de un sistema anticiclónico al este de Venezuela (12 y 18z).

En 500 hPa

- Se mantiene la dorsal que abarca todo el centro y parte sur de Venezuela (6z, 12z).
- Se genera subsidencia que va directamente a los niveles bajos influenciada por la fuerte divergencia, especialmente sobre las regiones de interés. (6z, 12z, 18z).

En 850 hPa

- Formación de un sistema de baja presión ubicado al centro- norte de Colombia, la cual es generado por el fuerte viento que pasa al noroeste del país, que alimenta esta baja presión formada en niveles bajos.(6z, 12z y 18z).

05 de abril de 1999 (figura 60)

En 250 hPa

- Fuerte divergencia sobre los Andes y región Noroccidental de Venezuela, ésta se debe a la presencia de una vaguada en altura, específicamente ambas regiones son afectadas por la parte divergente de la vaguada, de esta manera, hay una intensa salida de viento o divergencia (6z, 12z y 18z).
- Fuerte subsidencia desde niveles superiores. (6z, 12z y 18z).

En 500 hPa

- Se mantiene la dorsal para los niveles medios aunque muy desplazada al sur fuera del área de estudio (12z y 18z).
- Presencia de una vaguada a nivel medio que es la que afecta en el desplazamiento al sur de la dorsal, el área de estudio se encuentra justamente ubicado dentro de la parte convergente de la vaguada, lo que indica que existe convergencia de viento pero en ascenso dirigido a niveles superiores (12z y 18z).

En 850 hPa

- Fuerte convergencia en el centro de Colombia, y fuerte divergencia al oeste del país dirigido a este centro de baja presión. (0z y 6z).

06 de abril de 1999 (figura 61)

En 250 hPa

- Presencia de una vaguada cuya parte divergente afecta el norte de Colombia, la región de los Andes y región Noroccidental de Venezuela. (6z, 12z y 18z).
- Gran divergencia del viento sobre las regiones de estudio (12z y 18z).

En 500 hPa

- Se mantiene la vaguada del nivel superior, lo que genera fuerte ascenso de masas exactamente sobre las regiones de estudio. (12z y 18z).

En 850 y 925 hPa

- Presencia de un sistema ciclónico sobre el norte de Colombia, lo que provoca intensa convergencia de vientos en la zona de estudio (6z y 12z).
- Confluencia de viento al noroeste del territorio y especialmente interaccionando con la Cordillera y topografía importante. (6z, 12z).

07 de abril de 1999 (figura 62)

En 250 hPa

- Se mantiene la vaguada profunda al noroeste del país (0z, 6z, 12z).

- La región de estudio comienza a ser afectada por una dorsal, que genera fuerte divergencia de viento (18z).

En 500 hPa

- Continúa influyendo la vaguada en altura, creando salida de flujo sobre el oeste de Venezuela (6z y 12z).
- De igual manera se presenta divergencia de viento por causa de la dorsal proveniente de los niveles superiores de la troposfera (18z).

En 850 hPa

- Convergencia de flujo en el centro de Colombia, debido a la presencia de una baja presión (12z y 18z).
- Gran incidencia de flujo sobre la región de los Andes y Noroccidental.

En 925 hPa

- Persiste la baja presión en el centro de Colombia (12z y 18z).
- Es de resaltar la fuerte presencia de flujo proveniente del este y que afecta tanto el norte como el oeste del país, se caracteriza por su gran intensidad en la velocidad del viento y que podría ejercer influencias en las áreas montañosas de ambas regiones (0z, 6z, 12z y 18z).

08 de abril de 1999 (figura 63)

En 250 hPa

- Se tiene una dorsal que afecta a ambas regiones, donde la divergencia del flujo es bastante grande (12z, y 18z).
- También se observa la presencia de una vaguada que se forma desde las latitudes medias pero resulta muy profunda, a tal punto que afecta la Cordillera de Perijá por la notable divergencia que presenta el flujo (6z y 12z).

En 500 hPa

- Intenso ascenso de flujo fortalecido por la vaguada que viene de niveles superiores, la misma se ubica justamente al noroeste del país permitiendo mayor salida de flujo. (0z,6z,12z,18z),

En 850 hPa

- Formación de una baja presión al oeste de Colombia, el flujo que da lugar a la misma proviene del este (flujo alisio) (12z).

En 925 hPa

- Prevalece la presencia de flujo del este al noroeste del territorio, que es el que alimenta el sistema ciclónico formado al oeste del territorio colombiano (6z, 12z y 18z).

09 de abril de 1999 (figura 64)

En 250 hPa

- La presencia de un anticiclón al oeste de Venezuela (sobre el centro del océano Atlántico), cuya circulación anticiclónica afecta totalmente el territorio venezolano.
- La divergencia se ve reforzada por una dorsal profunda que se forma desde el anticiclón ya nombrado hasta el este del océano Pacífico, atravesando Venezuela, Colombia y Centroamérica (12z, y 18z).
- Gran subsidencia del flujo a los niveles subsiguientes.

En 500 hPa

- Existe una dorsal muy profunda creando una extraordinaria divergencia sobre ambas regiones de estudio (6z, 12z y 18z).
- Se mantiene la circulación anticiclónica cuya fuerte principal sigue siendo el sistema ubicado en el centro del Atlántico.

En 850 hPa

- El viento alisio continúa su paso sobre la región de estudio, aunque no existe ninguna baja presión cercana que pueda producir convergencia de masas, la característica particular es que el flujo interacciona casi perpendicularmente con las formaciones montañosas de ambas regiones.
- Se mantiene bien constituida una zona de baja presión afectando Centroamérica y el oeste de Colombia. (18z)

En 925 hPa

- El paso del flujo por el norte e incluso centro del territorio es de resaltar, la intensidad del viento es grande y en su desplazamiento en todas las imágenes que se obtienen (0z, 6z y 12z).

10 de abril de 1999

En 250 hPa

- Prevalece la circulación anticiclónica sobre Venezuela por efecto del anticiclón (6z, 12z y 18z).
- Se forma una dorsal que se sitúa diagonalmente sobre el territorio, y de esta misma forma lo divide en dos partes iguales (18z).

En 500 hPa

- Gran divergencia de flujo sobre la región noroccidental, por efectos de un anticiclón ubicado sobre Norteamérica (12z y 18z).

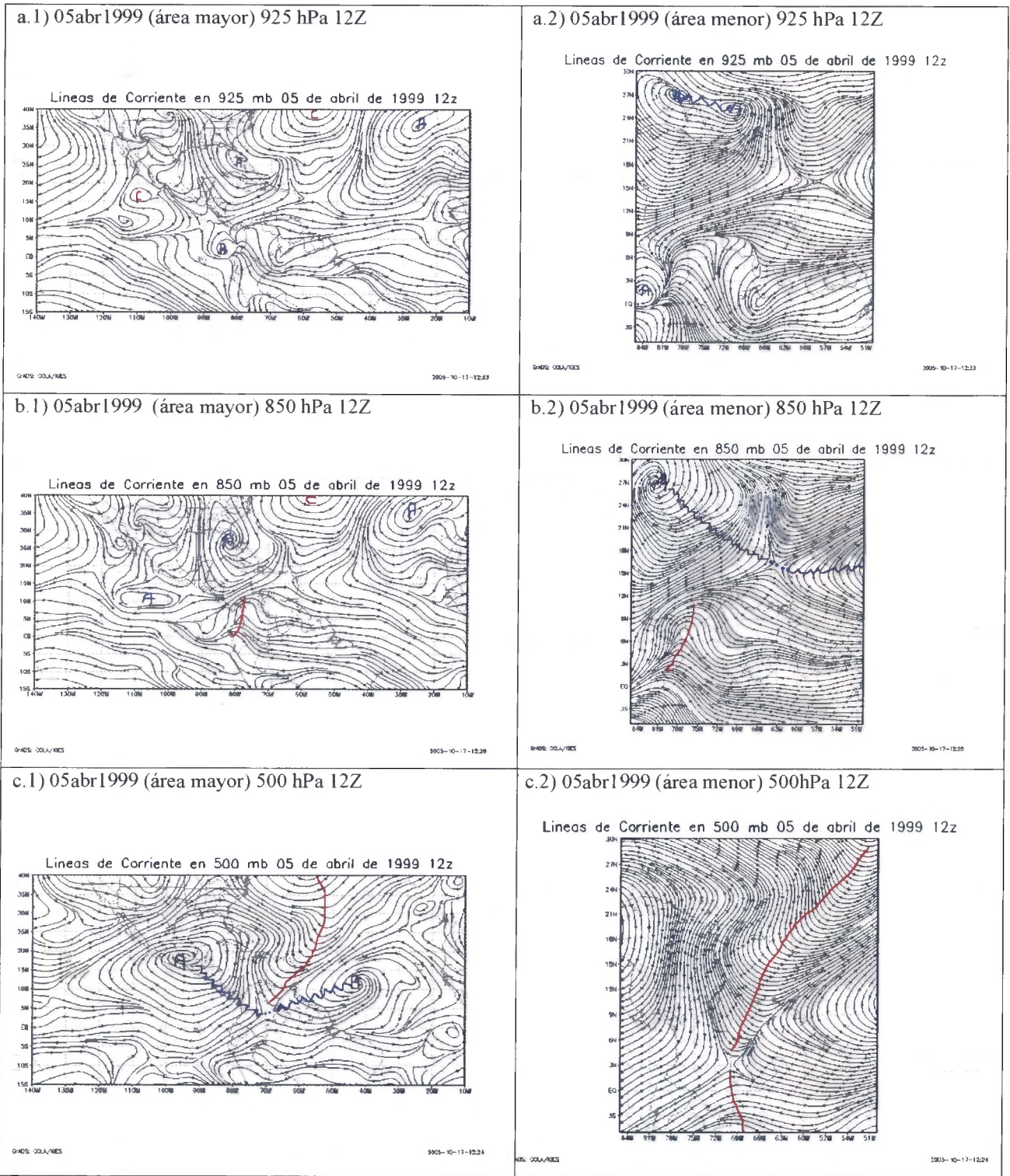
En 850 hPa

- Baja presión sobre Centroamérica en el cual el flujo que lo alimenta sigue siendo proveniente del este, que pasa sobre centro norte del país. (12z y 18z).

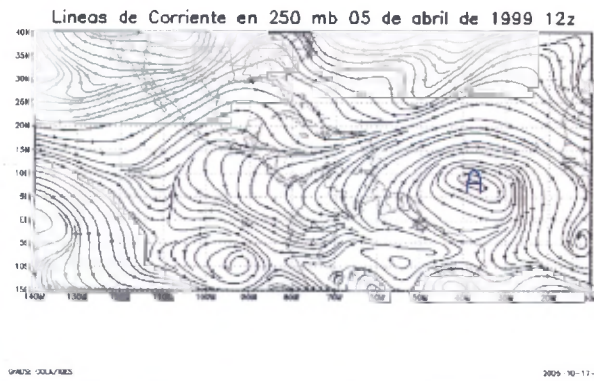
En 925 hPa

- Se conserva el patrón de viento proveniente del este cuya intensidad en la velocidad del viento le facilita interactuar con la topografía irregular del relieve (0z, 6z y 12z).

Figura 60. Representación de líneas de corriente del 05 de abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.



d.1) 05abr1999 (área mayor) 250 hPa 12Z



d.2) 05abr1999 (área menor) 250hPa 12Z

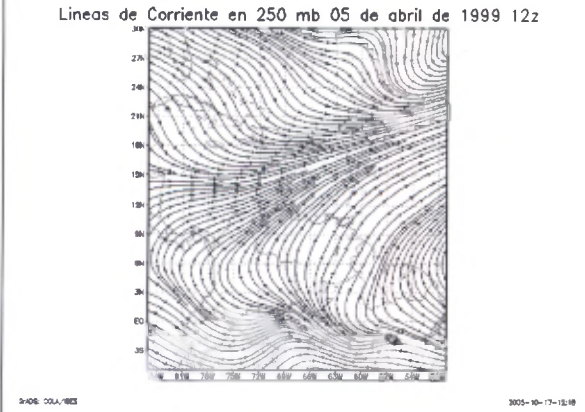
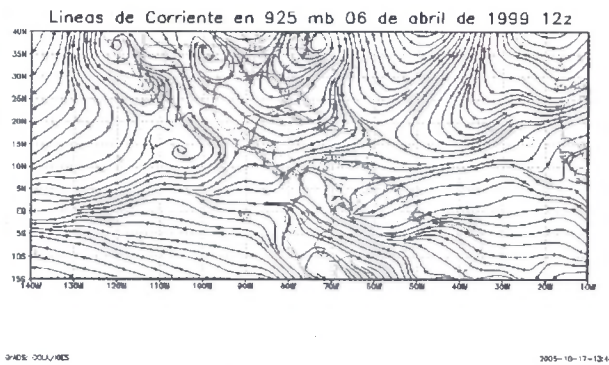
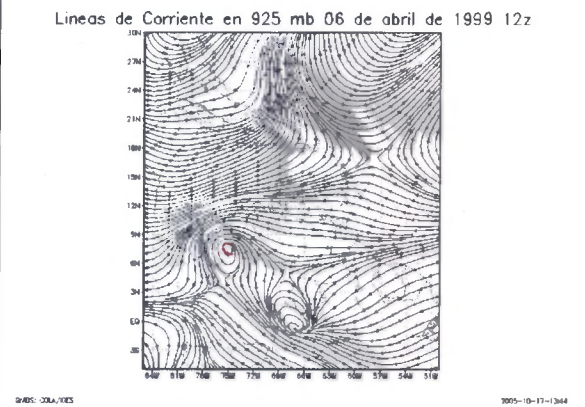


Figura 61. Representación de líneas de corriente del 06 de abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.

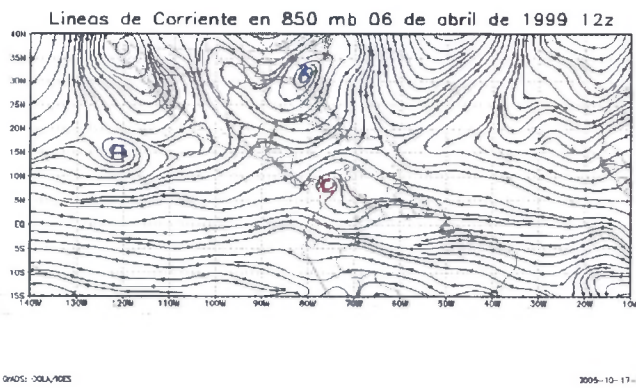
a.1) 06abr1999 (área mayor) 925 hPa 12Z



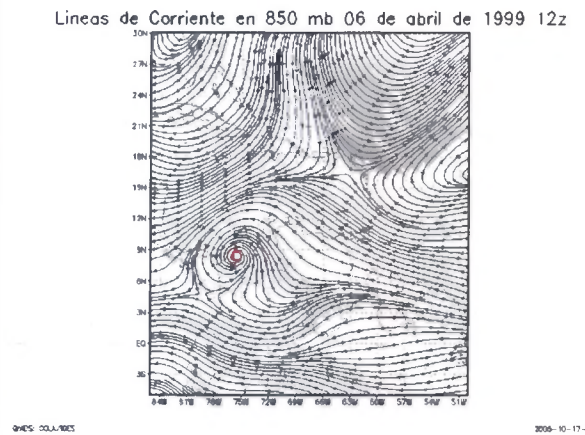
a.2) 06abr1999 (área menor) 925hPa 12Z



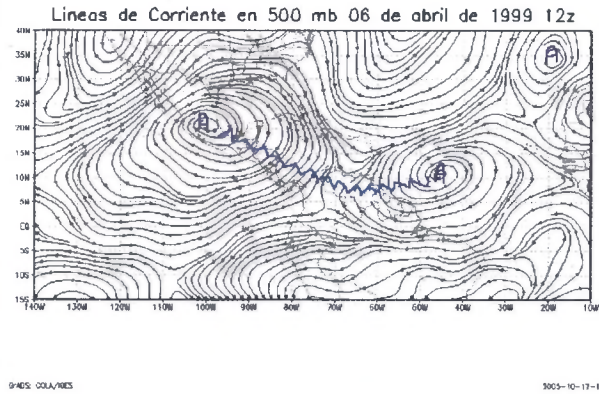
b.1) 06abr1999 (área mayor) 850 hPa 12Z



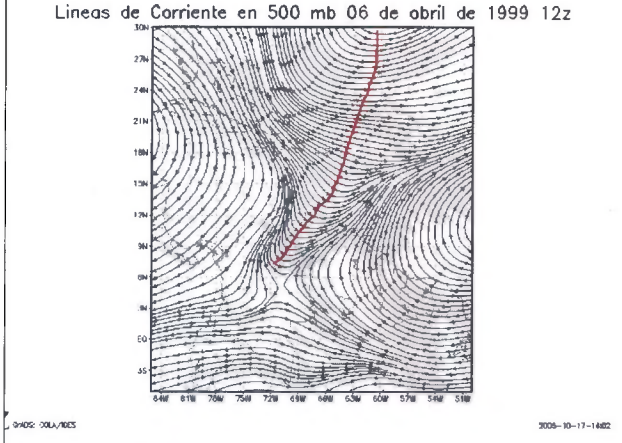
b.2) 06abr1999 (área menor) 850hPa 12Z



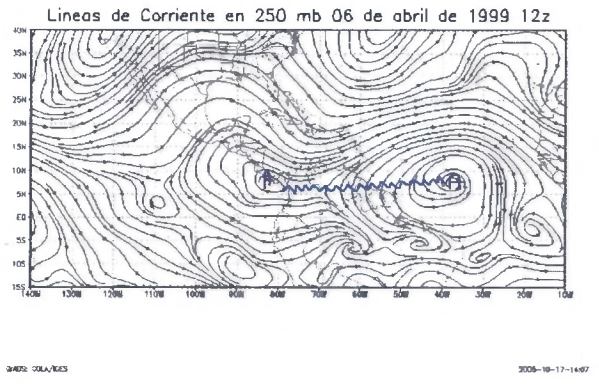
c.1) 06abr1999 (área mayor) 500 hPa 12Z



c.2) 06abr1999 (área menor) 500hPa 12Z



d.1) 06abr1999 (área mayor) 250 hPa 12Z



d.2) 06abr1999 (área menor) 250hPa 12Z

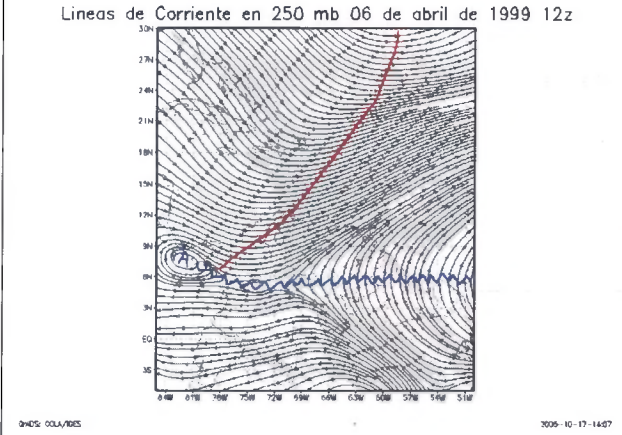
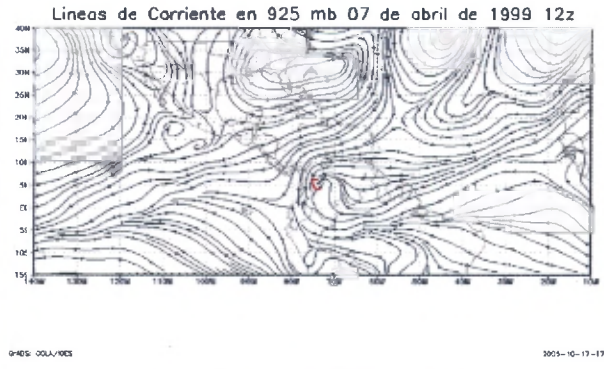
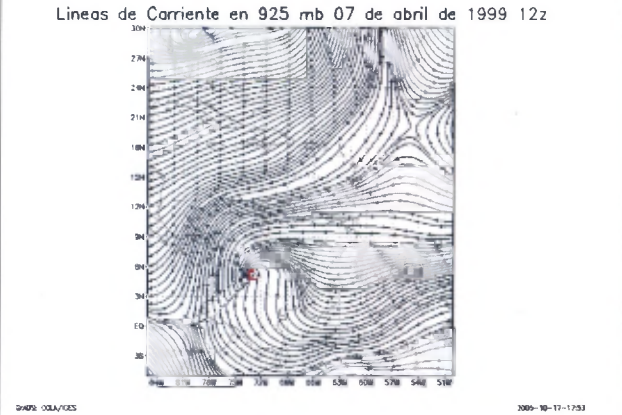


Figura 62. Representación de líneas de corriente del 07 de abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.

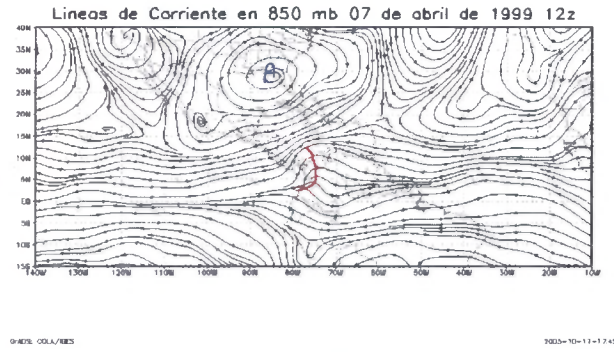
a.1) 07abr1999 (área mayor) 925 hPa 12Z



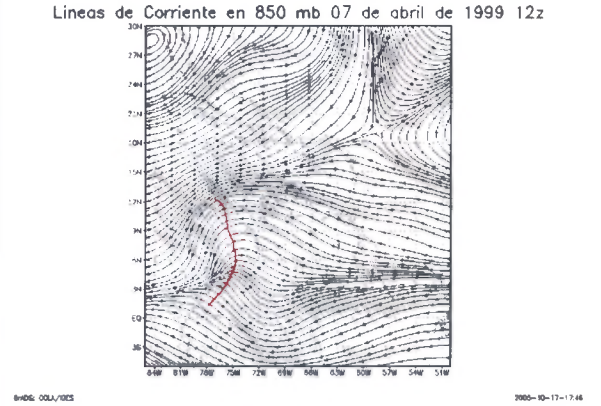
a.2) 07abr1999 (área menor) 925hPa 12Z



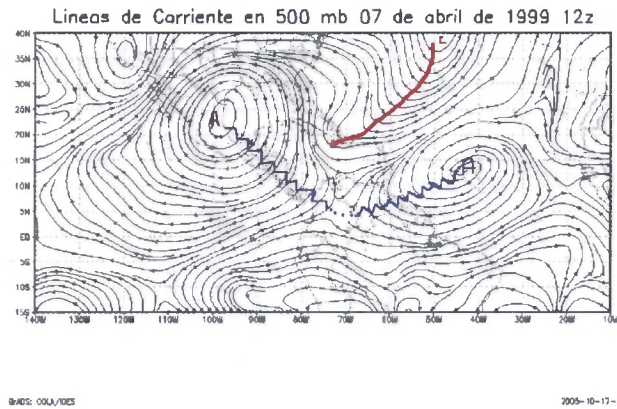
b.1) 07abr1999 (área mayor)850 hPa 12Z



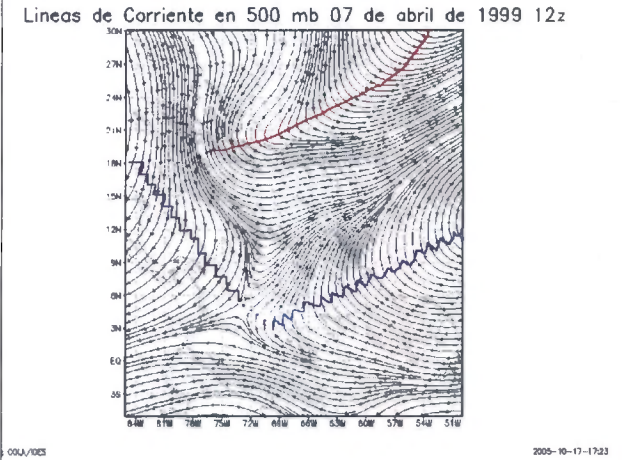
b.2) 07abr1999 (área menor) 850hPa 12Z



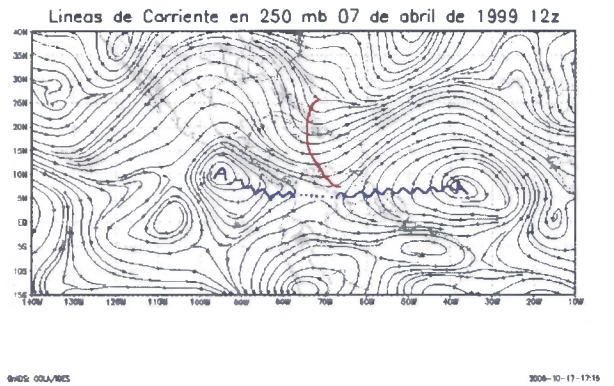
c.1) 07abr1999 (área mayor) 500 hPa 12Z



c.2) 07abr1999 (área menor) 500hPa 12Z



d.1) 07abr1999 (área mayor) 250 hPa 12Z



d.2) 07abr1999 (área menor) 250hPa 12Z

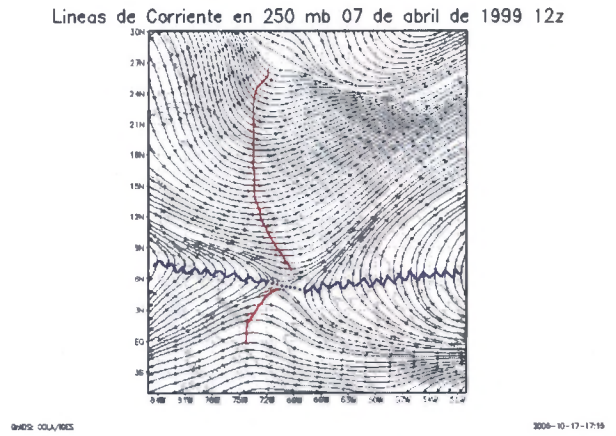


Figura 63. Representación de líneas de corriente del 08 de abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.

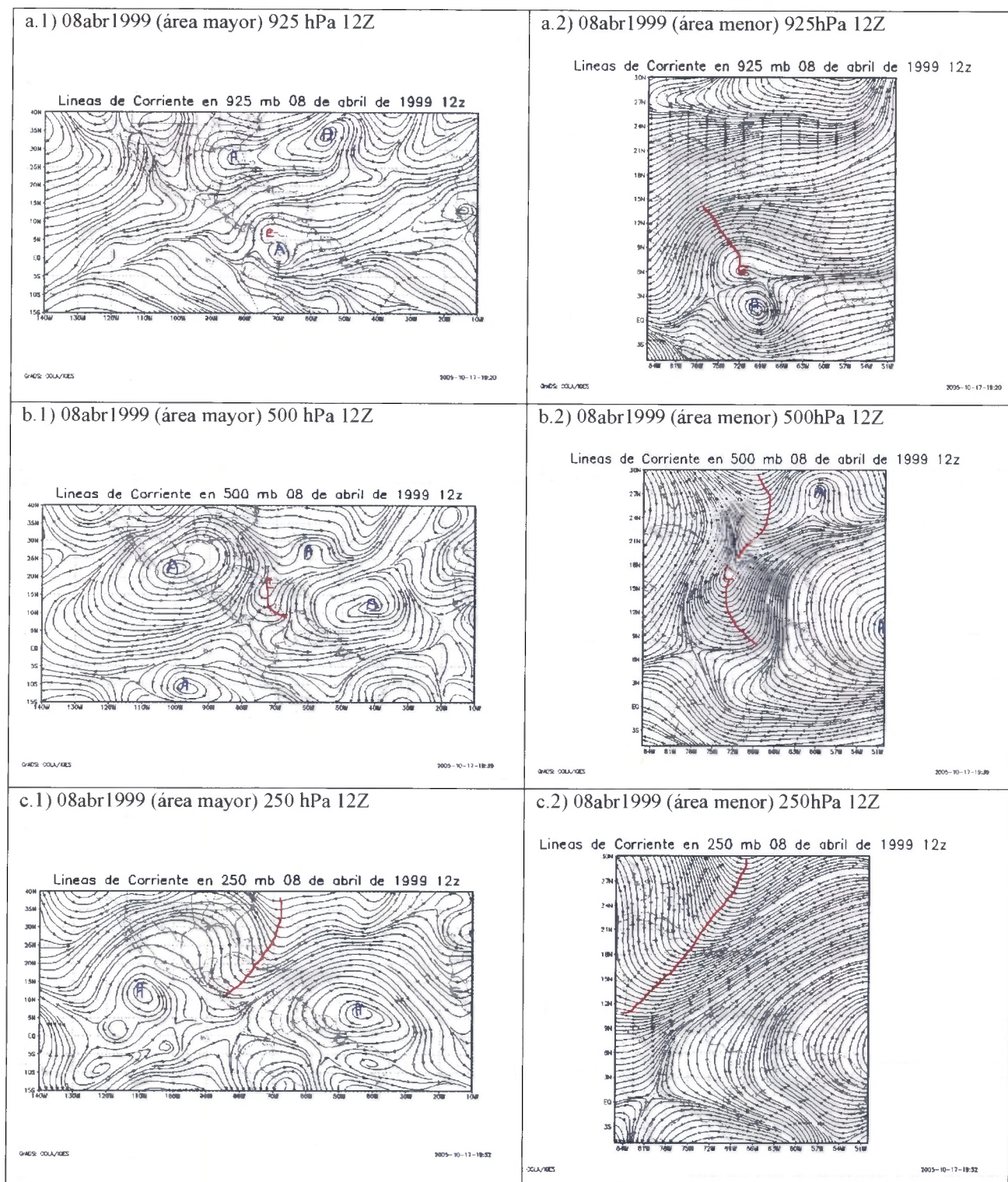
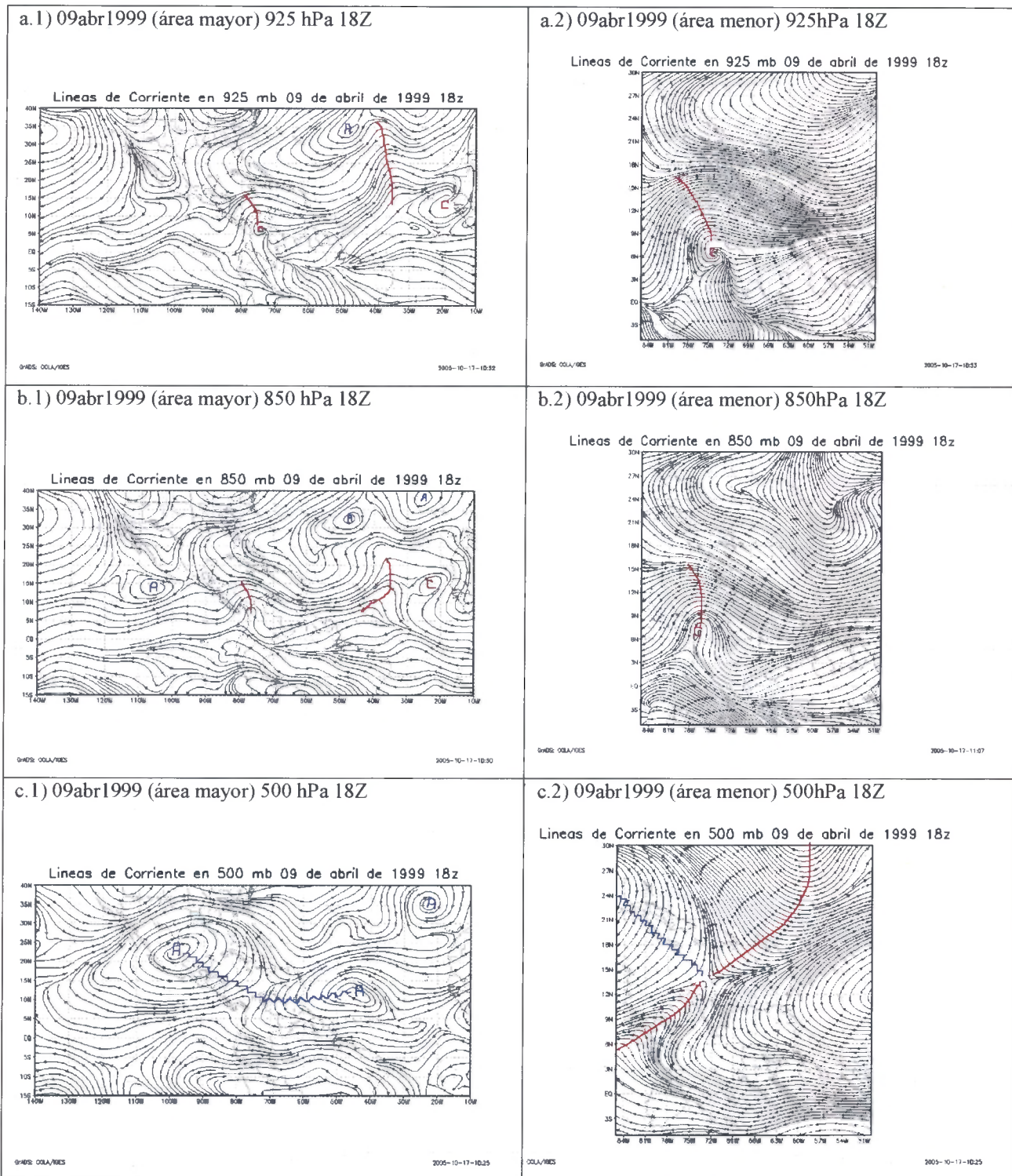
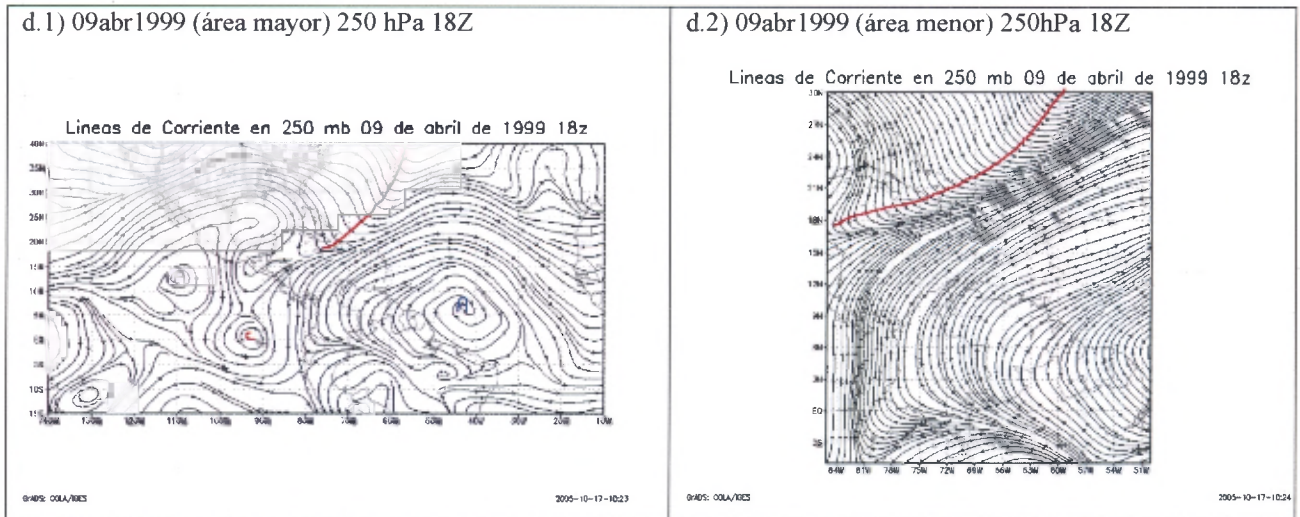


Figura 64. Representación de líneas de corriente del 09 de abril de 1999 para diferentes niveles atmosféricos.



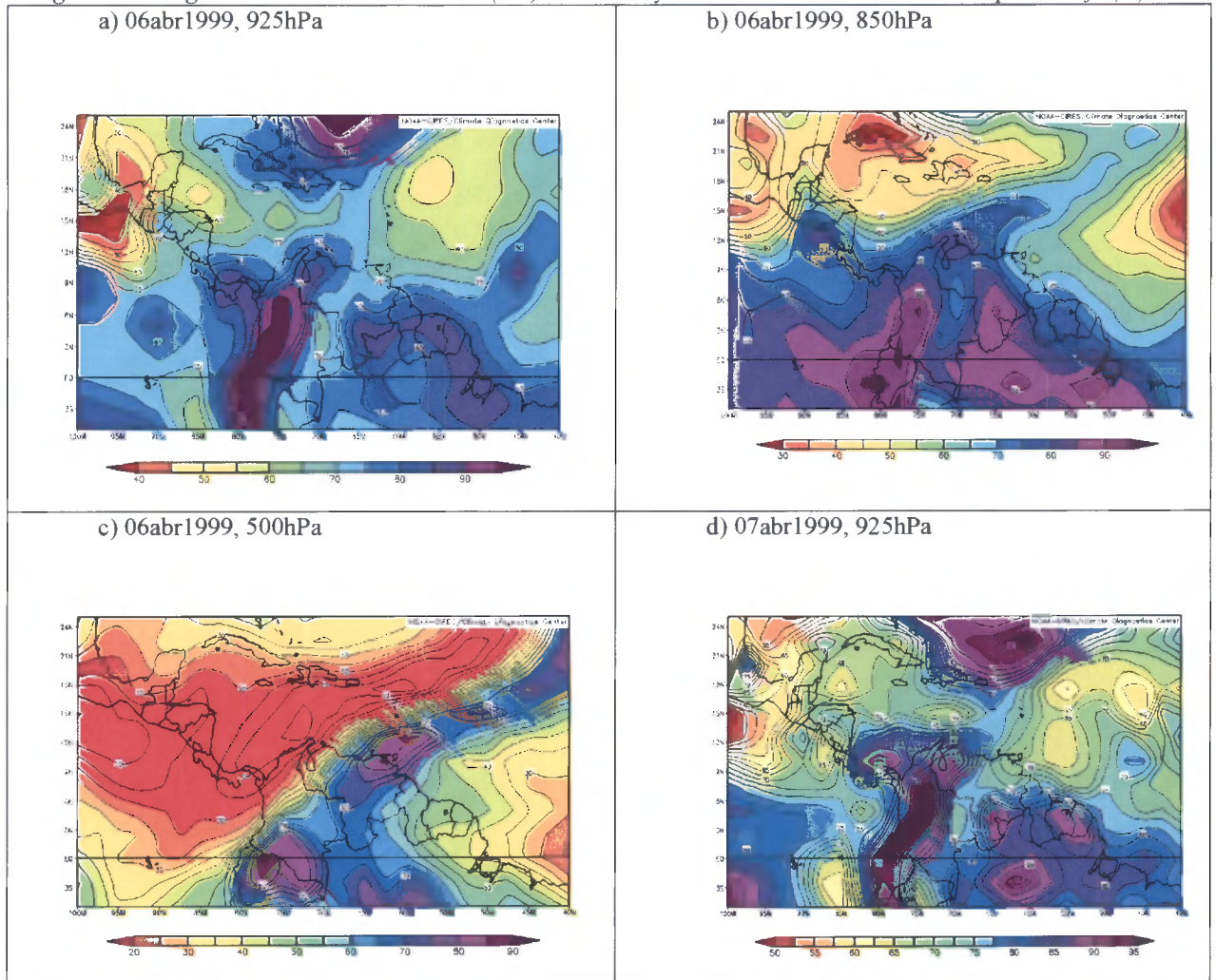


Al comparar el comportamiento de los sistemas durante estos días, con la climatología de los mismos durante el mes de abril en la serie de diez años (1993-2003), el patrón que se presenta es parecido, se observa que en los niveles superiores la presencia de anticiclones al oeste de Venezuela, sobre el océano Atlántico y genera fuerte divergencia del flujo. A su vez en nivel medio coincide la formación de dorsales para ciertos días durante el evento. Mientras que en los niveles bajos y superficie concuerda con la presencia del flujo alisio proveniente del este, en especial hay una notable intensificación del viento en los 925hPa que interactúa con el relieve casi perpendicularmente influyendo significativamente en la región, dada a la lluvia que se pudo formar en la zona.

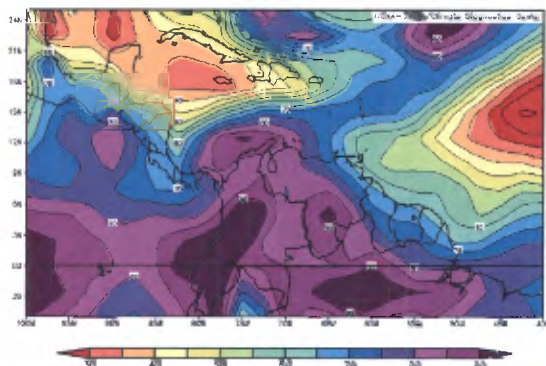
En cuanto a la humedad relativa obtenida del reanálisis se obtienen valores muy altos en los niveles de 850, 925 pasando por superficie, que para los días 06, y 07 de abril sus mínimos son de 85%, los cuales aumentan a 90% en estos niveles el 08 y 09 de abril (ver figura 65). Ahora, estos valores van disminuyendo a medida que se asciende de nivel o altura en la atmósfera, por ejemplo en 500 hPa la humedad relativa para los días 06 de abril fue de 45%, el 07 y 08 de abril aumentó a 60%, mientras que el día 09 el porcentaje fue de 70% en este nivel y un poco menos al llegar a los 300 hPa (figura 65), lo que indica que una atmósfera muy húmeda propicia el proceso de condensación, al ser forzadas las masas

de aire al elevarse y posteriormente se enfrían ya que las mismas experimentan disminuciones de temperatura. Para el día 10 de abril el elevado porcentaje de humedad se ve reducido a un 35%, indicando que a este nivel la atmósfera se encontraba muy seca, inhibiendo la formación de nubosidad en acuerdo exactamente a lo sucedido.

Figura 65. Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 06 y 07 de abril de 1999, medido en porcentaje (%).



e) 07abr1999, 500hPa



f) 07abr1999, 500hPa

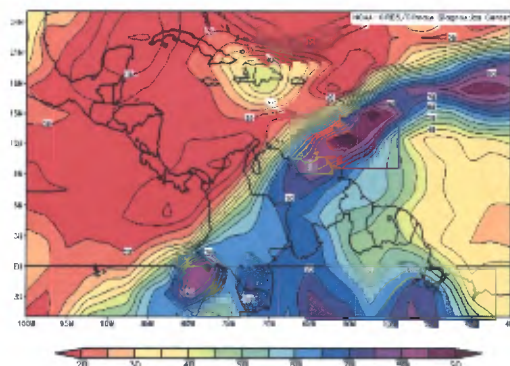
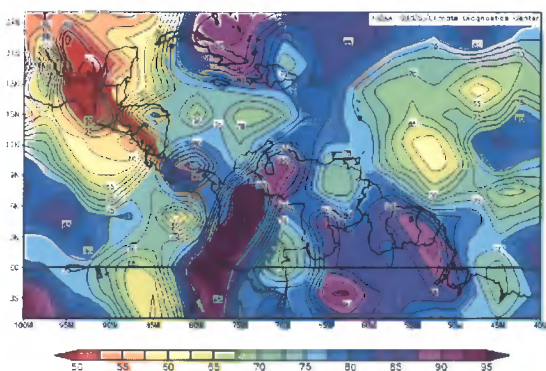
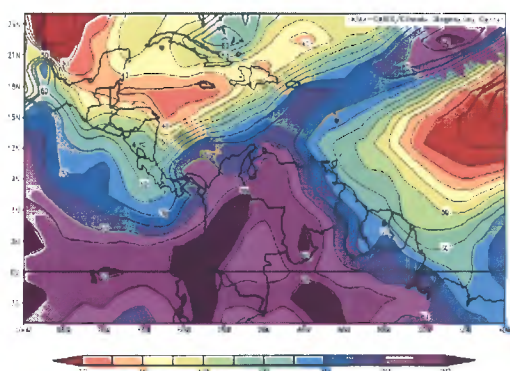


Figura 66. Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 08 y 09 de abril de 1999, medido en porcentaje (%).

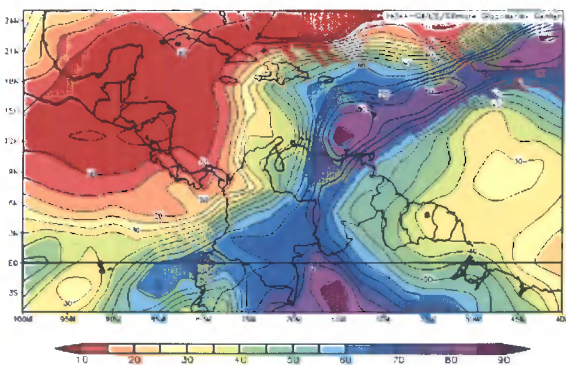
a) 08abr1999, 925hPa



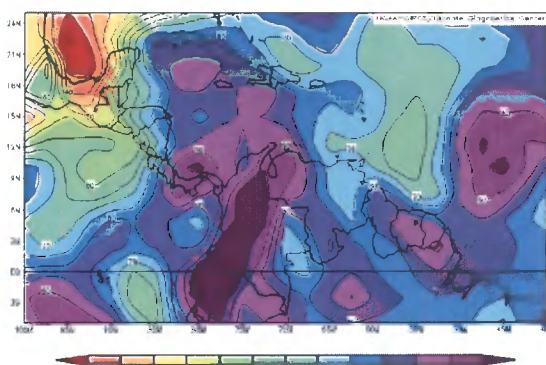
b) 08abr1999, 850hPa



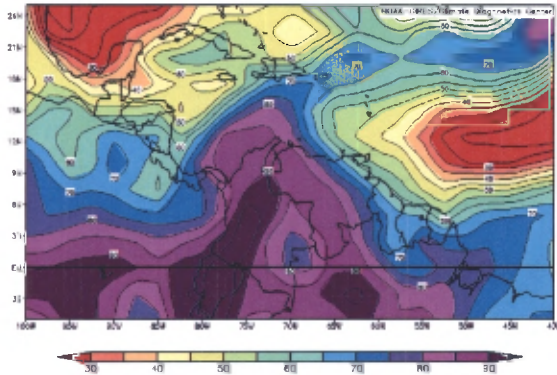
c) 08abr1999, 500hPa



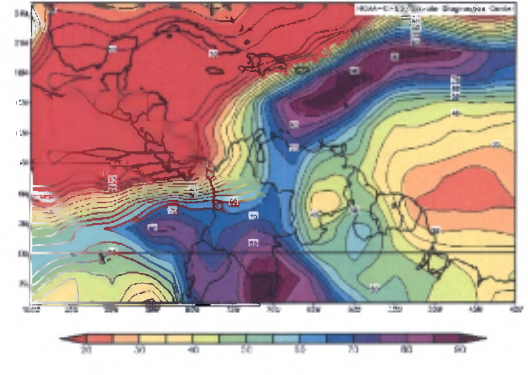
d) 09abr1999, 925hPa



e) 09abr1999 850hPa



f) 09abr1999 500hPa



Otra forma de confirmar la presencia de humedad en la atmósfera es analizando los datos arrojados en el radiosondeo de estos días en la estación de Curacao, justo al norte de ambas regiones de interés, donde se observa una notable proximidad en la curva de temperatura de rocío, con la curva de la temperatura ambiente, esta característica está presente especialmente para la baja troposfera en los días que ocurre el evento extremo de precipitación, con una leve disminución del campo de humedad a partir del nivel medio (550 hPa) y así progresivamente hasta llegar a niveles superiores, para el día 10 se observó una atmósfera más seca para este nivel.

Lo arrojado por el radiosondeo para el viento es una muestra que para estos días a pesar de la fuerte intensidad del viento a nivel superior (45 nudos), se mantenía en una sola dirección, la cortante de viento era nula, lo que permitió la formación de nubosidad que posteriormente se reflejó en un aumento significativo de lluvia para ambas regiones, en especial la región de Los Andes.

Fernández (1979) establece que “en las zonas tropicales la cortante de viento relacionada con la profundidad de los sistemas convectivos es usualmente pequeña. En áreas tropicales, especialmente en Venezuela existe un chorro en los niveles medios, donde la cortante de viento es de gran significancia para los eventos”. Se ha observado que hay un

cambio de dirección en la cortante de viento en distintos niveles, en los niveles bajos la cortante está dirigida hacia el este, mientras que en los niveles superiores ésta cambia de dirección hacia el oeste. En consecuencia, al darse esta diferencia en dirección, provoca que la cortante de viento sea relativamente pequeña, lo cual favorece la convección y la formación de sistemas nubosos. La clasificación de diferentes tipos de tormentas es posible relacionarla con factores sinópticos y a la orografía. La situación sinóptica, cantidad de humedad y la inestabilidad dependerá mucho de la forma geográfica que presenta la región.

En 925 hPa el viento registró una velocidad de 25 nudos (unos 12,86 m/s) y 15 nudos (7,72 m/s) en 850 hPa. Las mediciones del viento registradas en las estaciones presentaron intensidades muy bajas, es decir de aproximadamente 2,0 m/s; sin embargo estos registros fueron mediciones del viento hechas en superficie. Las intensidades del viento para estos niveles son las arrojadas por el radiosondeo, pero al ser comparadas con los mapas del reanálisis sus valores son muy semejantes.

El viento para esta fecha presenta un aumento en la intensidad del viento meridional (ver figura 67), lo que contribuye a reducir la velocidad del viento alisio, además influye en el cambio de la dirección que experimentan los estes, ya que la dirección aunque continúa siendo este-oeste presenta un ángulo de inclinación de unos 50° con respecto al norte, de esta manera es como el flujo logra incidir casi en forma perpendicular al sistema montañoso causando algunos aumentos en la precipitación.

Al analizar las componentes de viento zonal y meridional con las anomalías correspondientes al 9 de abril de 1999 día en que se registra la mayor precipitación y mayor cantidad de eventos extremos en las estaciones (figura 68 y 69), se tiene una importante predominancia de viento antizonal en niveles de 925, 850 hPa, con intensidades cercanas a 9 m/s y anomalías de 3 m/s. Entre tanto en 500 hPa ya el viento ha cambiado de dirección, ya que procede del oeste, es decir presenta una dirección zonal, con intensidades de 5 m/s y anomalías positivas de 6 m/s. Esta misma componente de viento se intensifica en los 600 hPa y las anomalías del viento zonal para el día 09 de abril llegan a 4 m/s.

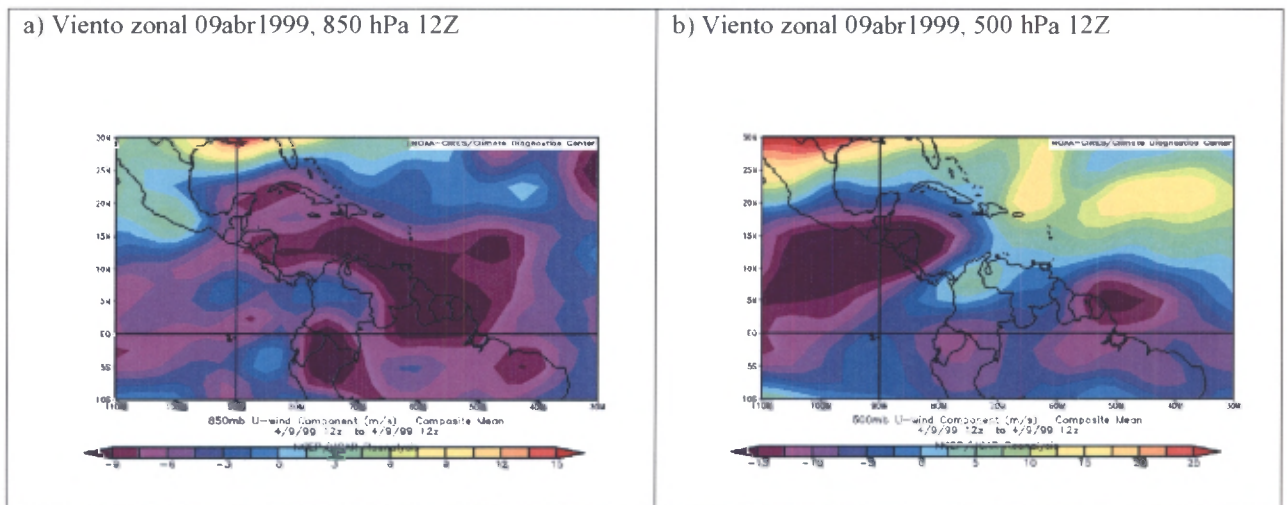
En cuanto al viento meridional, en los 925 hPa el aporte de la componente es nulo completamente, de igual manera que no presentó ninguna anomalía. En gran parte se debe a

la fuerte incidencia de flujo proveniente del este. Pero partir de 850 hPa la componente meridional comienza a aumentar desde los 4 m/s hasta llegar a 6 m/s en 500 hPa, la tendencia de esta componente de viento es de ir aumentando proporcionalmente con el nivel de altura en la troposfera, las anomalías del viento meridional se ajustan a la característica antes mencionada, por lo que hace posible que los valores registrados sean todos positivos.

También es importante señalar en el estudio de Amador (1998), Amador y Magaña (1999) y Amador et al. (2000) destacan sobre el área del mar Caribe la presencia de un chorro de bajo nivel, como parte de la concentración del régimen de los vientos alisios, presentando máxima intensidad cerca de los 925 hPa durante el verano boreal.

Es posible que una de las causas que dieron origen a este evento extremo de precipitación sea la presencia de este chorro bajo del este, ya que cuando se intensifica y debido a la advección de humedad cuando incide casi perpendicularmente sobre la cordillera, produce forzamientos de las masas de aire, que al ascender y disminuir la temperatura logran condensarse siendo así un importante factor que da origen a la precipitación de las regiones.

Figura 67. Imágenes de viento meridional del día 09 de abril de 1999.



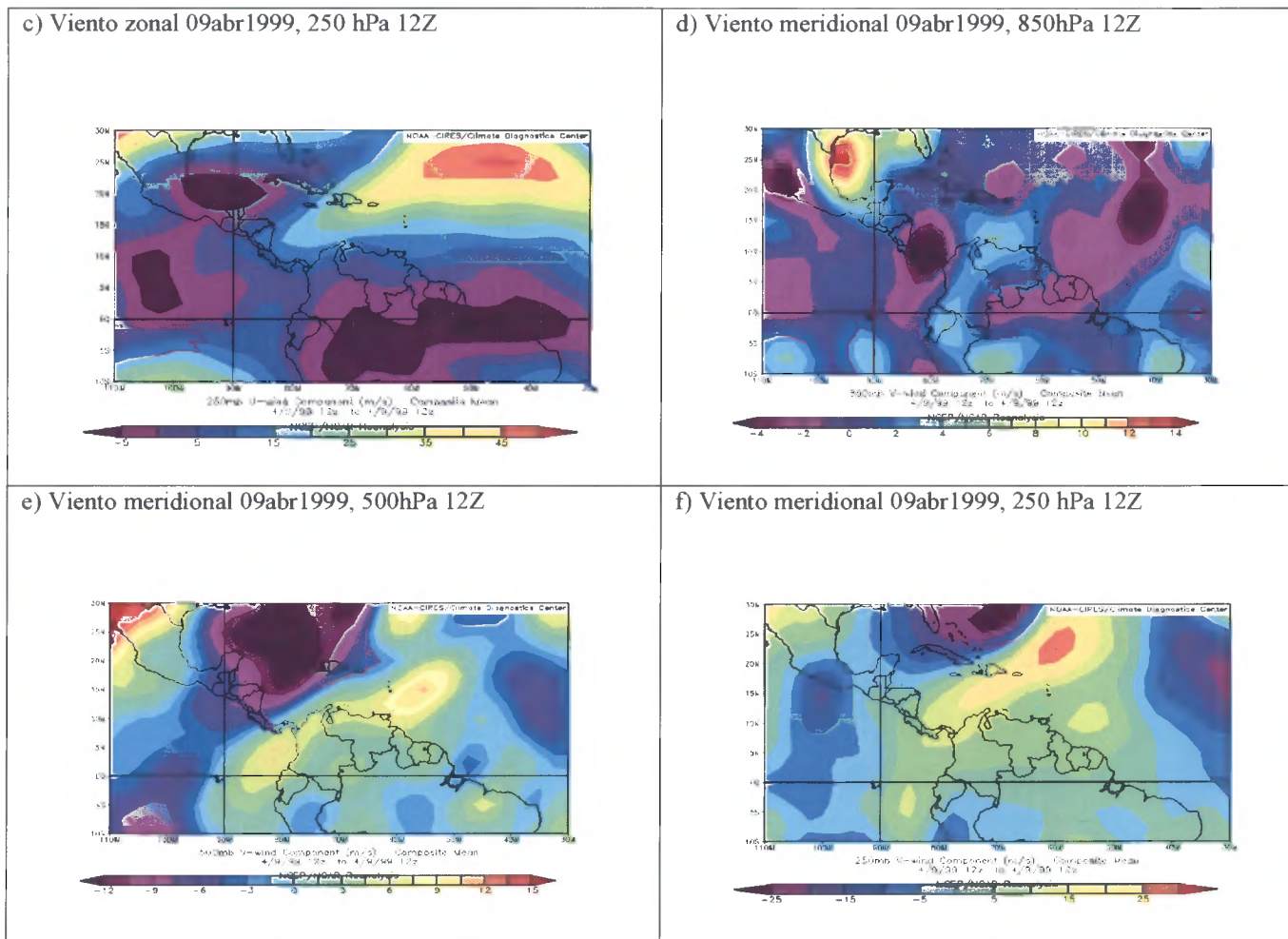
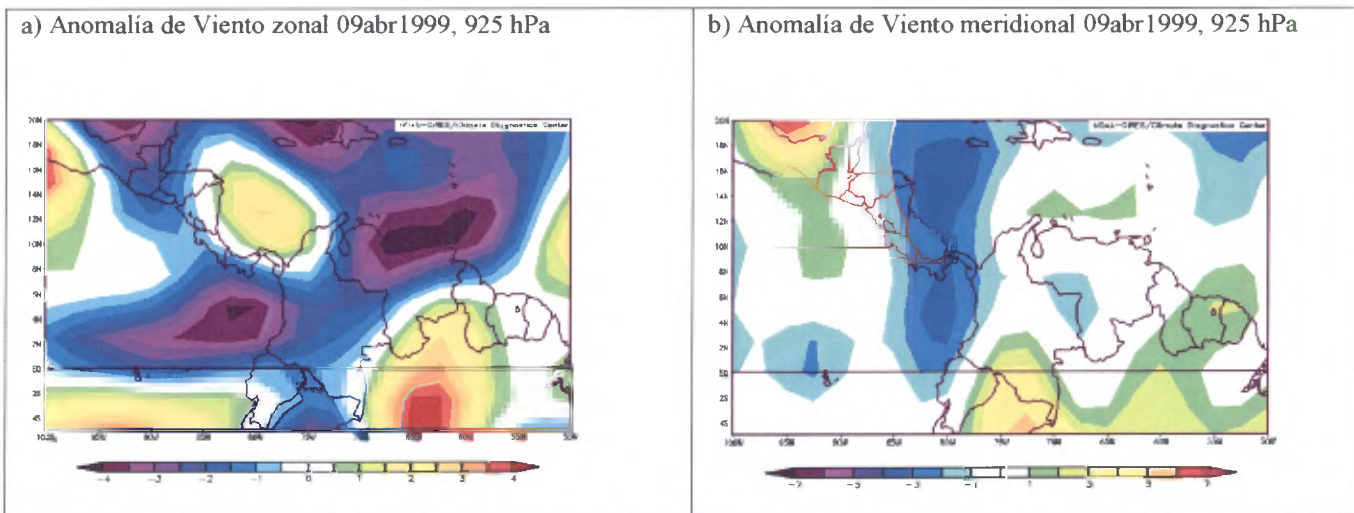
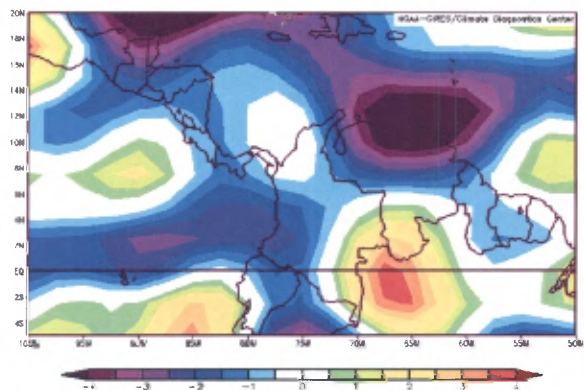


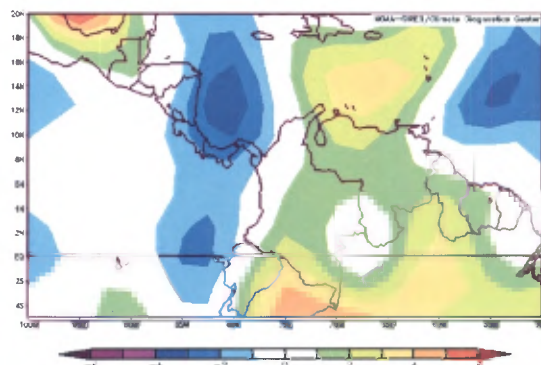
Figura 68. Anomalías del viento zonal y meridional del 09 de abril de 1999.



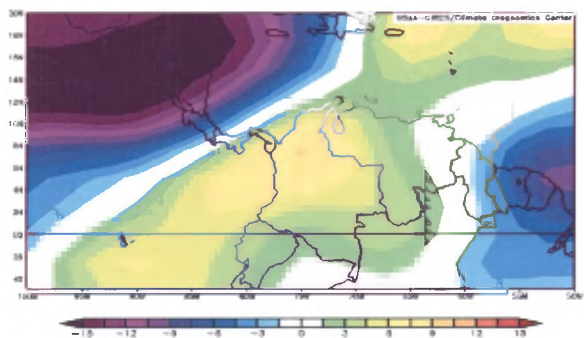
c) Anomalia de Viento zonal 09abr1999, 850 hPa



d) Anomalia de Viento meridional 09abr1999, 850 hPa



e) Anomalia de Viento zonal 09abr1999 500 hPa



f) Anomalia de Viento meridional 09abr1999 500 hPa

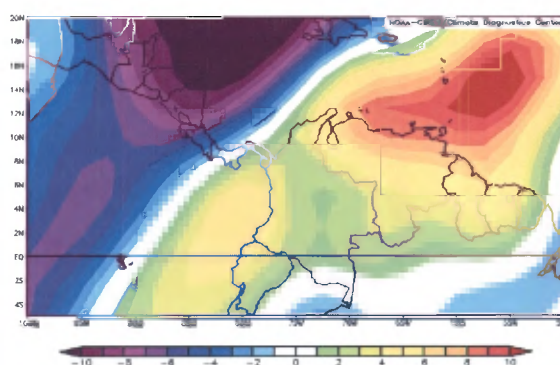


Figura 69. Radiosondeo del 08 de Abril para la Isla de Curacao a las 12 Z.

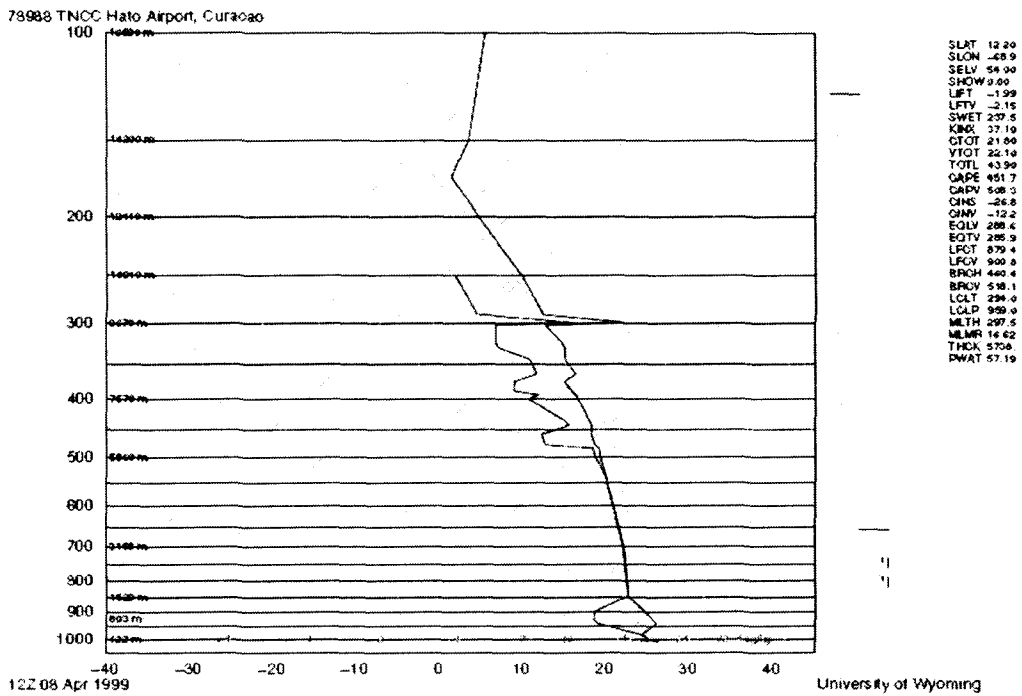


Figura 70. Radiosondeo del 09 de abril para la Isla de Curacao a las 12 Z.

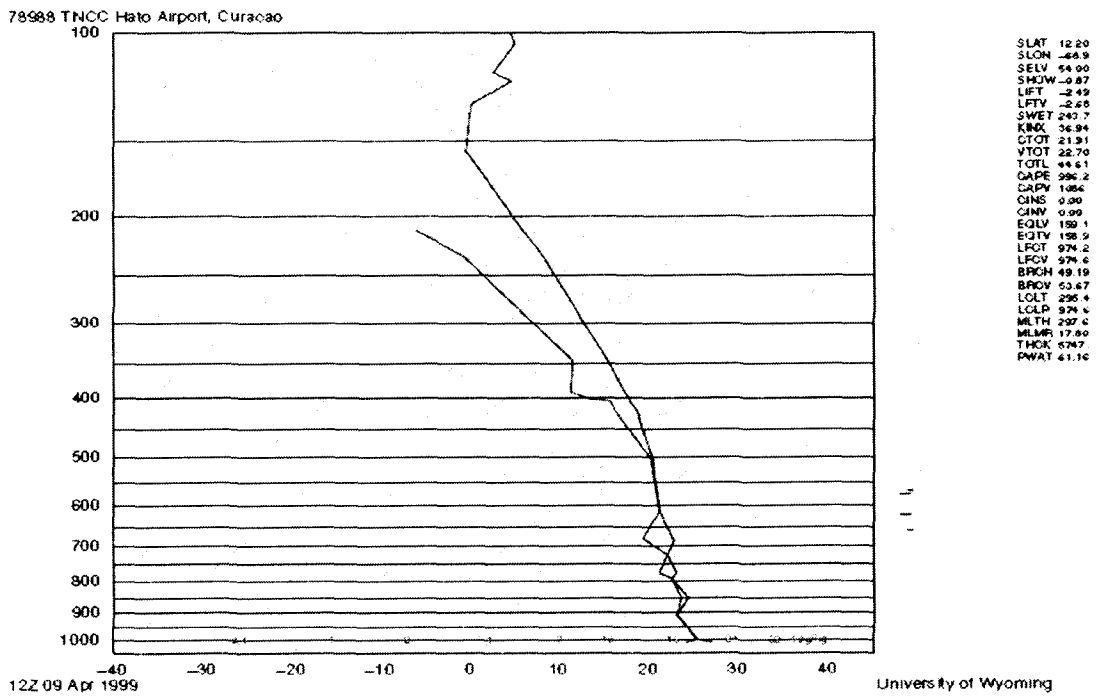
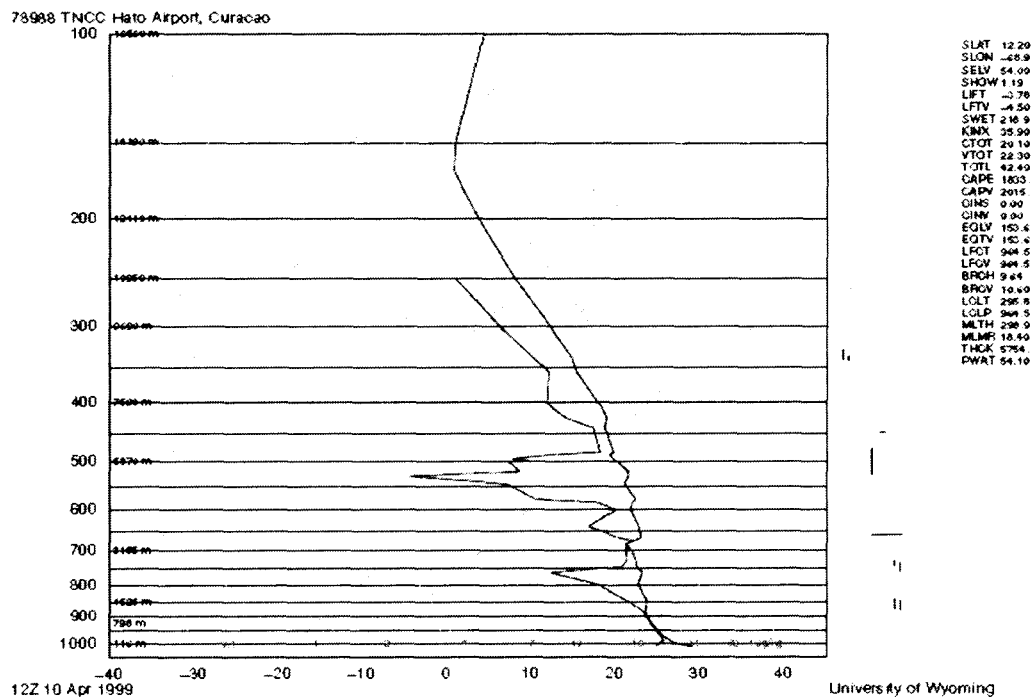


Figura 71. Radiosondeo del 10 de Abril para la Isla de Curazao a las 12 Z.



Los días 08,09 y 10 de abril de 1999 estuvieron disponibles los datos del radiosondeo obtenidos de la estación ubicada en el aeropuerto de Curazao (figuras 68, 69 y 70), donde los valores de la energía potencial de convección disponible (CAPE) y agua precipitable estimados coincidieron con los valores reales obtenidos de los datos de lluvia. Para el 08 de abril la energía potencial disponible fue $451,7 \text{ J.kg}^{-1}$ y pudo haber sido uno de los factores que influyeron en la disminución de la precipitación en las regiones de interés, ya que según los datos, los valores de lluvia fueron mínimos y sólo dos estaciones fueron registradas como eventos extremos. En cambio, para el 09 de abril la energía potencial de convección disponible llegó a $996,2 \text{ J.kg}^{-1}$, cuyo valor tan cercano a los 1000 J.kg^{-1} ya hacía posible una fuerte convección. Aunado a esto los valores de agua precipitable llegaron a 61,16 mm, con cierta similitud a la obtenida en los datos de precipitación.

Para el 10 de abril ambos parámetros aumentaron en las estimaciones, sin embargo, la lluvia no fue tan intensa a tal punto que no se registraron eventos extremos en las áreas de estudio.

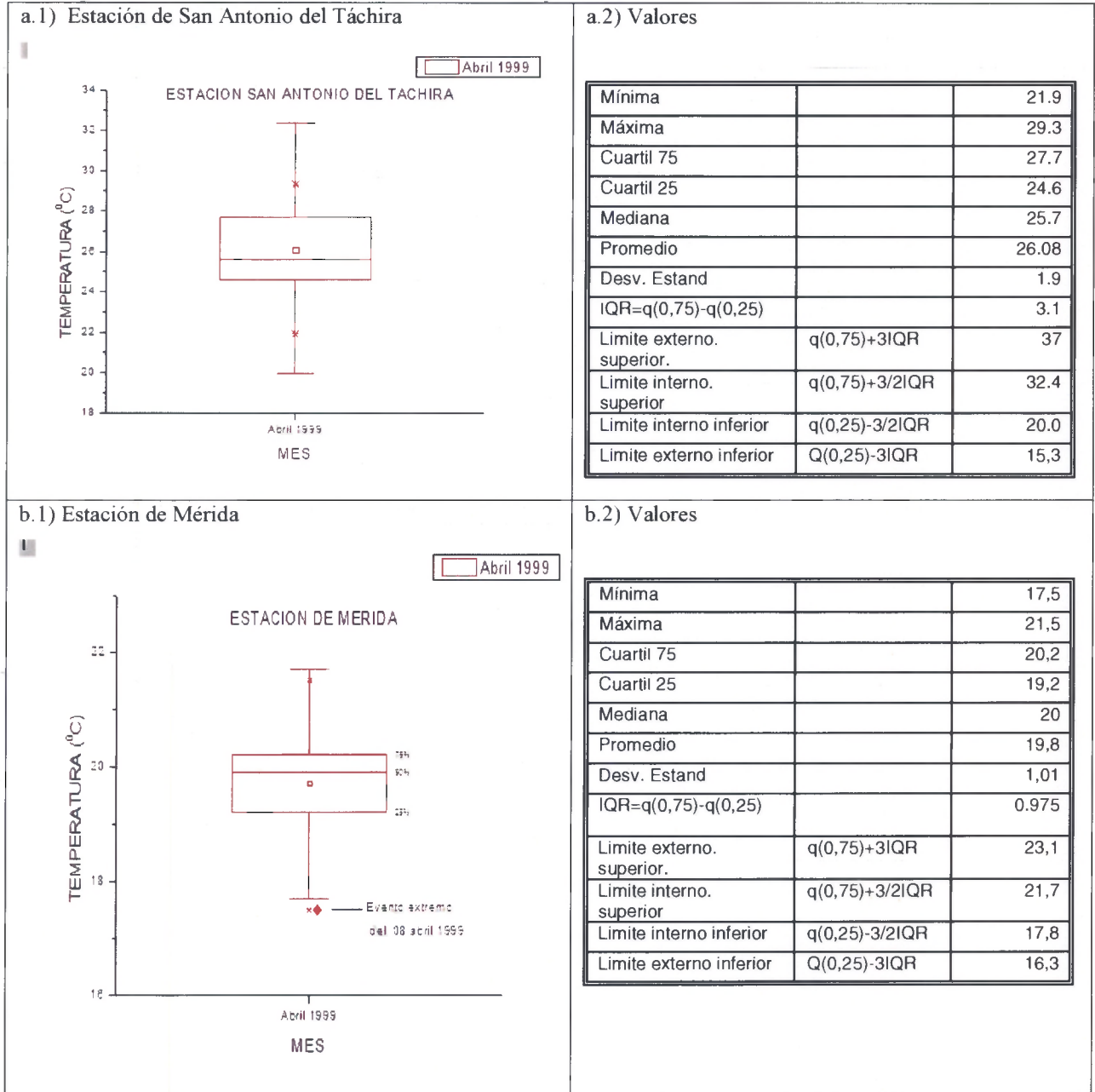
En lo que concierne a la variación de la temperatura se presentaron cambios notables en la temperatura para los días del evento, siendo más específicos la disminución de la temperatura con respecto a la media que se obtuvo del mes fue bastante considerable. Los casos más significativos de las estaciones que registran eventos extremos se tienen para el mes de abril del año 1999 en la región de los Andes, la estación de Santo Domingo presenta una media de 20,7 °C con una disminución para el 09 de abril hasta 18,8 °C, la media de San Antonio durante este mes fue de 26,1°C y para el 09 la temperatura bajo hasta llegar a 21,9°C; la estación de Mérida igualmente presentó una variación de 19,7°C a 18,1 y Guanare de 26,4°C a 23,6°C.

Para la región Noroccidental igualmente se observan que los cambios en la temperatura fueron importantes, uno de ellos fue el caso de la estación de Mene Grande cuya media del mes estuvo en 28,6°C y experimentó una disminución de temperatura hasta 26,5°C ; Barquisimeto con un promedio del mes de 23,9 en los días del evento llegó a tener una mínima de 20,5°C ; y finalmente en la estación de Palmichal se observó un cambio de temperatura desde 24,7 °C que era su media hasta llegar a presentar una temperatura de 20,8°C para el 09 de abril, día donde la intensidad del evento se hizo mayor.

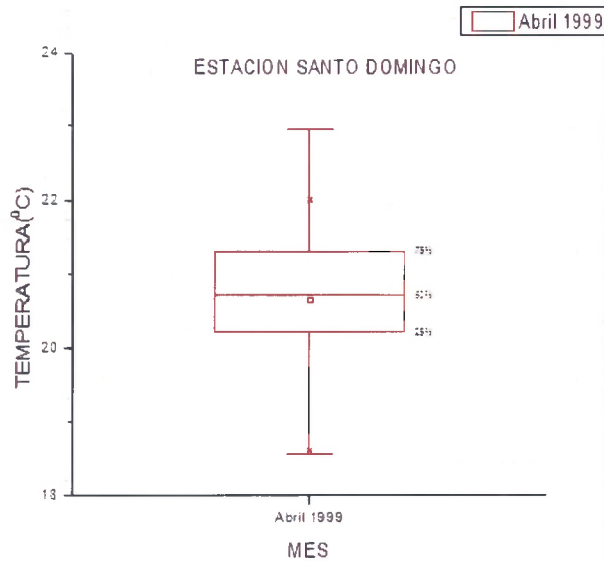
Una forma de ver la influencia de los eventos extremos en el parámetro de temperatura, es representando en un diagrama los valores que se ubican fuera del rango, es decir valores que se encuentran por debajo del 25%, pero que pudieran dar lugar a eventos extremos. En este caso, se representan únicamente los diagramas de puntos atípicos para la temperatura sólo en las estaciones que registraron eventos extremos de las dos regiones de estudio.

Se trató de representar los mismos diagramas para el caso de la precipitación, pero dada a la predominancia de valores de cero en cada una de las series, afectó de igual manera en los cuartiles 25 y 75 , originando valores cercanos al cero en casi todos los casos, lo que provocó que la representación de los puntos atípicos (“outliers”, en inglés) se ubicaran por debajo del cero correspondiente al eje de la precipitación dentro de las gráficas, por lo cual no quedaba muy clara la representación, a tal motivo se prefirió no incluirlas.

Figura 72. a) Representación de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos el 09 de abril en la región de los Andes. b) Tabla de valores obtenidos a partir del método.



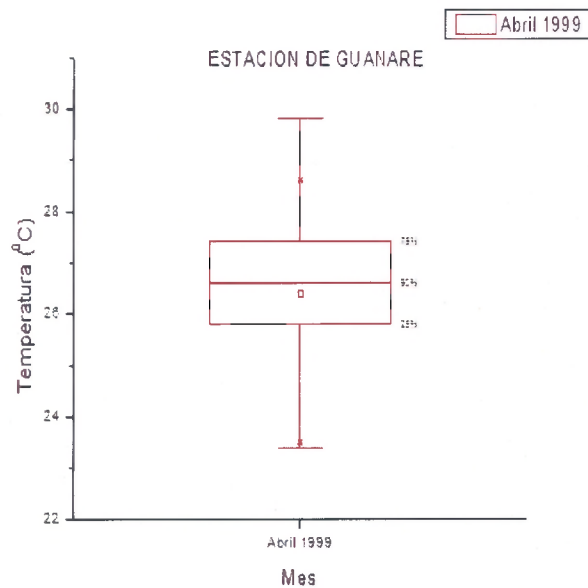
c.1) Estación de Santo Domingo



c.2) Valores

Máxima		22,0
Mínima		18,6
Cuartil 75		21,3
Cuartil 25		20,3
Mediana		20,8
Promedio		20,7
Desv. Estand		0,88
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,0
Limite externo superior.	$q(0,75)+3IQR$	24,4
Limite interno superior	$q(0,75)+3/2IQR$	22,8
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	18,5
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	19,7

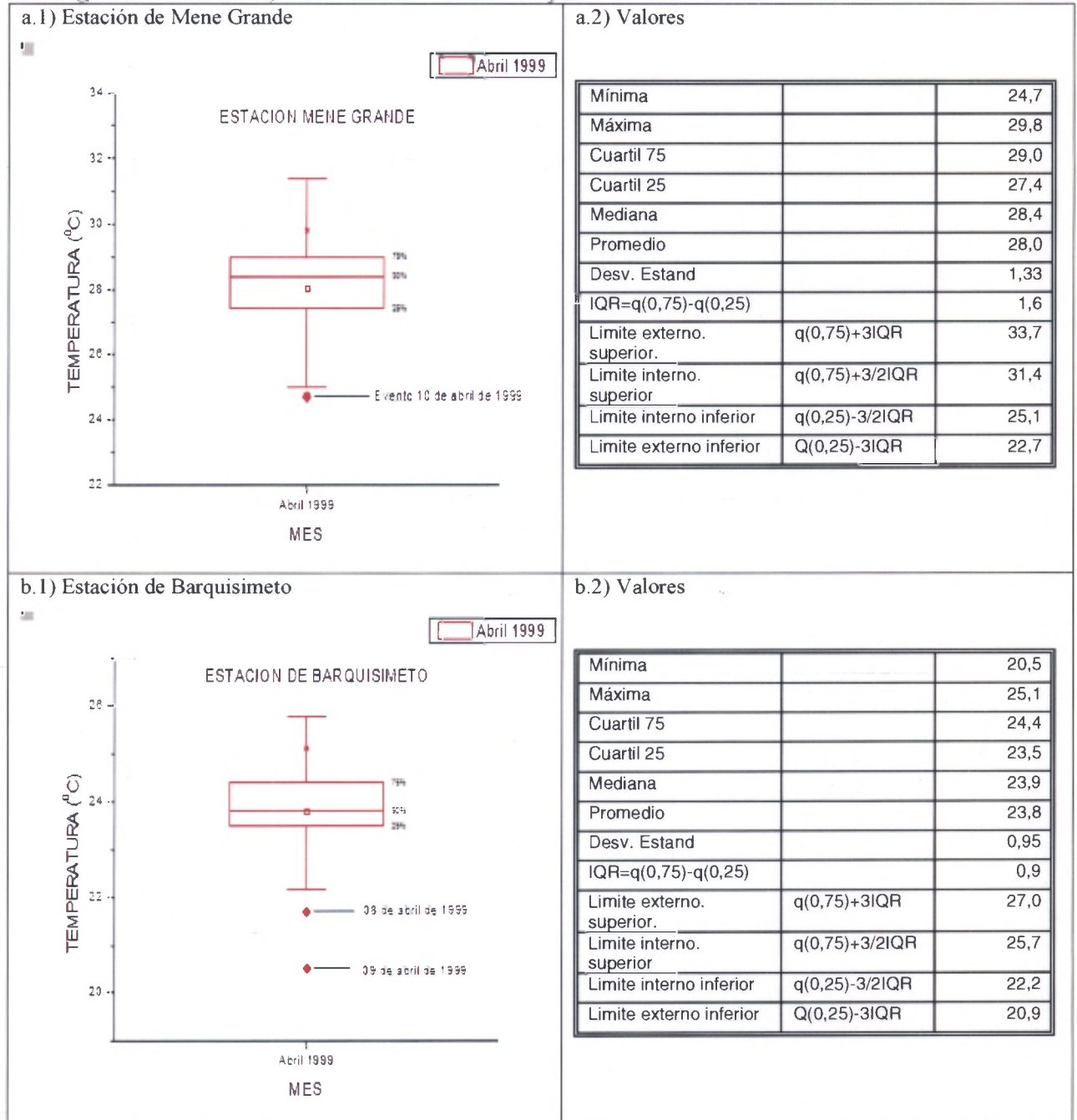
d.1) Estación de Guanare



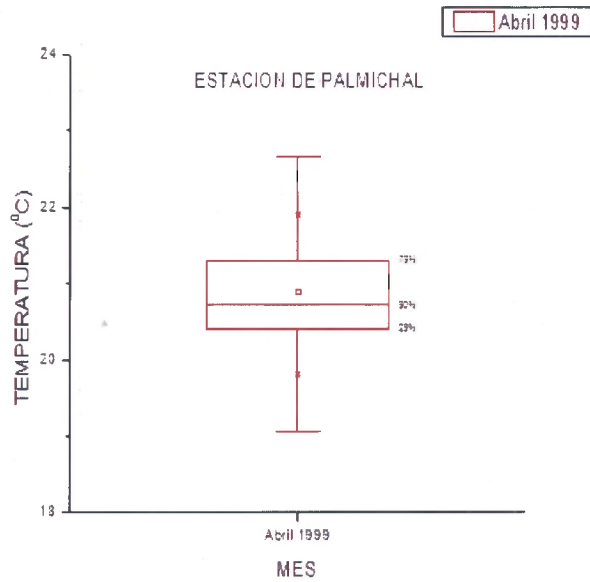
d.2) Valores

Mínima		23,5
Máxima		28,6
Cuartil 75		27,4
Cuartil 25		25,9
Mediana		26,7
Promedio		26,4
Desv. Estand		1,28
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,5
Limite externo superior.	$q(0,75)+3IQR$	32,0
Limite interno superior	$q(0,75)+3/2IQR$	29,7
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	23,6
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	21,3

Figura 73. a) Representación de puntos atípicos para estaciones que presentaron eventos extremos el 09 de abril en la región Noroccidental. b) Tabla de valores obtenidos a partir del método.



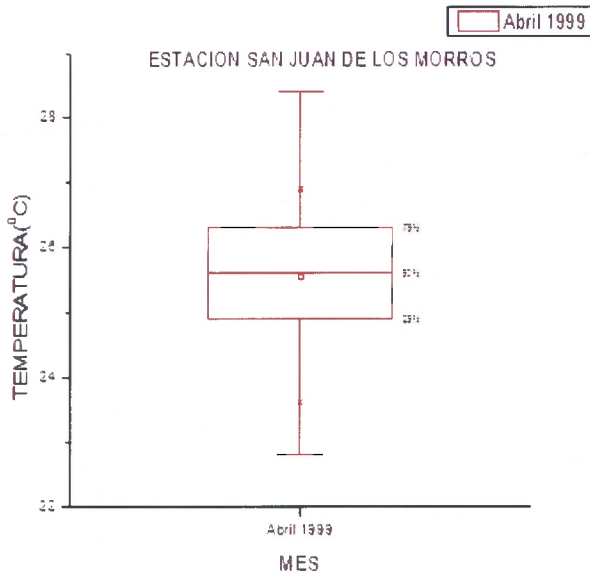
c. 1) Estación de Palmichal



c.2) Valores

Mínima		19,8
Máxima		21,9
Cuartil 75		21,3
Cuartil 25		20,4
Mediana		20,8
Promedio		20,9
Desv. Estand		0,66
IQR=q(0,75)-q(0,25)		0,88
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	23,9
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	22,6
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	19,1
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	17,8

d. 1) Estación de San Juan de los Morros



d.2) Valores

Mínima		23,6
Máxima		26,9
Cuartil 75		26,3
Cuartil 25		25,0
Mediana		25,7
Promedio		25,6
Desv. Estand		0,93
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,3
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	30,2
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	28,2
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	23,0
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	21,1

El parámetro omega (ω) durante estos cinco días presentó valores negativos (figuras 74 y 75), desde superficie y niveles bajos, pasando por niveles medios de la atmósfera, hasta finalmente llegar a los 250 hPa aproximadamente, donde el valor se revierte, es decir cambia de signo haciéndose positivo. Esto indica que se tiene desplazamientos verticales y ascenso de masas en gran parte de las columnas de aire que se forman en la atmósfera, existiendo libre ascenso y convección de masas de aire.

Los valores del potencial de la velocidad del viento (figura 76, 77 y 78) correspondientes a la troposfera alta y media (con $\sigma = 0,21$; $0,26$; y $0,85$) en los días 08, 09 y 10 de abril son valores negativos. Mientras que en los mismos días los valores del potencial de la velocidad ($\sigma = 1$) fueron todos positivos, estos datos son indicativos de fuerte convergencia para los niveles bajos y divergencia en los niveles altos de la atmósfera.

Laing y Fritsch (2000) explican en detalle algunas condiciones que permiten la formación de sistemas convectivos de mesoescala. Estos se inician dentro de zonas baroclínicas prominentes, caracterizadas por grandes valores locales de la cortante vertical de viento en la baja troposfera y de la energía potencial disponible de convección (CAPE). La presencia de un chorro bajo de aire con la estabilidad estática baja, alta temperatura potencial equivalente, orientada casi perpendicular a la zona baroclínica, son características de la región donde se da la génesis, además de la presencia en bajo nivel de una capa de aire relativamente fresco y por último la advección cálida de masas de aire las cuales sobreponen la capa de aire fresco cercano a la superficie. Un máximo local en humedad absoluta y un mínimo local en estabilidad estática favorecen a la región para la formación de los sistemas convectivos. La convergencia a nivel bajo, la divergencia en nivel superior, y un máximo asociado a la vorticidad en nivel medio son también condiciones típicas que favorecen la génesis de tales sistemas.

Figura 74. Imágenes del parámetro omega (ω) del día 06 y 07 de abril de 1999, medido en (Pa/s).

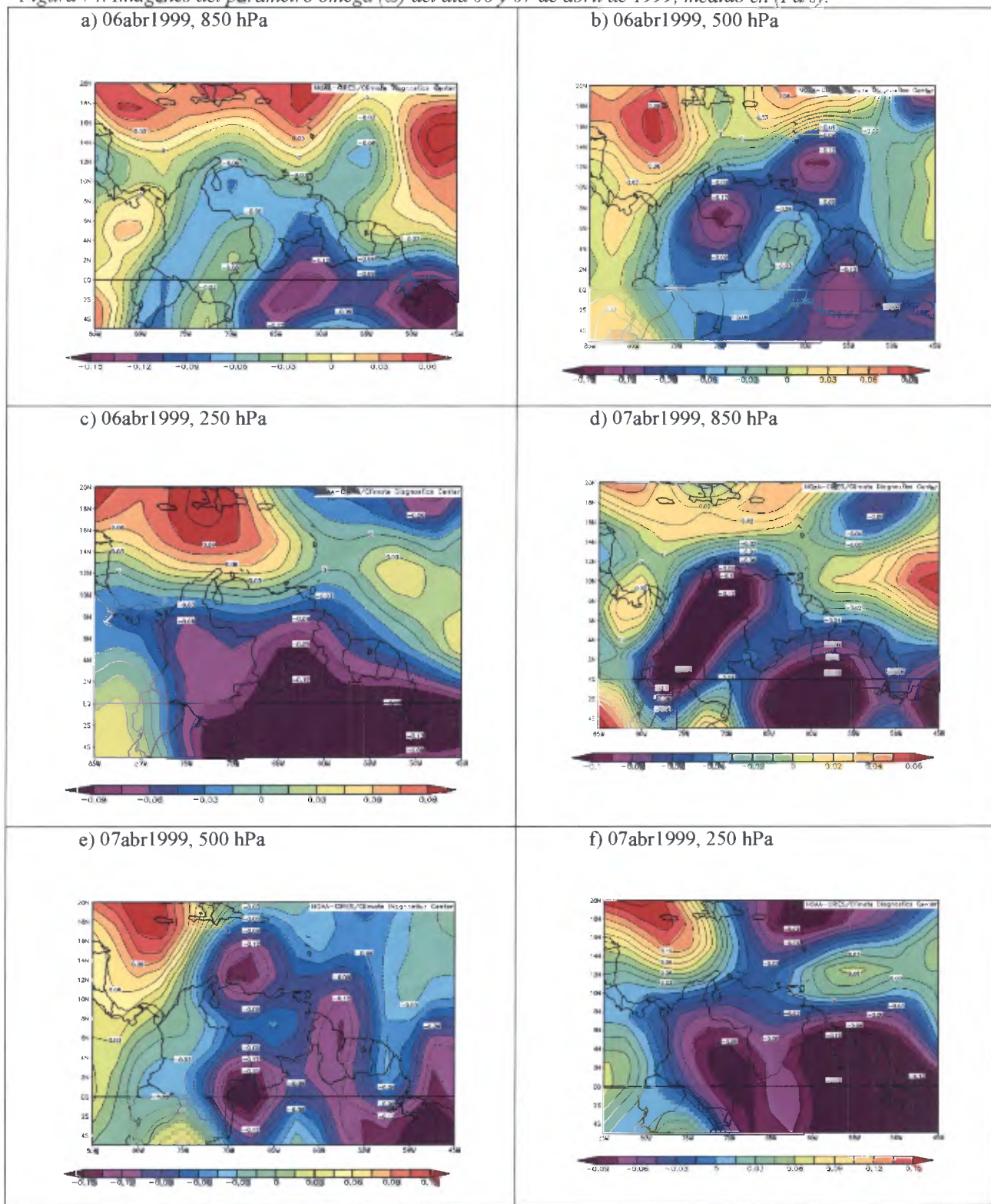


Figura 75 Imágenes del parámetro omega (ω) del día 08 y 09 de abril de 1999, medido en (Pa/s).

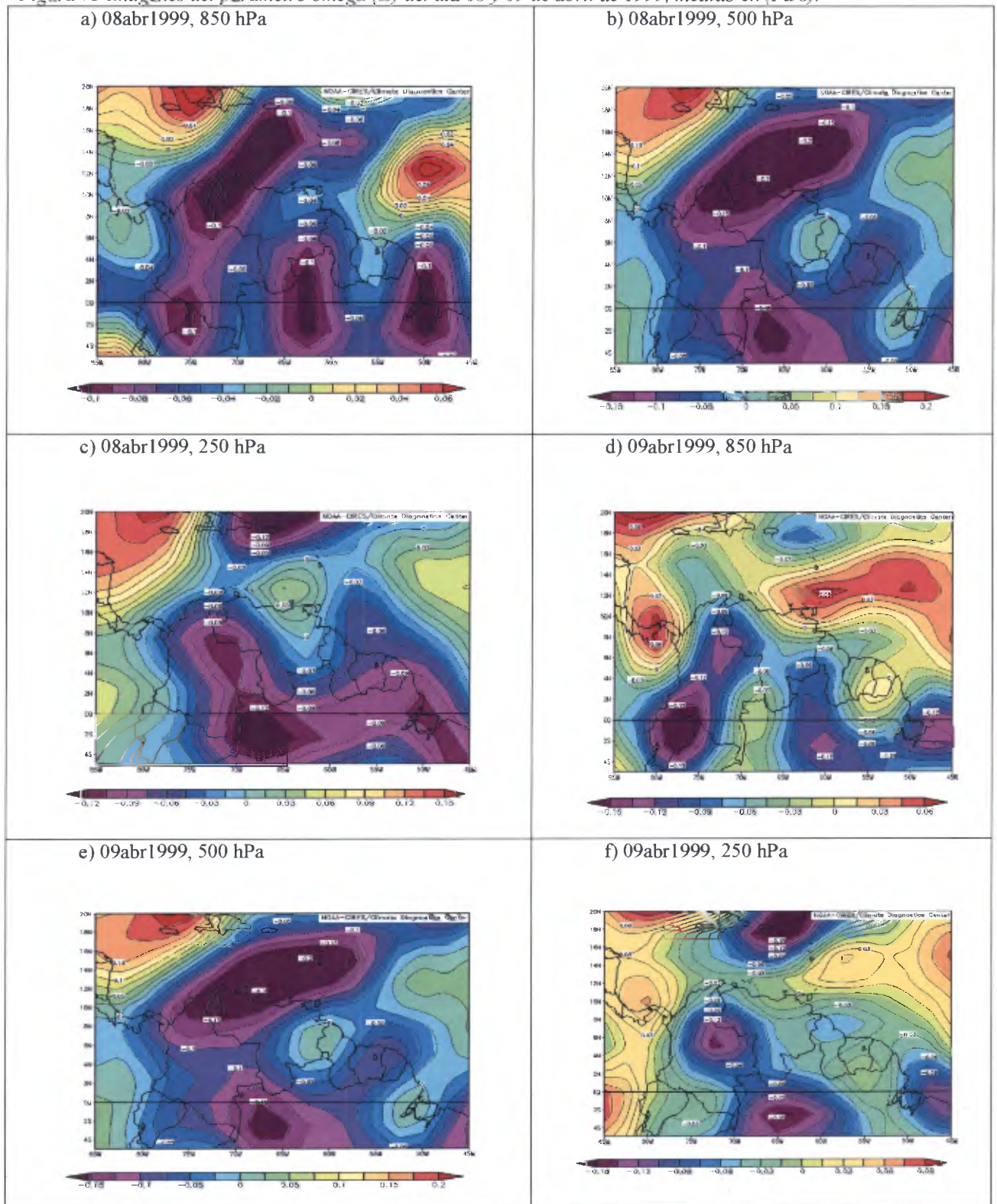
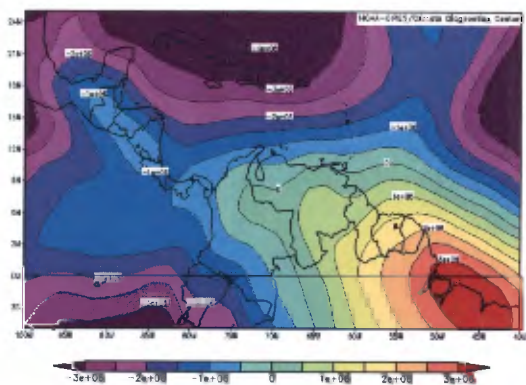
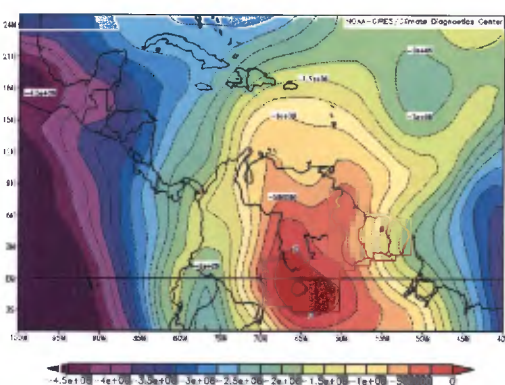


Figura 76. Imágenes de la velocidad potencial del día 06 y 07 de abril de 1999, medido (m^2/s).

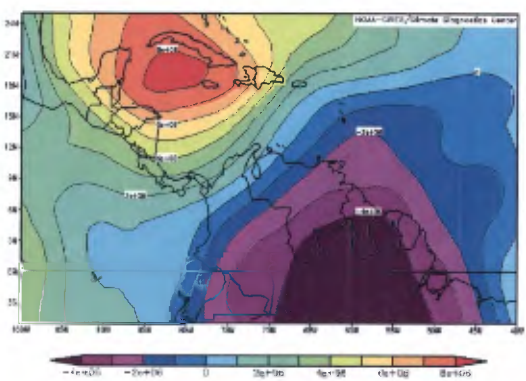
a) 06abr1999, $\sigma = 1$



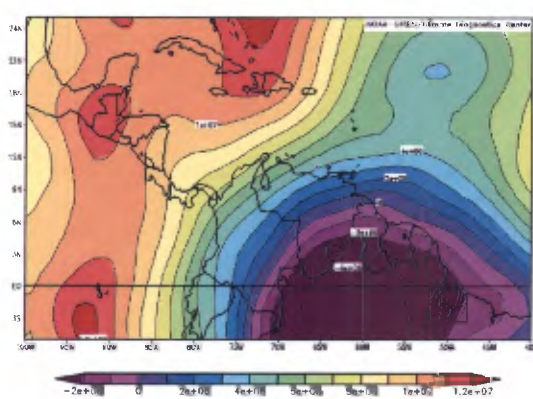
b) 06abr1999, $\sigma = 0,85$



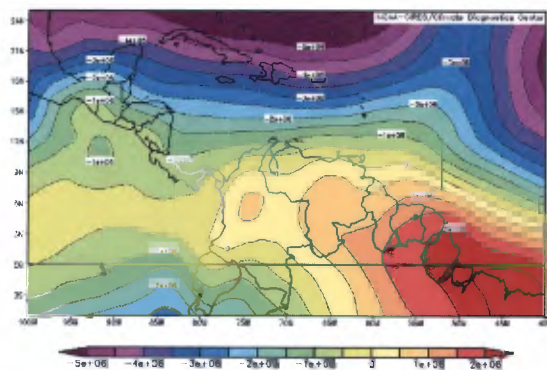
c) 06abr1999, $\sigma = 0,26$



d) 06abr1999, $\sigma = 0,17$



e) 07abr1999, $\sigma = 1$



f) 07abr1999, $\sigma = 0,85$

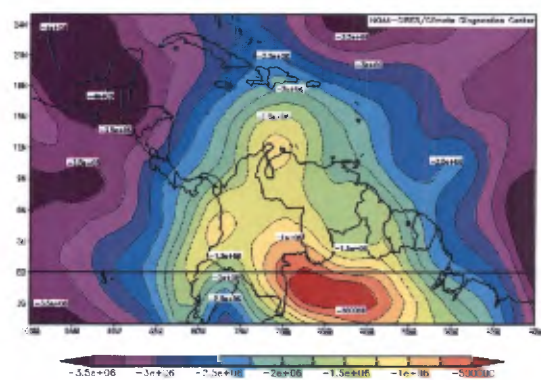
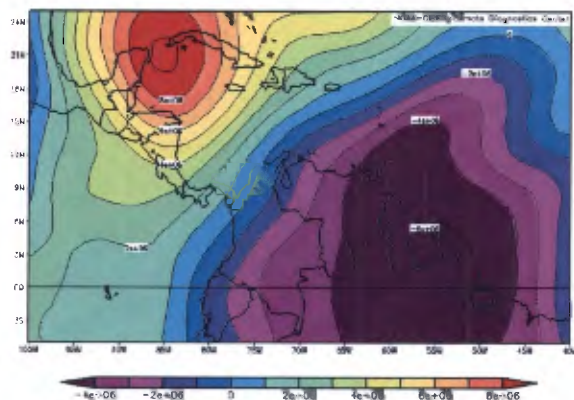
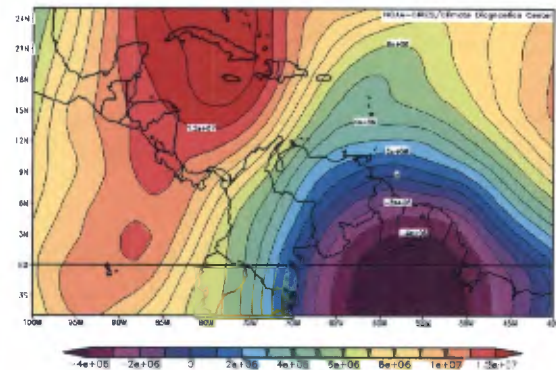


Figura 77. Imágenes de la velocidad potencial del día 07 y 08 de abril de 1999, medido en (m^2/s).

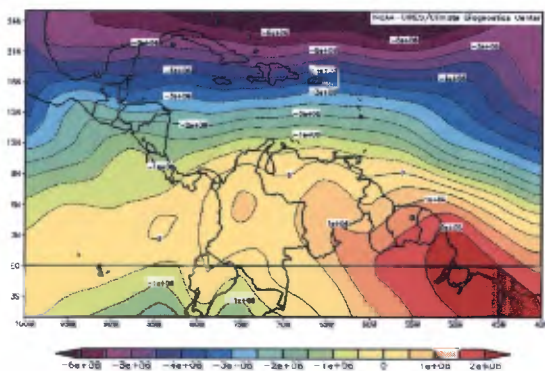
a) 07abr1999, $\sigma = 0,26$



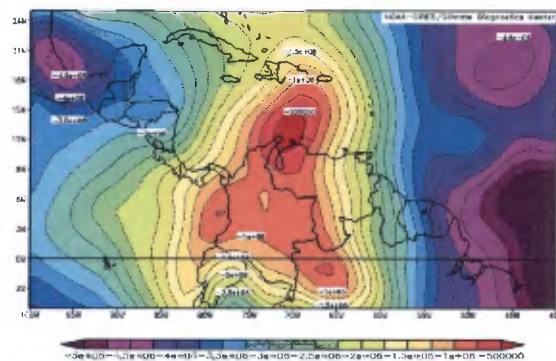
b) 07abr1999, $\sigma = 0,17$



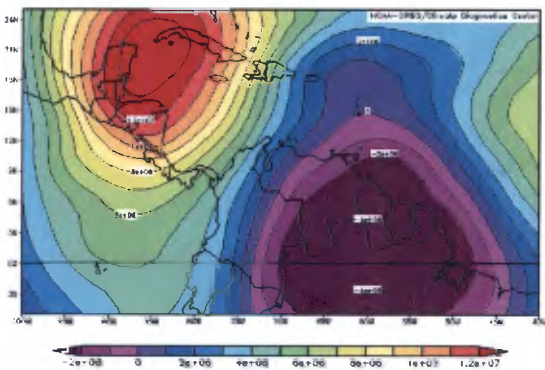
c) 08abr1999, $\sigma = 1$



d) 08abr1999, $\sigma = 0,85$



e) 08abr1999, $\sigma = 0,21$



f) 08abr1999, $\sigma = 0,17$

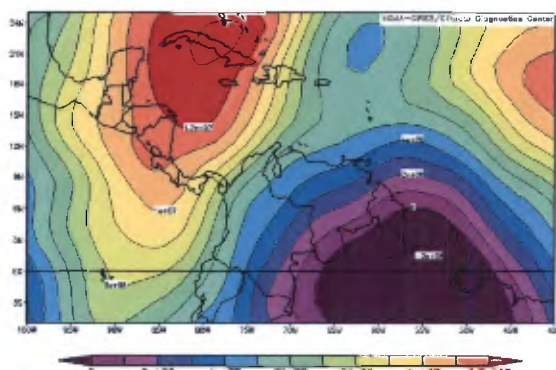
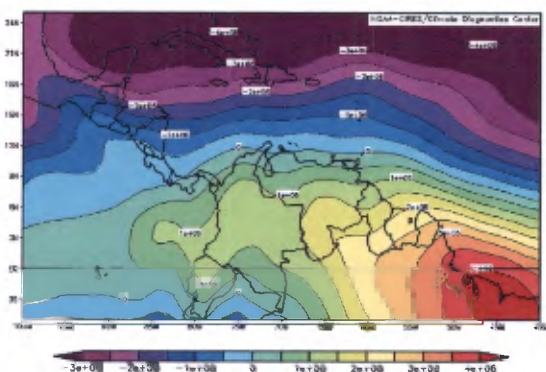
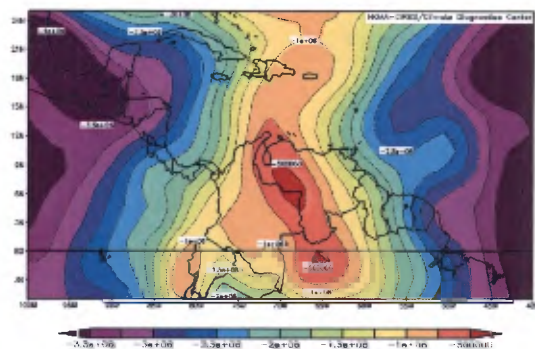


Figura 78. Imágenes del potencial de la velocidad de viento del día 09 de abril de 1999, medido en (m^2/s).

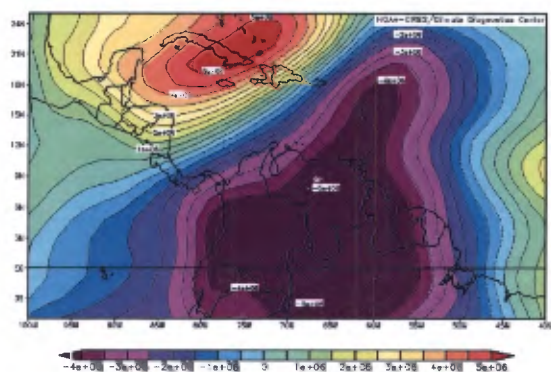
a) 09abr1999, $\sigma = 1$



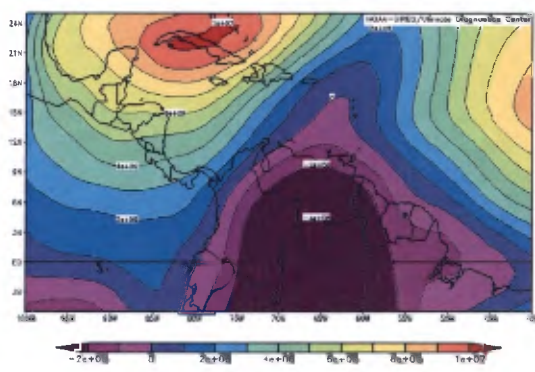
b) 09abr1999, $\sigma = 0,85$



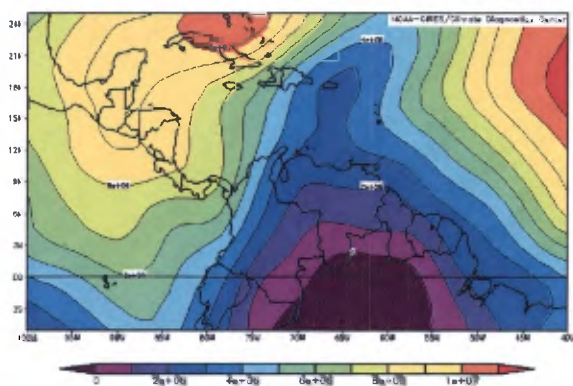
c) 09abr1999, $\sigma = 0,26$



d) 09abr1999, $\sigma = 0,21$



e) 09abr1999, $\sigma = 0,17$



4.3.2 Evento del 08 de Mayo del 2001

Días antes (06 y 07 de mayo) de ocurrir el evento se observa la presencia de abundante nubosidad, con precipitaciones dispersas de poca intensidad, que son registradas en algunas de las estaciones de las dos regiones de estudio.

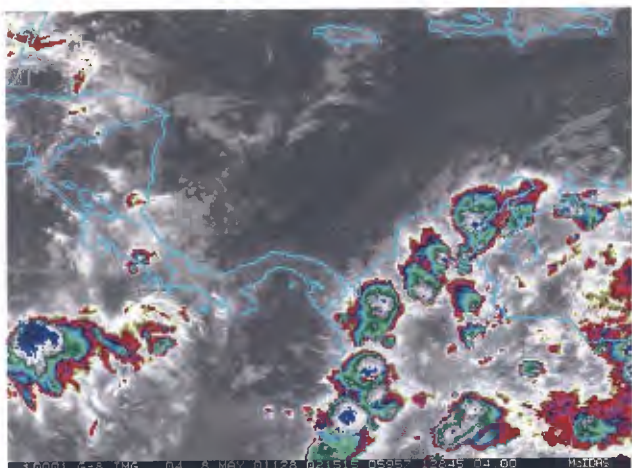
Este evento natural tiene su origen en las últimas horas de la noche del día 07 de mayo aproximadamente a las 22:15 hrs., con la formación de una línea de no turbonada o conglomerado de nubes, posiblemente por la influencia del paso de la ZCIT justamente al noroeste del territorio del país, ya que generalmente para esta fecha la zona de convergencia se intensifica para dar lugar a la época lluviosa del año. Posteriormente estos grupos nubosos se van desplazando antizonalmente hasta interactuar entre ellas, dando origen a sistemas nubosos mucho más grandes, que se sitúan sobre las regiones de interés, aproximadamente a las 06:15 hrs. de la mañana, tal como lo muestra la imagen satelital.

Según lo captado por las imágenes de satélite del GOES, se observa que el evento tiende a intensificarse en horas de la tarde próximas a la noche, e incluso la convección se hace más intensa en la noche y primeras horas de la madrugada. Finalmente, lo que muestran en las imágenes es que los sistemas nubosos precipitantes se van disipando cerca de las 02:15 hrs. de la madrugada y en la imagen de las 03:15 hrs. sólo se queda una capa de nubes cirrus en la atmósfera, lo que indica que el evento había llegado a su fin. Se debe acotar que la hora de las imágenes, ha sido adaptada a la hora local de Venezuela.

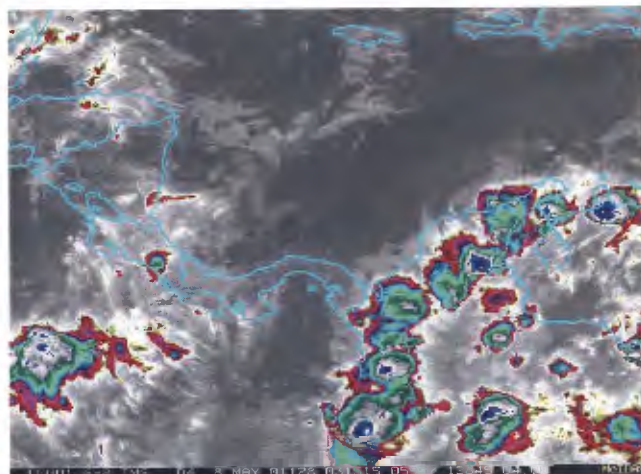
Durante algunas horas del día 08 de mayo la nubosidad pierde un poco su intensidad, posteriormente se observa un desplazamiento hacia el oeste de un gran sistema convectivo proveniente del este del territorio de Venezuela. Este desplazamiento se mantiene hasta las 16:15 hrs. que logra establecerse al norte de la región Noroccidental, produciendo fuerte precipitación debido a la presencia de fuerte nubosidad. Ya para las primeras horas de la noche la convección es muy grande, y la presencia de nubosidad es alta, lo que indica que estos sistemas convectivos dieron lugar a abundante precipitación durante varias horas.

Figura 79. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 07 y 08 de Mayo de 2001.

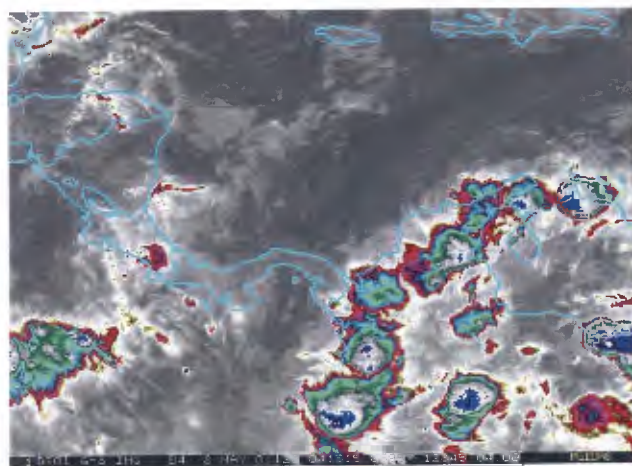
a) 07may2001, 22:15 hrs.



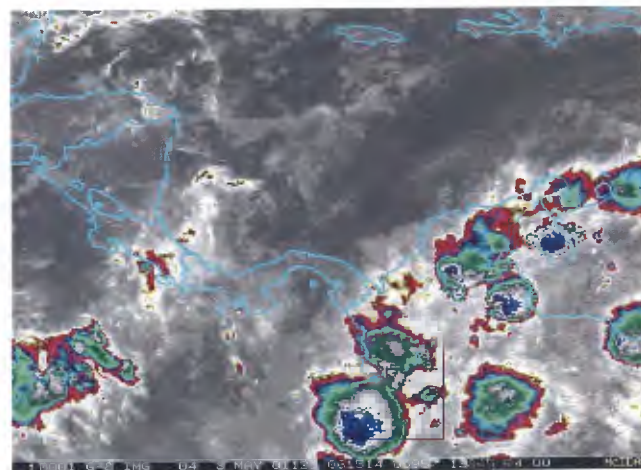
b) 07may2001, 23:15 hrs.



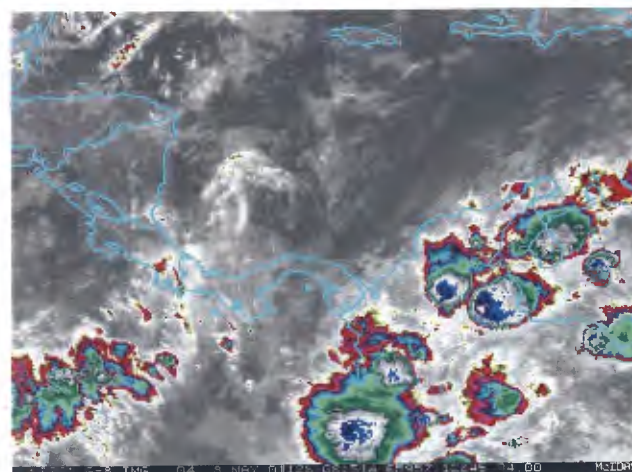
c) 08may2001, 00:15 hrs.



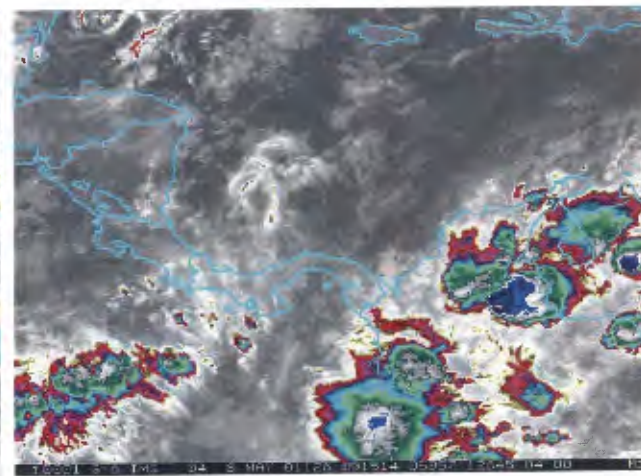
d) 08may2001, 02:15 hrs.



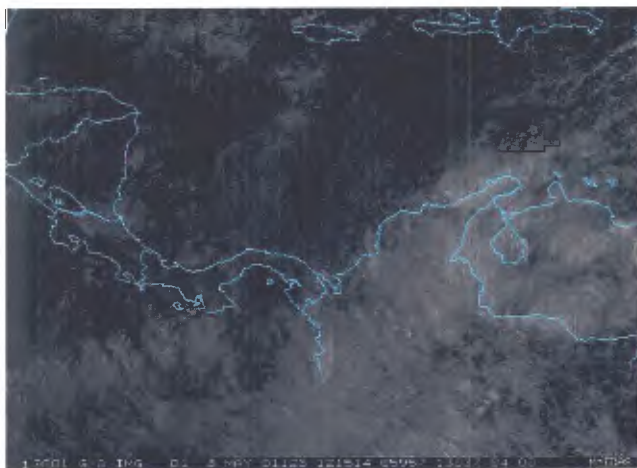
e) 08may2001, 04:15 hrs.



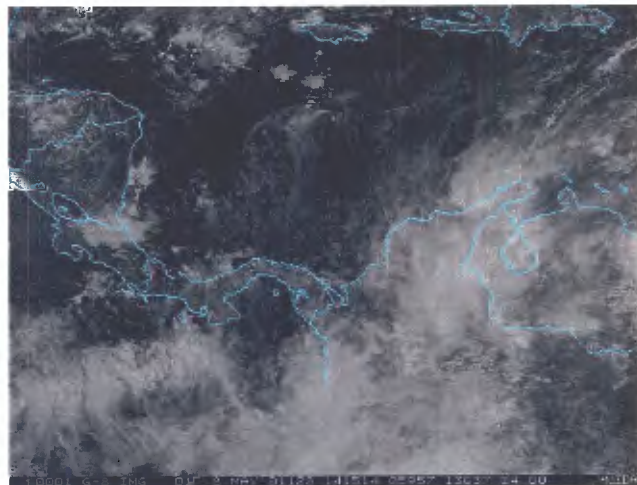
f) 08may2001, 05:15 hrs.



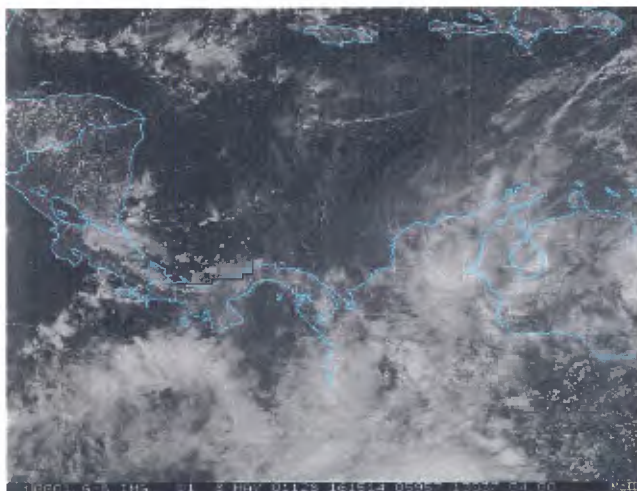
g) 08may2001, 08:15 hrs



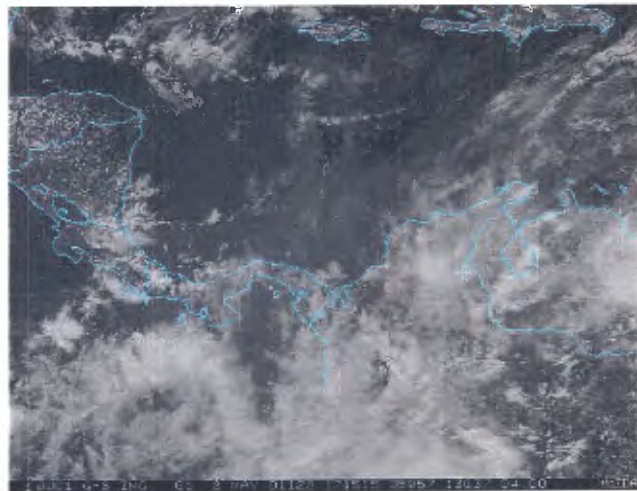
h) 08may2001, 10:15 hrs



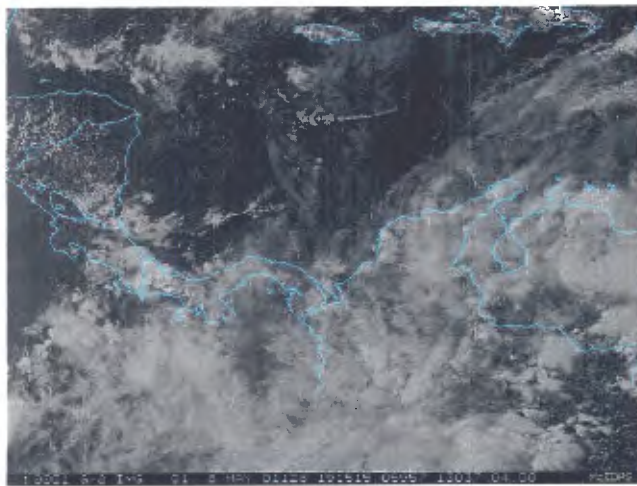
i) 08may2001, 12:15 hrs



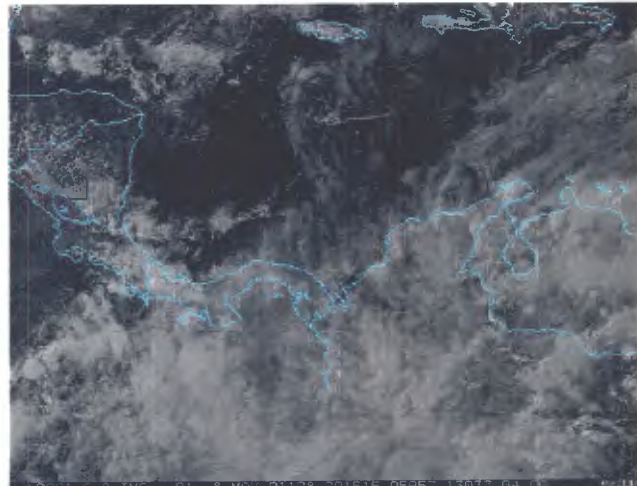
j) 08may2001, 13:15 hrs



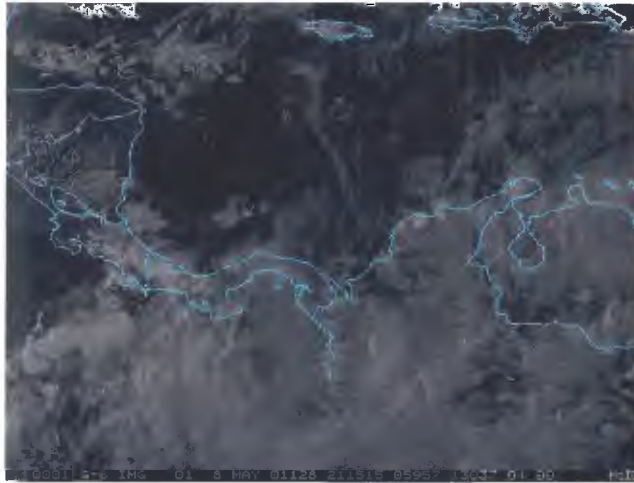
k) 08may2001, 15:15 hrs



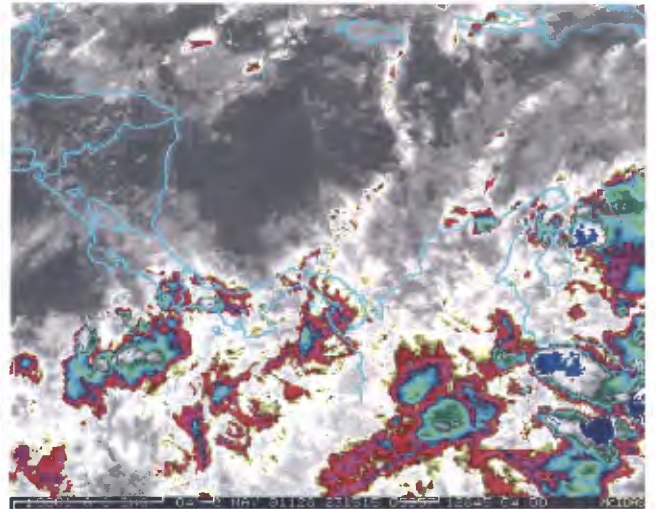
l) 08may2001, 16:15 hrs



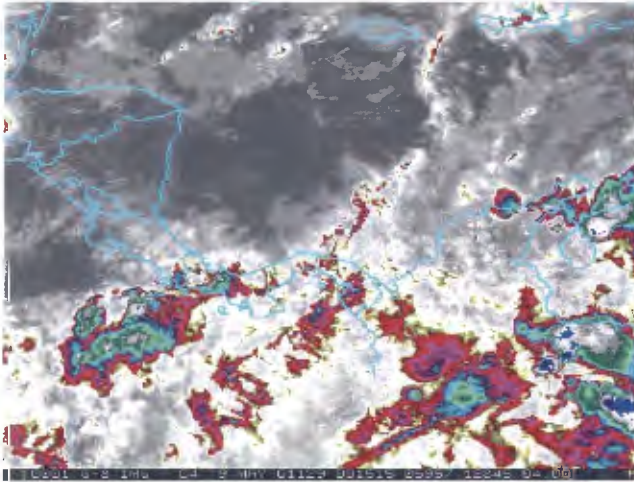
m) 08may2001, 17:15 hrs



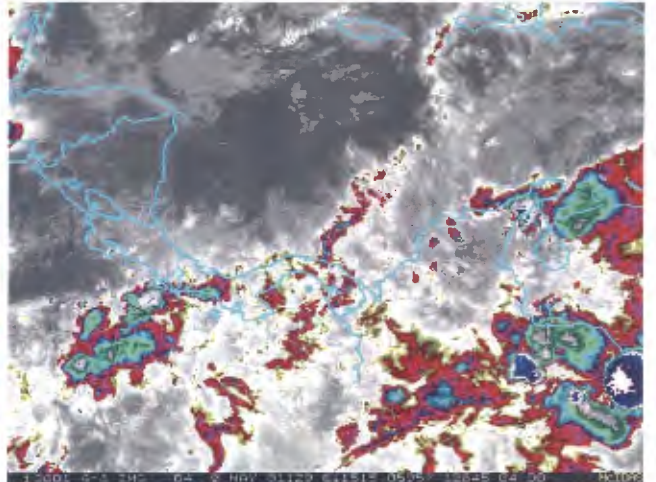
n) 08may2001, 19:15 hrs



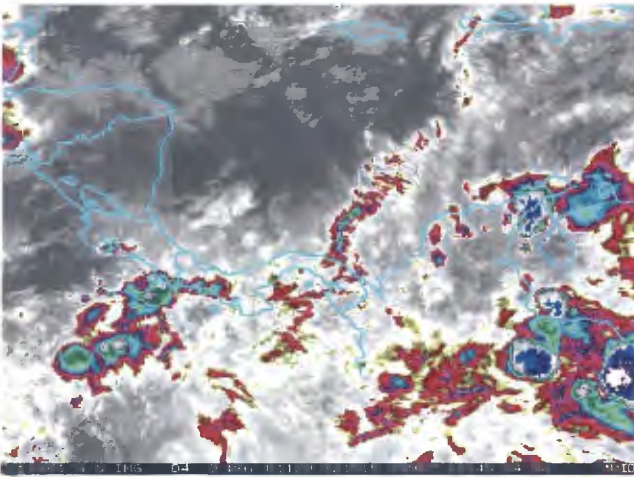
o) 08may2001, 20:15 hrs



p) 08may2001, 21:15 hrs



q) 08may2001, 22:15 hrs



r) 08may2001, 23:15 hrs

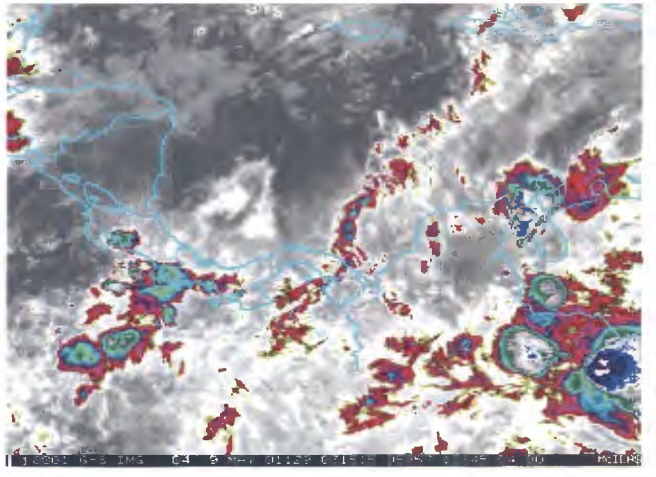
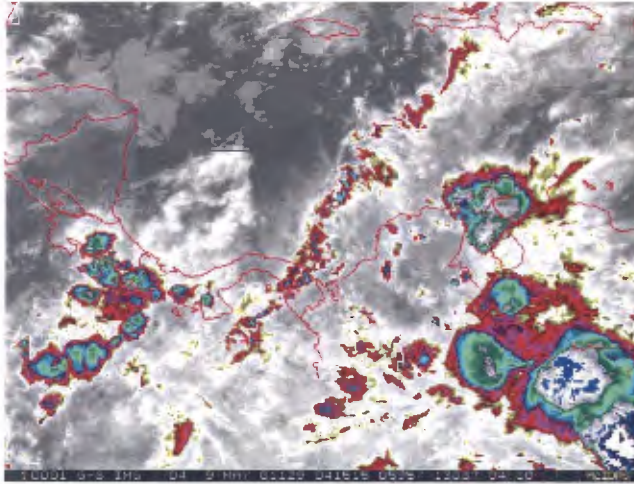
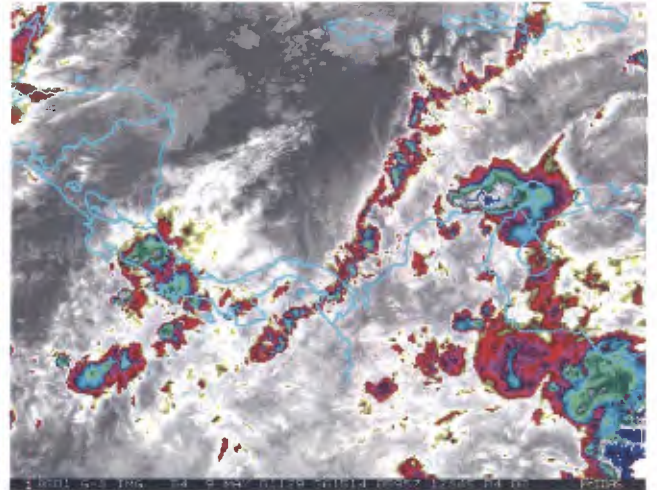


Figura 80. Imágenes satelitales del canal infrarrojo del 09 de Mayo de 2001.

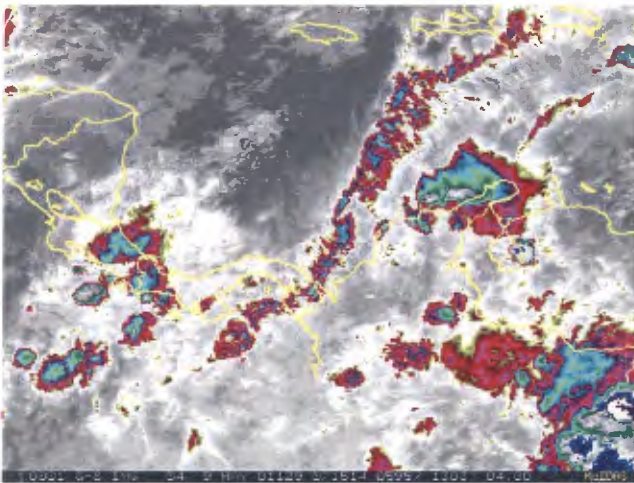
a) 09may2001, 00:15 hrs.



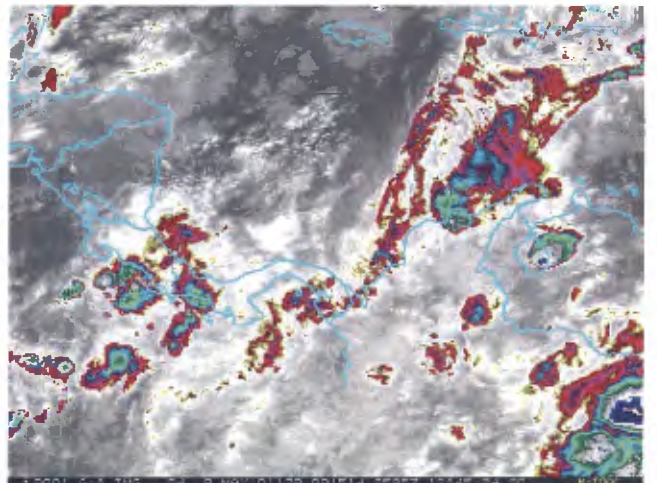
b) 09may2001, 02:15 hrs.



c) 09may2001, 03:15 hrs.



d) 09may2001, 05:15 hrs.



Se puede resaltar que días antes del 08 de mayo se presentaron precipitaciones en la región de interés, pero fueron de baja intensidad, la característica observada en los procesos de convección se relacionaba con la hora del día, las lluvias se intensificaban durante las horas nocturnas, mientras que para las primeras horas del día comenzaban a disiparse luego de calentarse la atmósfera, por influencia de la radiación solar. Un ejemplo de ello es lo observado en los días 06, 07 y 09 de mayo, en donde ocurren ciertas precipitaciones pero estas no sobrepasan los valores registrados el día 08, las tres fechas presentan el mismo patrón

en los procesos de convección, formación de nubes y lluvia que se tiene su origen las primeras horas de la noche y desaparecen en horas de la mañana.

Si se hace referencia a las líneas de corriente, en los diferentes niveles de la atmósfera, para el evento del 08 de mayo, se tomaron en cuenta la descripción de los sistemas dos días antes, para tener una idea del comportamiento de la atmósfera días y horas antes de producirse la precipitación.

Resumen de las figuras de líneas de corriente (figura 81-figura 82)

06 de mayo de 2001

En 250 hPa

- Dorsal extensa en altura ubicado al oeste del país, que genera fuerte divergencia en altura (12 y 18z).
- Vientos intensos generándose exactamente sobre la región de estudio.

En 500 hPa

- Se mantiene la dorsal que abarca todo el centro y parte norte de Venezuela (0z, 12z, 18z).
- Se genera subsidencia que va directamente a los niveles bajos (0z, 12z, 18z).

En 850 hPa

- Convergencia de viento al noroeste del país (18z).

07 de mayo de 2001(figura 81)

En 250 hPa

- Dorsal profunda en altura que se extiende desde el sur de Colombia, atraviesa el centro de ese país y se extiende hasta ubicarse exactamente al oeste del territorio de Venezuela (6z y 12z).

En 500 hPa

- Sistema anticlónico muy grande ubicado sobre el este del país (12z).
- Se mantiene la dorsal para los niveles medios que atraviesa el territorio de este a oeste (12z y 18z).

En 850 hPa

- Fuerte convergencia en el centro de Colombia, y fuerte divergencia al oeste del país dirigido a este centro de baja presión.

08 de mayo de 2001(figura 82)

En 250 hPa

- Anticiclón que se ubica al este de Venezuela, el cual genera fuerte divergencia y salida de flujo para niveles inferiores (12z).
- Gran dorsal en altura con fuerte divergencia al noroeste de Venezuela, este aire es caracterizado por ser generalmente muy frío y seco (0z, 6z y 18z).

En 500 hPa

- Se mantiene el sistema anticiclónico sobre el centro de Venezuela (0z y 6z).
- Dorsal que se ubica sobre el Mar Caribe y al noroeste del país (12z y 18z).
- Vientos divergentes sobre Venezuela.

En 850 hPa

- Comienza a formarse una pequeña vaguada sobre la región Noroccidental y Andes de Venezuela (12z).

En 925 hPa

- Convergencia de vientos en la zona de estudio (6z).
- Circulación ciclónica en el centro de Venezuela (12z).
- Formación de una vaguada en la región de estudio, notándose que la misma se encuentra dentro de la parte divergente de este sistema, esto hace que la intensidad de los vientos sea mayor.

En 1000 hPa

- Convergencia de vientos al centro y occidente de Venezuela (6z).
- Vaguada sobre el centro del país, con la parte divergente afectando la región de los Andes.

09 de mayo de 2001

En 250 hPa

- Sistema anticiclónico cuyo centro se ubica al este del territorio nacional, aunque la circulación del flujo cubre la mayoría del territorio (6z, 12z, 18z).

En 500 hPa

- Se mantiene sistema anticiclónico sobre el Mar Caribe y norte del país (0z, 12z, y 18z).
- De igual manera se mantiene una dorsal sobre el Mar Caribe y genera difluencia en los vientos.

En 850 hPa

- Convergencia al norte de Colombia, que genera fuerte intensidad de viento que interacciona con la Sierra de Perijá. (6z).

En 925 hPa

- Sistema de baja presión ubicado al oeste del país, (6z).
- Vaguada que se extiende desde el centro del país, hasta el sur de Cuba (12z).

10 de mayo de 2001

En 250 hPa

- Se mantiene el sistema anticiclónico, esta vez su centro se encuentra un poco más corrido al centro de Venezuela que abarca todo el territorio.

En 500 hPa

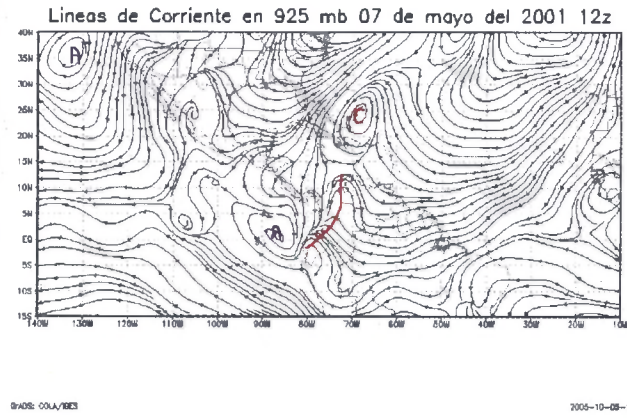
- Continúa sistema anticiclónico y la dorsal sobre el territorio de Venezuela generando salida de aire en este nivel.

En 850 hPa

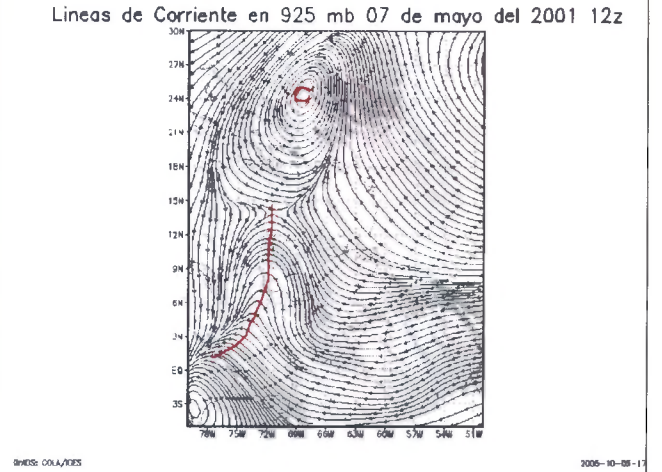
- Sistema ciclónico sobre el Mar Caribe, lo cual genera fuerte viento al norte de Venezuela. (6z).

Figura 81. Representación de líneas de corriente del 07 de Mayo de 2001 para diferentes niveles atmosféricos.

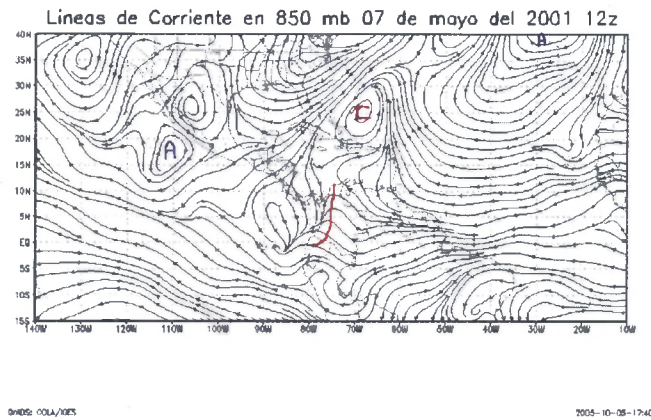
a.1) 07may2001 (área mayor) 925 hPa 12Z



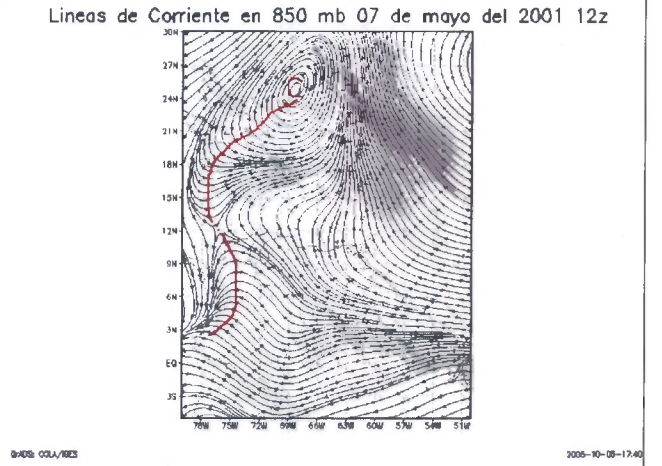
a.2) 07may2001 (área menor) 925 hPa 12Z



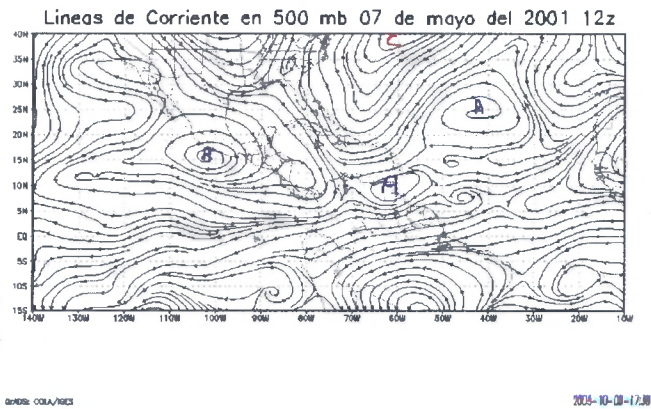
b.1) 07may2001 (área mayor) 850 hPa 12Z



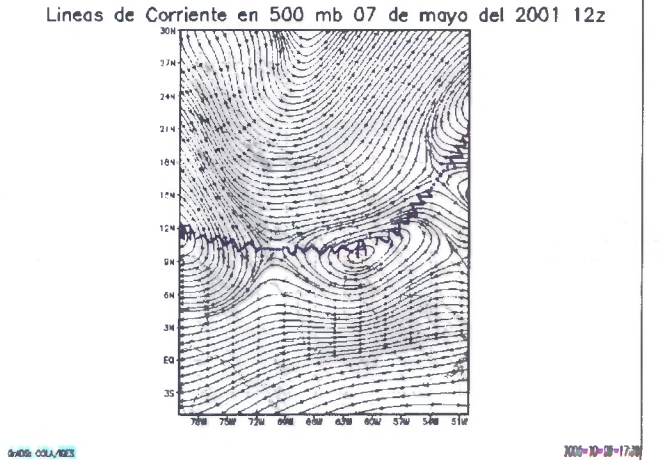
b.2) 07may2001 (área menor) 850 hPa 12Z



c.1) 07may2001 (área mayor) 500 hPa 12Z



c.2) 07may2001 (área menor) 500 hPa 12Z



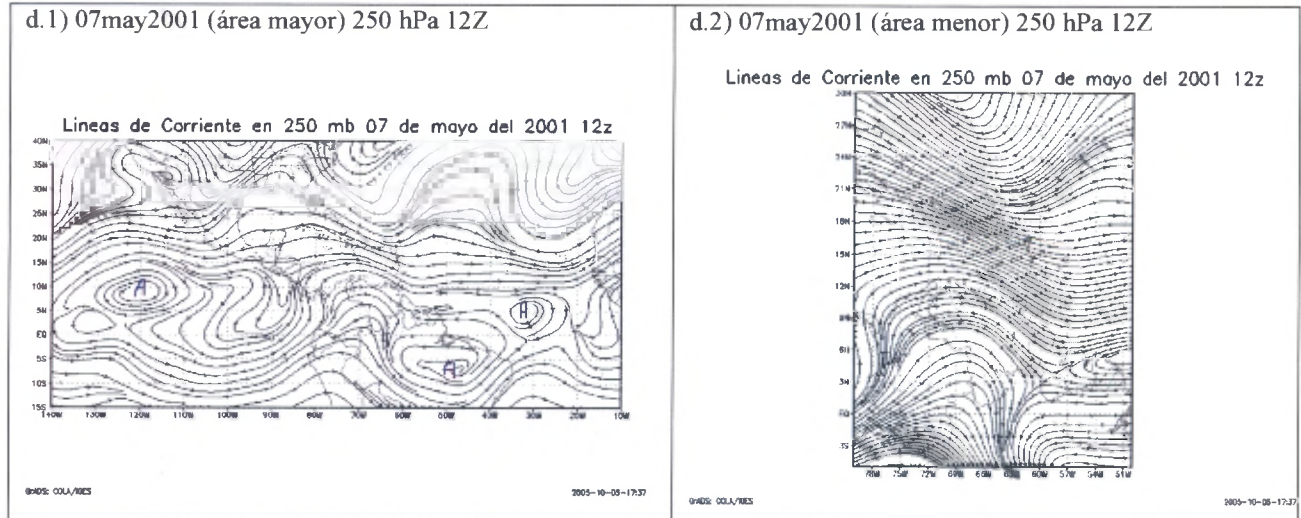
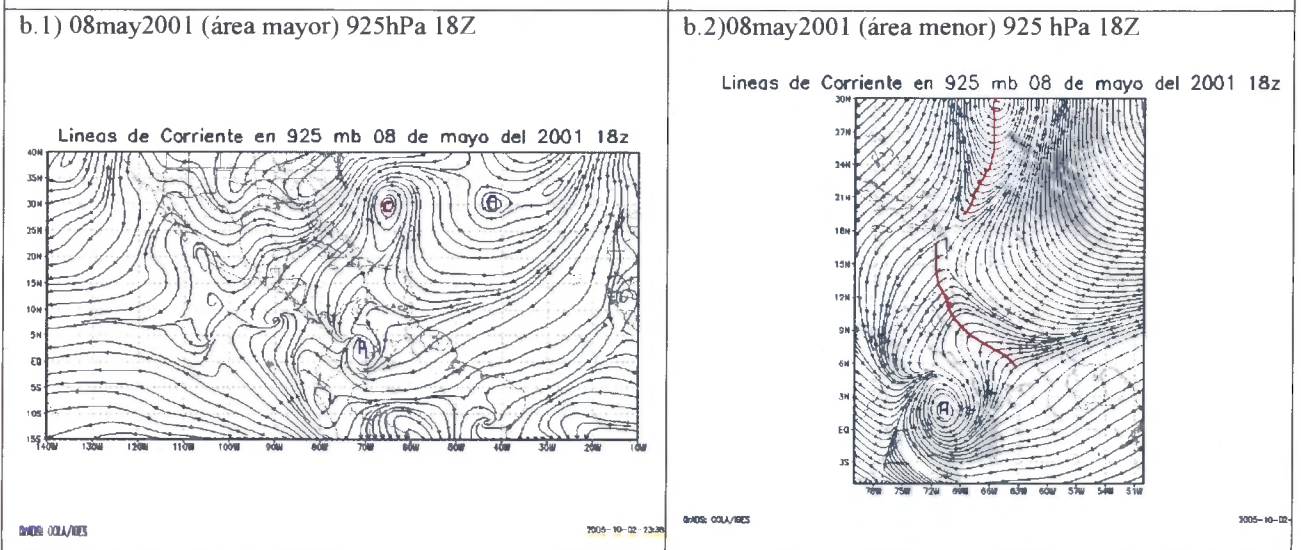
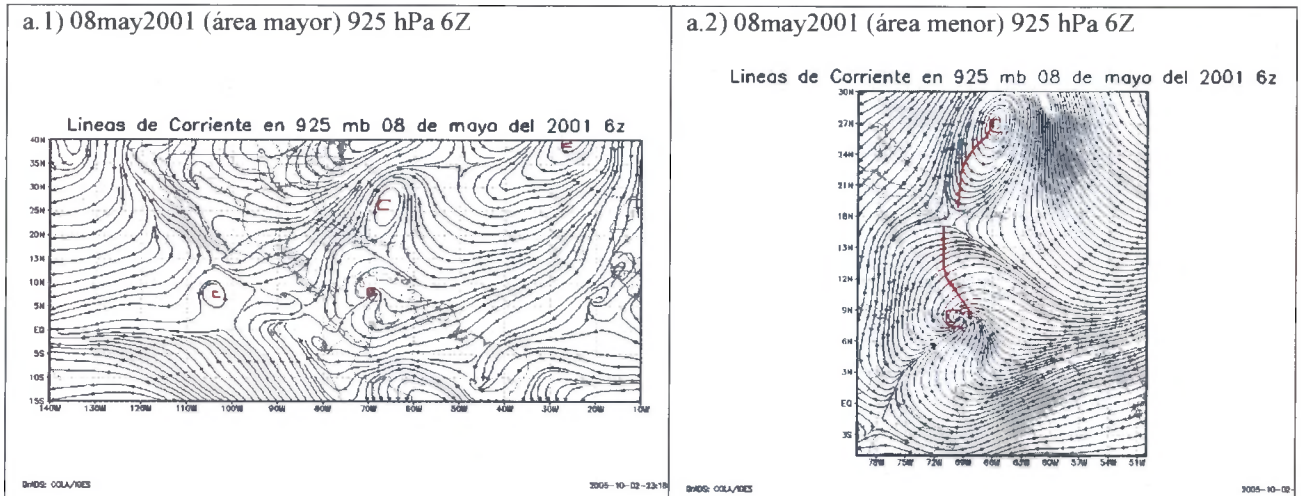
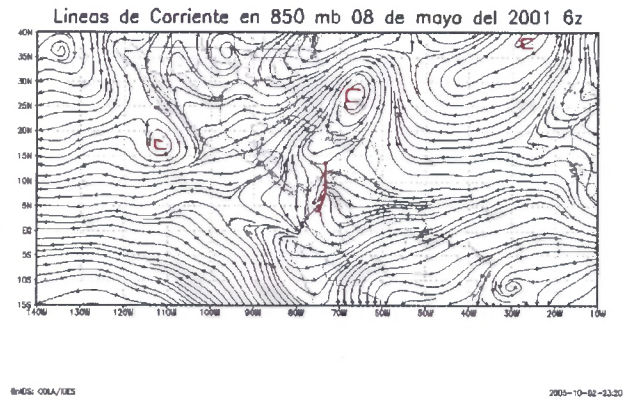


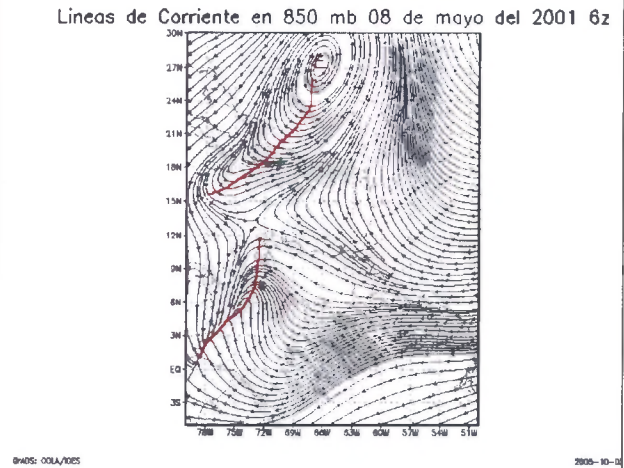
Figura 82. Representación de líneas de corriente del 08 de Mayo de 2001 para diferentes niveles atmosféricos.



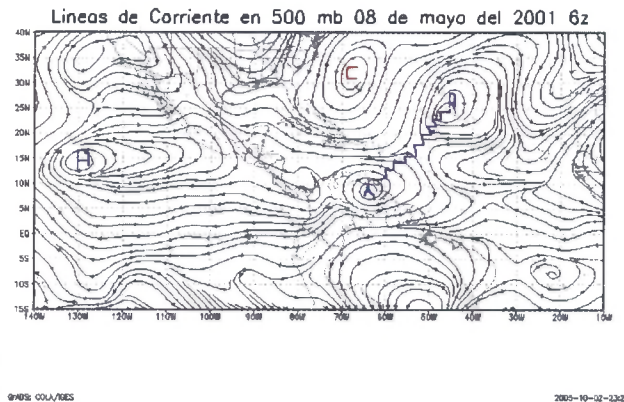
c.1) 08may2001 (área mayor) 850 hPa 6Z



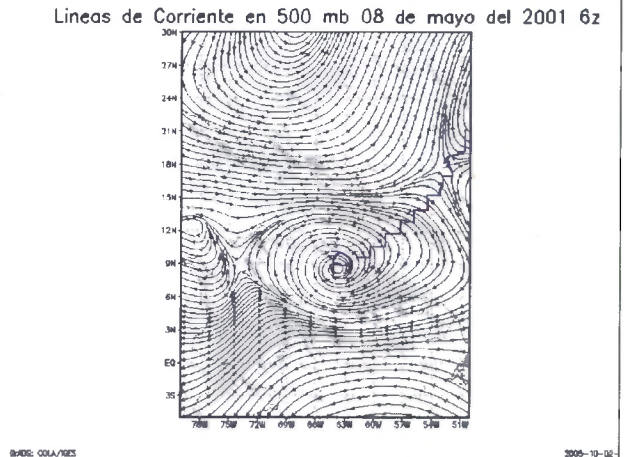
c.2) 08may2001 (área menor) 850 hPa 6Z



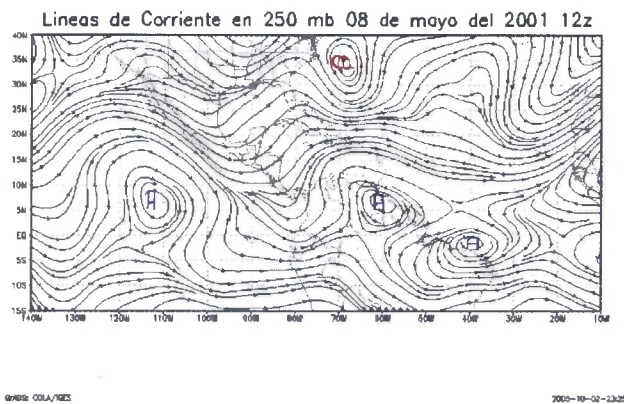
d.1) 08may2001 (área mayor) 500 hPa 6Z



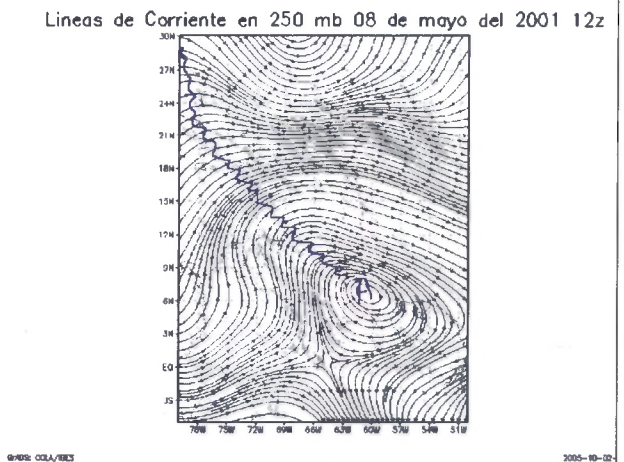
d.2) 08may2001 (área menor) 500 hPa 6Z



e.1) 08may2001 (área mayor) 250 hPa 12Z



e.2) 08may2001 (área menor) 250 hPa 12Z



Una vez analizadas las líneas de corriente es notable resaltar los acoples dinámicos que se forman para estos días, en especial el día 8 de mayo, permitiendo la formación de una gran celda convectiva alimentada por flujo proveniente de los niveles altos de la troposfera; en los niveles medios la presencia de la dorsal hace posible que se mantenga la divergencia de viento, por tanto existe una intensa subsidencia del flujo que está dirigido a los niveles bajos. Estos factores dan lugar a condiciones idóneas para producir convergencia, condensación y liberación de calor latente debido a los cambios de estado, para finalmente llegar al evento de la precipitación

Holton (2004) explica que físicamente se requiere una distribución del movimiento vertical para mantener geostrófico el campo de vorticidad de niveles altos en presencia de variaciones de altura producida por la advección térmica. Un ejemplo es que la advección cálida aumenta el espesor de 500-1000 hPa en la región de la dorsal en 500 hPa. De este modo, la altura geopotencial se eleva en la dorsal y la vorticidad anticiclónica debe aumentar con el objeto de que se mantenga el equilibrio geostrófico. Como la advección de vorticidad no puede producir vorticidad anticiclónica adicional en la dorsal, se requiere la existencia de divergencia horizontal para justificar la tendencia negativa de la vorticidad. La continuidad de la masa exige entonces que haya movimiento hacia arriba para reemplazar el aire divergente de los niveles altos. De esta forma, es entonces por continuidad pues que debe haber convergencia a niveles bajos en la zona de convección y divergencia en la troposfera superior. Por tanto, si la vorticidad absoluta es positiva para el hemisferio norte, habrá generación de vorticidad ciclónica en la baja troposfera y anticiclónica en la alta troposfera debido al término $(\xi + f)\nabla * V$ de la ecuación de vorticidad.

El proceso de ajuste de masa-velocidad tiende a generar un mínimo de presión o vaguada a bajos niveles y un máximo de presión o dorsal en la troposfera superior. Así pues el espesor (o temperatura media de la capa) en la zona convectiva debe ser mayor que en los alrededores.

La magnitud del viento en superficie registrada en las estaciones por donde pasa el sistema, resulta ser pequeña, es el caso de la estación de Valencia (0,77 m/s), San Juan de los Morros (0,58 m/s), Palmichal (0,61 m/s) y La Cañada (1 m/s). Dada esta magnitud del viento permite que el paso del sistema nuboso sea lento. Sin embargo, estos valores resultan ser promedios diarios registrados por las estaciones en superficie, lo que implica que la intensidad del viento pudo aumentar o disminuir dependiendo de la hora del día y de nivel en la troposfera.

Al comparar la circulación del flujo y el desplazamiento de los sistemas ocurridos durante estos días, con las características del viento de la región para el periodo de estudio, se puede decir que existe bastante semejanza a lo obtenido anteriormente durante el mes de mayo en la climatología de la región, en los diez años de estudio, cuando se buscó conocer el comportamiento del viento.

Se muestra a continuación el radiosondeo de los días 07 y 08 de Mayo (figuras 83 y 84), hecho para el aeropuerto Hato de la isla de Curazao.

Figura 83. Radiosondeo del 07 de mayo para la Isla de Curazao a las 12 Z.

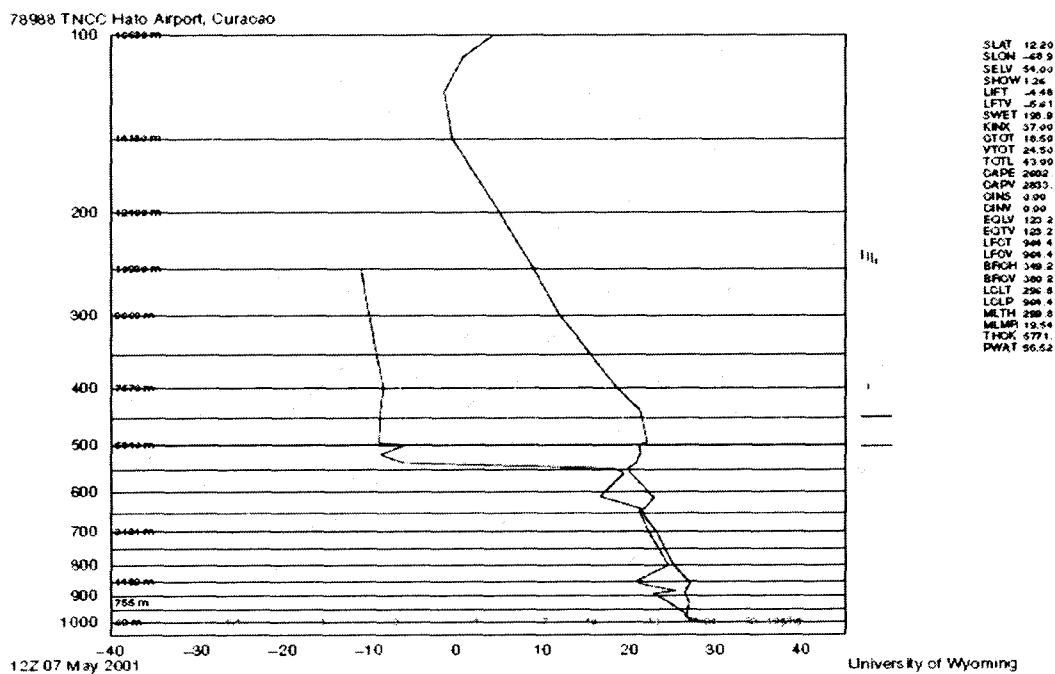
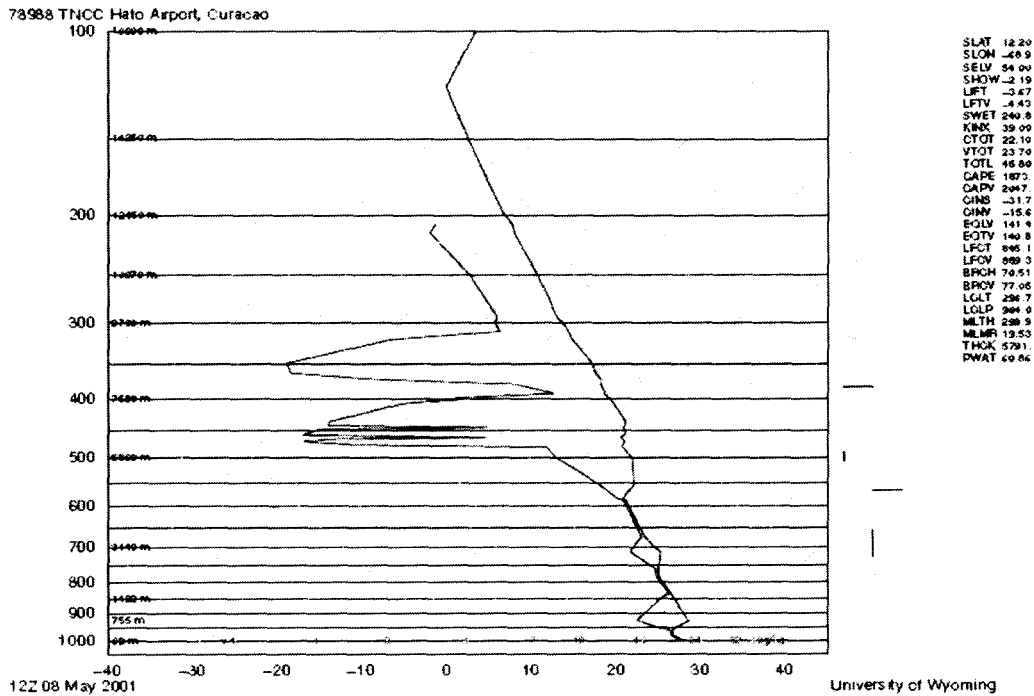


Figura 84. Radiosondeo del 08 de mayo para la Isla de Curazao a las 12Z.



La proximidad existente entre la línea de temperatura de rocío y la línea de temperatura ambiente refleja una atmósfera muy húmeda, especialmente en los niveles bajos, ya que a los 500 hPa el porcentaje de humedad es menor (40% aproximadamente), por lo que crea condiciones favorables para la inestabilidad tal cual como lo menciona Asnani (1993), cuyas condiciones que activan la inestabilidad son el calentamiento adiabático en bajos niveles, la presencia de humedad en bajos niveles y advección horizontal de aire más frío en los niveles altos y aire más caliente en los niveles bajos.

Por otra parte Holton (2004) explica que la energía potencial de convección disponible (CAPE), provee una medida del máxima de energía cinética disponible que una parcela estáticamente inestable puede adquirir (despreciando los efectos del vapor de agua y agua condensada por boyantes), asumiendo que la parcela asciende sin mezclarse con el ambiente y ajustando instantáneamente la presión local del entorno. Los valores típicos según Bluestein (1992) de la energía potencial de convección disponible (CAPE) para días cuando es moderada la convección fuerte ocurre a partir del rango de 1000 a 3000 m^2s^{-2}

(Jkg^{-1}). Puesto que la CAPE es la fuerza de la flotabilidad integrada con respecto a la altura, representa el trabajo hecho sobre la parcela por el ambiente mientras que ésta se acelera hacia arriba.

En el caso de los valores de energía potencial de convección (CAPE) expresados por el radiosondeo se tienen valores de 2602 Jkg^{-1} el día 07 y 1873 Jkg^{-1} para el 08 de mayo. Bluestein (1992) compara un valor de 2500 Jkg^{-1} con una velocidad vertical o de ascenso (w_{max}) de 70 m s^{-1} . Ahora haciendo una analogía con los valores arrojados por el sondeo, se puede decir que la energía potencial disponible es muy grande, lo cual da lugar a fuertes ascensos de masas o corrientes ascendentes que hacen posible a una capa profunda de convección dentro de la troposfera. Asimismo, la presencia en exceso de la energía potencial de convección (CAPE) permite los forzamientos dinámicos e inestabilidad termodinámica para iniciar y mantener activo un sistema convectivo.

El agua precipitable (PWAT) estimada en el sondeo a las 12Z horas del 08 de mayo fue de 60,86 mm, este valor está referido a la cantidad de agua que podría precipitar bajo condiciones ideales; sin embargo, al comparar este valor propuesto o estimado con los registros de precipitaciones de las estaciones del día 08 de mayo, se tiene la novedad que se asemejan en las cantidades obtenidas, tal es el caso de estaciones como San Juan de Colón, El Vigía y Guanare para la región de Los Andes, en tanto que en la región Noroccidental las estaciones de Mene Grande, Coro, Valencia y San Juan de los Morros fueron las que midieron mayor cantidad de lluvia, muy parecidas a las del sondeo.

Al evaluar las condiciones atmosféricas del día 07 de mayo obtenidas en el sondeo, se observó cierta similitud con el del día 08 de mayo, por el alto contenido de humedad en la atmósfera, en especial en bajo nivel; de igual manera la estimación de la energía potencial de convección disponible es muy alta, sin embargo la existencia de una cortante de viento en los 850 hPa pudo ser factor responsable de inhibir la convección y la formación de nubosidad.

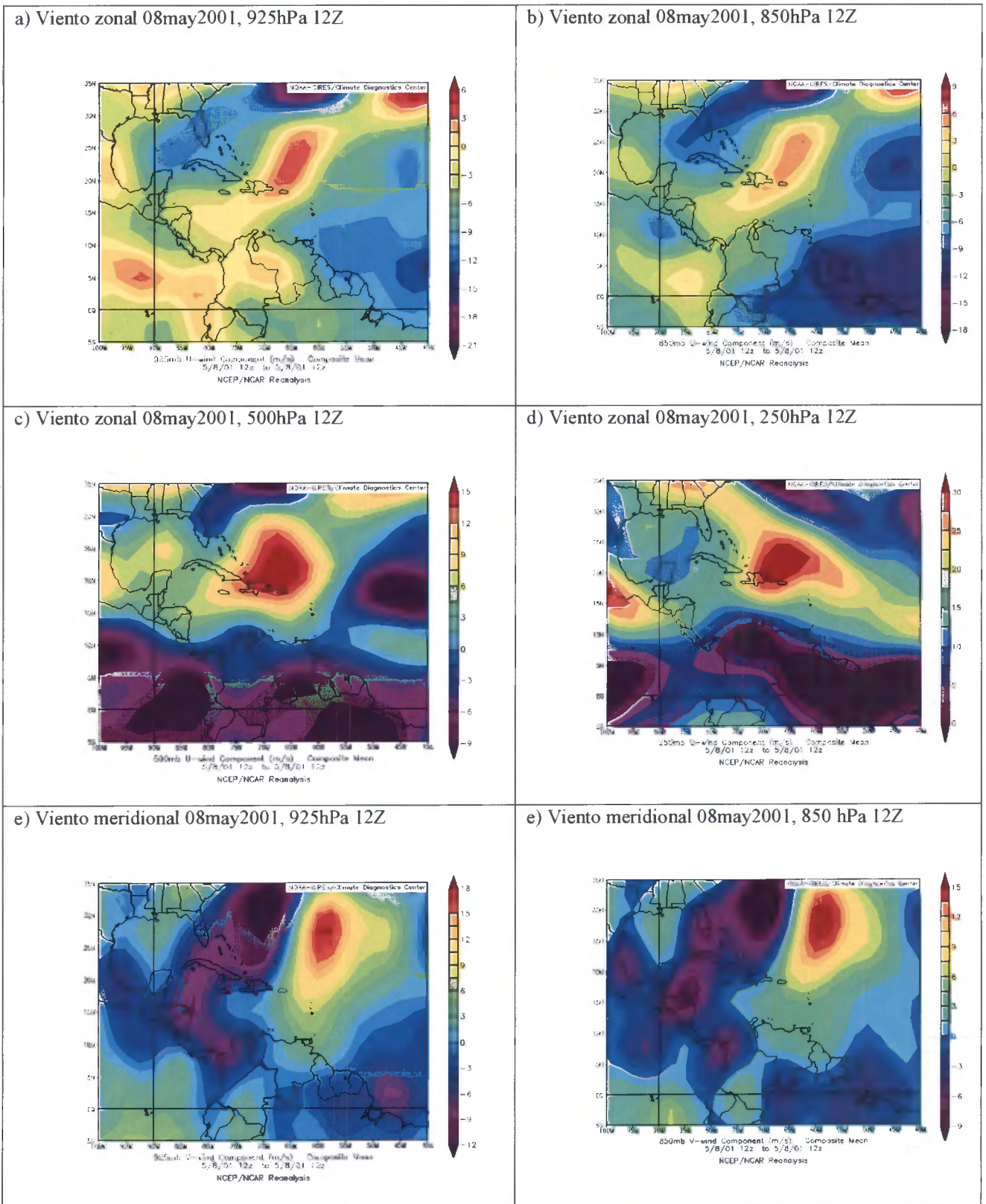
La dirección del viento varía de acuerdo a la altura o al nivel donde se encuentran en la troposfera. El hecho es que desde los niveles medios en este caso 500 hPa hasta niveles superiores, predomina el viento zonal o vientos oestes. De igual manera, esta tendencia

cambia completamente cuando disminuye la altura o el nivel en la troposfera, caracterizándose principalmente por la influencia de los estes, con la importante acotación que para el mes de mayo la incidencia del flujo del este disminuye en intensidad y cambia un poco en la dirección en su desplazamiento, a causa del fortalecimiento del viento meridional. No obstante, el viento sigue siendo proveniente del este, característico del flujo alisio. En cuanto a la cortante de viento tal cual como se ve en el radiosondeo resulta ser muy baja o simplemente inexistente, lo que contribuyó a la formación de nubes en niveles altos, dando lugar inicialmente a la condensación del agua y que se manifiesta posteriormente como precipitación.

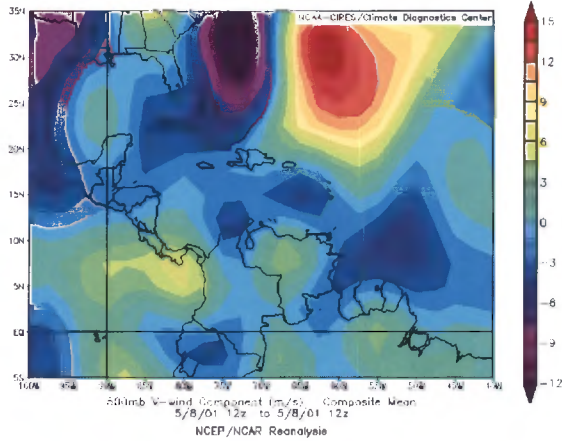
Estas observaciones son comparables con los datos e imágenes obtenidos del reanálisis, entre los que se muestra el viento zonal, meridional y las anomalías, presentadas en las figuras 85 y 86.

Las anomalías del viento para este día variaron un poco en cada nivel. Para los 925 y 850 hPa en el viento zonal presentó una disminución en la intensidad de velocidad de los estes de 2 m/s, en cambio en el viento meridional se dio un aumento del flujo proveniente del norte de 2 m/s. Ahora para los 500 hPa la componente del viento zonal aumentó en 3 m/s su velocidad, mientras que la componente meridional también experimentó un aumento de 3 m/s. Por último, la variación en los 250 hPa fue sólo del viento meridional que aumentó 6 m/s, ya que la componente del viento zonal no sufrió variación alguna.

Figura 85. Imágenes de viento zonal y meridional del día 08 de mayo de 2001.



f) Viento meridional 08may2001, 500 hPa 12Z



g) Viento meridional 08may2001, 250 hPa 12Z

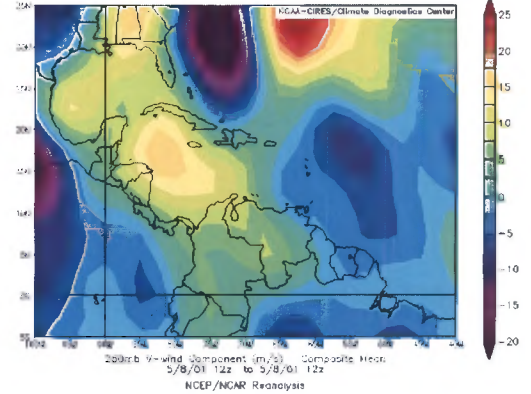
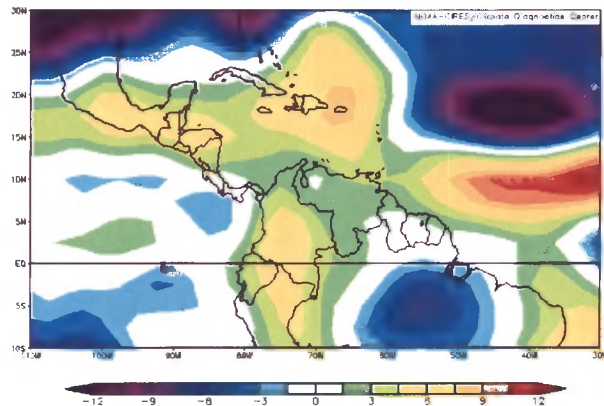
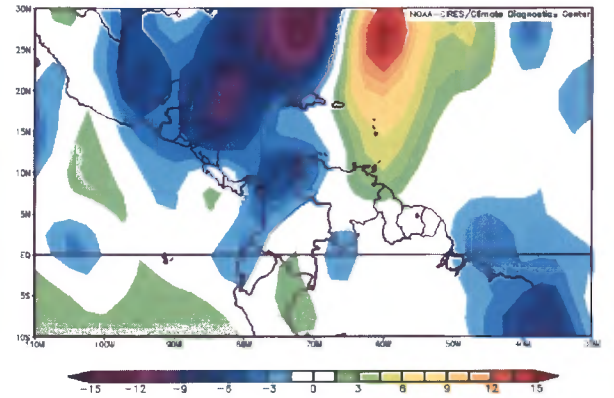


Figura 86. Imágenes de las anomalías del viento zonal y meridional del día 08 de mayo de 2001.

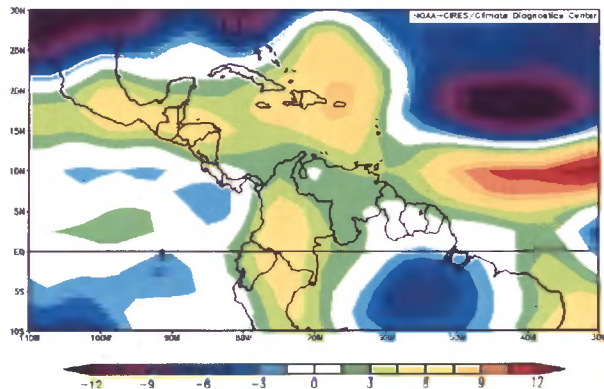
a) Anomalía Viento zonal 08may2001, 925 hPa



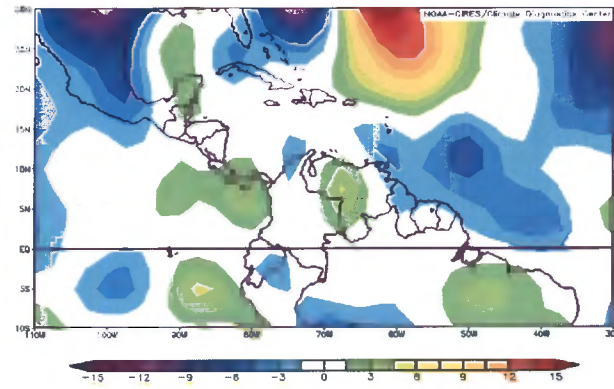
b) Anomalía Viento meridional 08may2001, 925 hPa

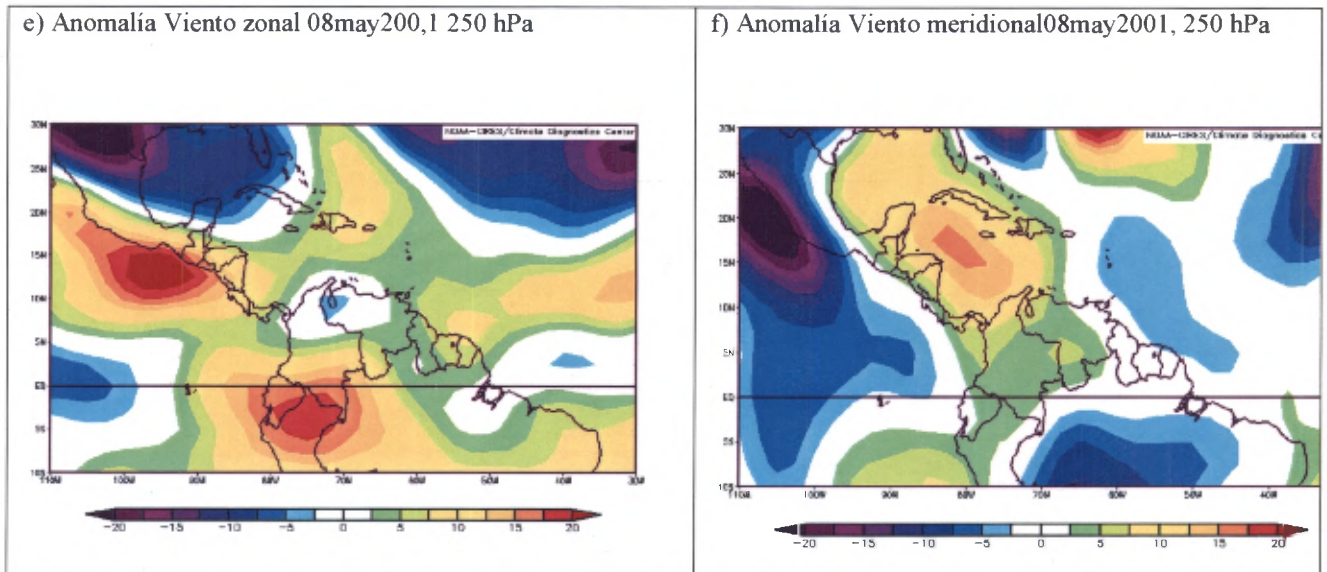


c) Anomalía Viento zonal 08may2001, 500 hPa



d) Anomalía Viento meridional 08may2001, 500 hPa





Los datos e imágenes de la componente de viento zonal en los niveles de superficie, 925, 850 y aún 600 hPa permiten identificar que durante esta época predominan los vientos alisios, los cuales ejercen cierta influencia en la convección y origen en la formación de los eventos de precipitación.

Las nubes cumulonimbus se desplazan lentamente y debido a la renovación permanente de su energía por la atmósfera adyacente, pueden persistir por más de 24 horas y originar a su paso lluvias de extraordinaria magnitud en algunos lugares.

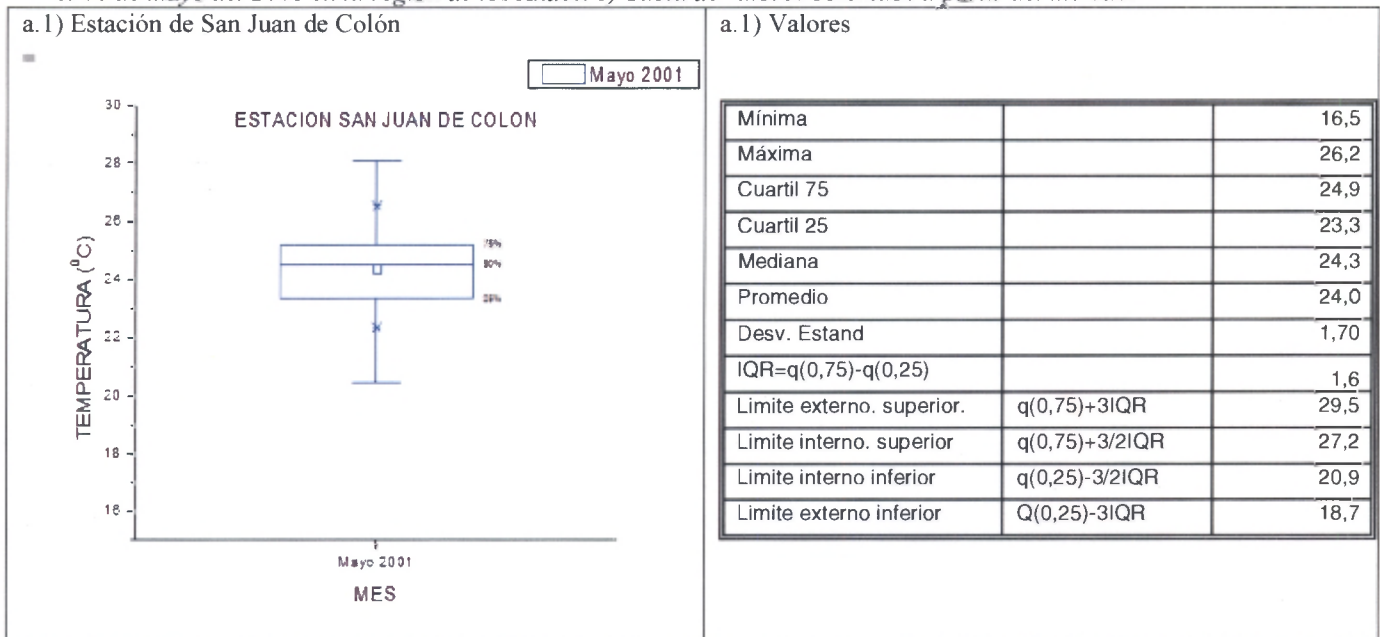
La insolación en horas de la mañana y mediodía produce la convección, formándose algunas nubes cúmulos que alcanzan su desarrollo vertical, la gran inestabilidad presente en la atmósfera permite el origen de estas nubes, que dan lugar a fuertes chaparrones locales.

La temperatura de ambas regiones de estudio presentó una significativa variación en los días 07, 08 y 09 mayo respectivamente. Dicha variación implicaba una disminución de la temperatura en la mayoría de estaciones que fueron afectadas por las precipitaciones, específicamente doce de las dieciocho estaciones experimentaron cambios en sus registros de temperatura, unos más notables que otros, fue el caso de estaciones como Coro cuya media para el mes de enero del 2001 fue de 29 °C y la temperatura registrada el 08 de mayo fue de 25 °C, esto implica una disminución de 4 °C, en tanto que las estaciones de Acarigua, Guanare y San Juan de los Morros los cambios de temperatura fueron de aproximadamente 3 °C con respecto a la media del mes.

Entre otras estaciones que también presentaron disminuciones de temperatura se encontraron Barquisimeto, Mene Grande, Valera, Mérida, Barinas, San Antonio del Táchira, San Juan de Colón Valencia y Guanare; en la mayoría de estas el cambio fue alrededor de unos 2 °C.

En las figuras 87 y 88 se da una representación de los puntos atípicos o valores dentro de la serie que se encuentran fuera del rango de la misma, que podrían representar eventos extremos para zona donde se encuentre ubicada la estación meteorológica. Este procedimiento se realiza como complemento del análisis de la influencia de los eventos extremos en la temperatura. El estudio es hecho sólo en base a las estaciones que registran eventos extremos de precipitación, determinados anteriormente en la prueba estadística de Mann-Kendall.

Figura 87. Representación de un diagrama esquemático para estaciones que presentaron eventos extremos para el 08 de mayo del 2001 en la región de los Andes. b) Tabla de valores obtenidos a partir del método.



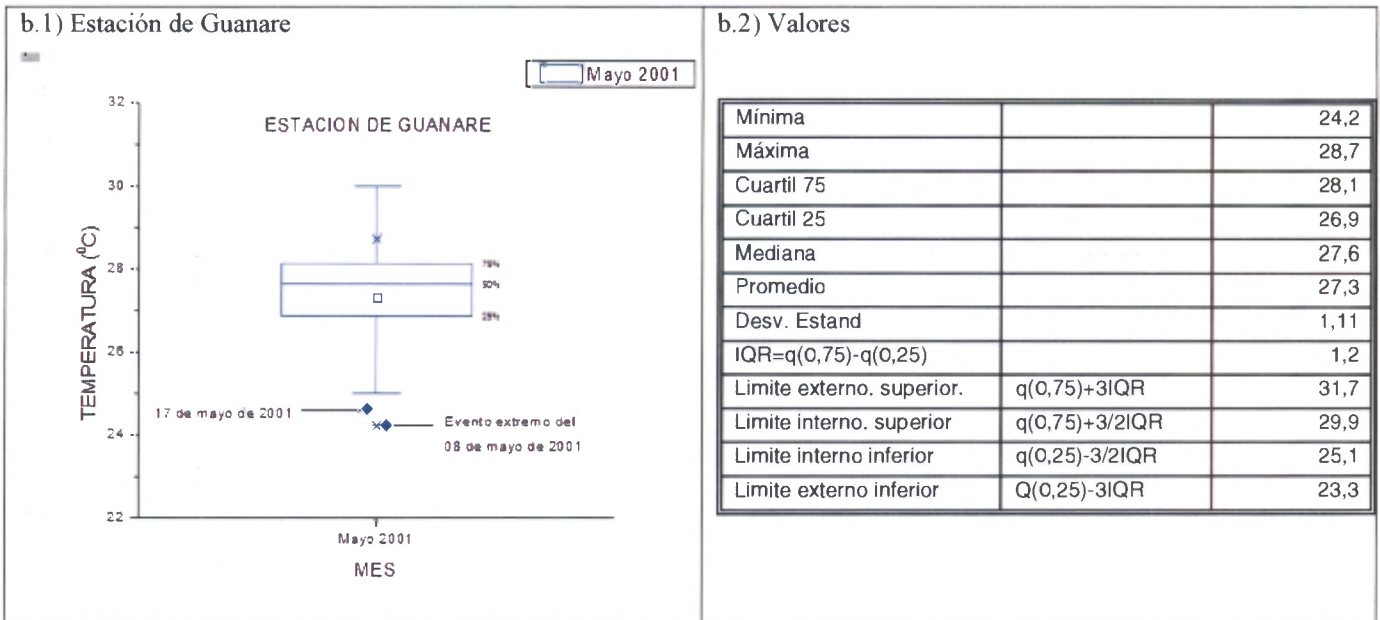
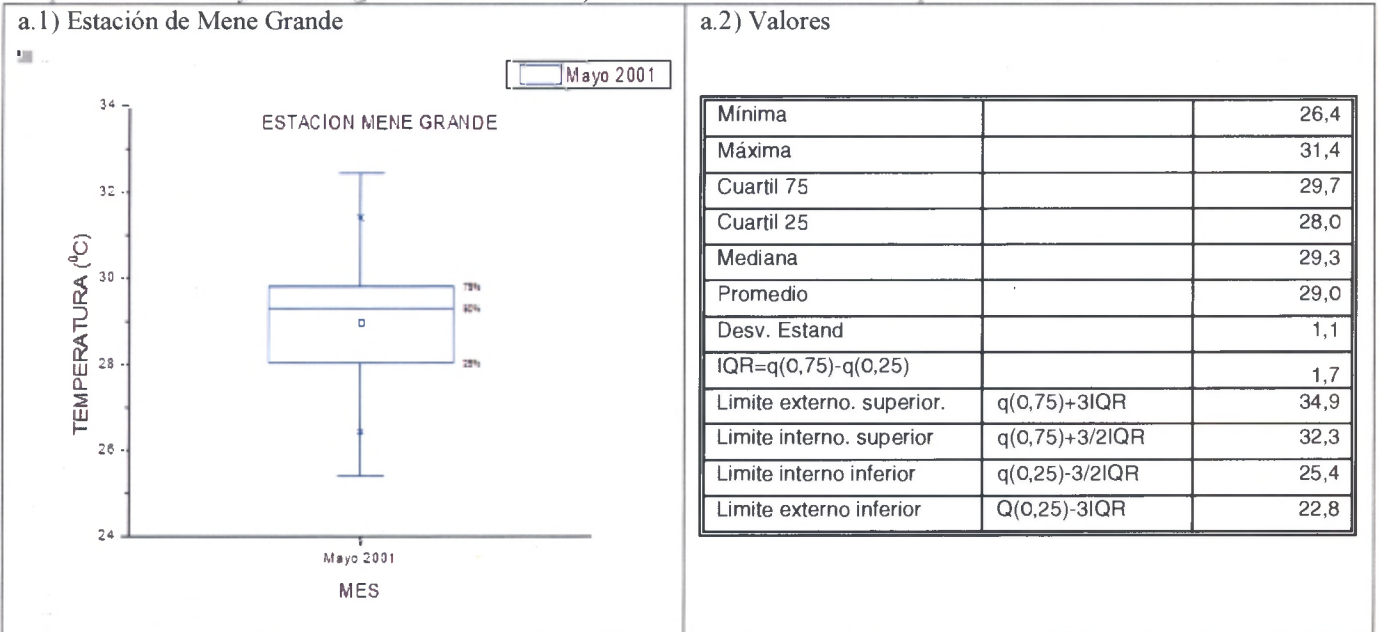
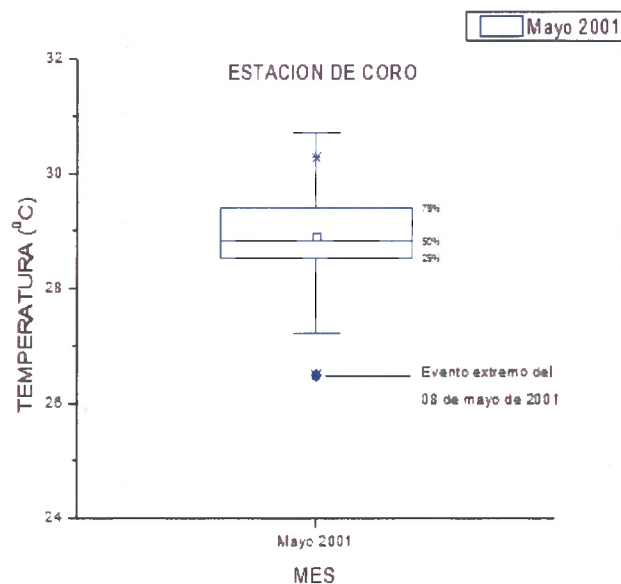


Figura 88. a) Representación de un diagrama esquemático para estaciones que presentaron eventos extremos para el 08 de mayo en la región Noroccidental. b) Tabla de valores obtenidos a partir del método.



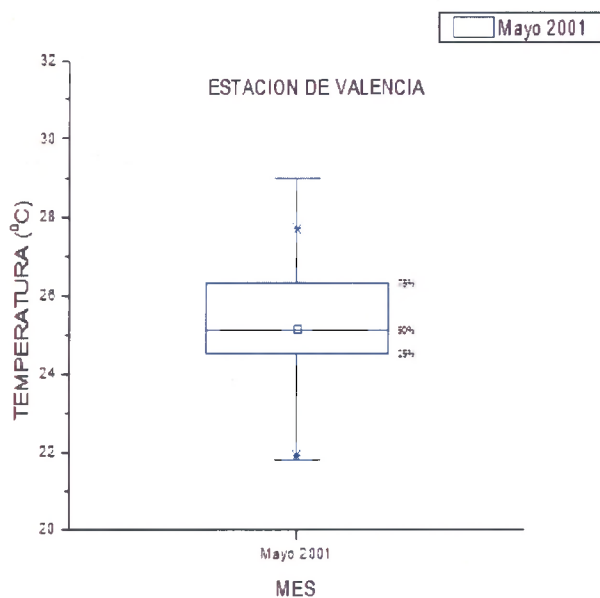
b.1) Estación de Coro



b.2) Valores

Mínima		26,5
Máxima		30,3
Cuartil 75		29,4
Cuartil 25		28,5
Mediana		28,8
Promedio		28,9
Desv. Estand		0,76
IQR=q(0,75)-q(0,25)		0,84
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	31,9
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	30,6
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	27,3
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	26,0

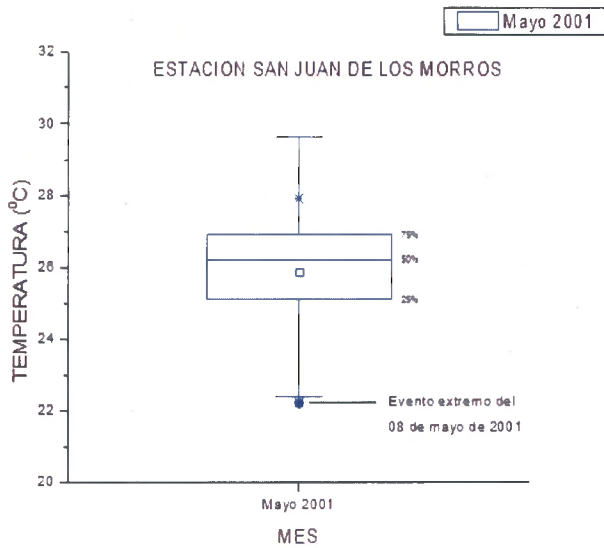
c.1) Estación de Valencia



c.2) Valores

Mínima		21,9
Máxima		27,7
Cuartil 75		26,2
Cuartil 25		24,6
Mediana		25,1
Promedio		25,1
Desv. Estand		1,48
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,6
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	31,0
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	28,6
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	22,2
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	19,8

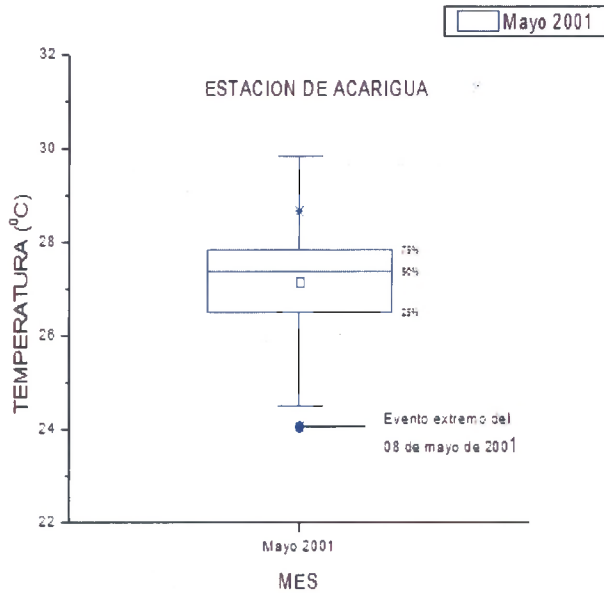
d.1) Estación de San Juan de Los Morros



d.2) Valores

Mínima		22,2
Máxima		27,9
Cuartil 75		26,8
Cuartil 25		25,1
Mediana		26,2
Promedio		25,9
Desv. Estand		1,30
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,7
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	31,9
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	29,4
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	22,5
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	20,0

e.1) Estación de Acarigua



e.2) Valores

Mínima		24,0
Máxima		28,7
Cuartil 75		27,7
Cuartil 25		26,5
Mediana		23,3
Promedio		27,1
Desv. Estand		0,99
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,2
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	31,4
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	29,6
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	24,7
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	22,8

Se obtuvieron del reanálisis los valores del parámetro omega (ver figura 89), caracterizados por presentar valores negativos desde el día 6 de mayo aunque no tan intensos, pero que se fueron incrementando para el día 7 de mayo, y se hacen mayores el día 8 de mayo. Si bien es de considerar que los valores negativos indican que existen corrientes ascendentes y favorecen la convección profunda. El signo de la variable cambió al llegar a los 100 hPa, al ser positivo indica que las corrientes ya son descendentes, lo que resulta lógico al encontrarse en un nivel tan alto de la troposfera superior.

En el caso de la humedad relativa integrada en la vertical entre 1000 y 300 hPa (ver figura 90), se observó que los valores tanto en 850 y 1000 hPa eran superiores al 85%, para el 7 y 8 de mayo respectivamente, lo que indica que había una atmósfera muy húmeda. Sin embargo, tanto en 500 como en los 300 hPa estos valores están por debajo de 40%, lo que refleja que la subsidencia del aire generado por los sistemas allí formados, se caracteriza por ser muy seco, pero bastante frío que al interactuar con el flujo en niveles bajos, cuyo contenido de humedad es superior y con mayor temperatura crea condiciones que posibilitan la condensación, reflejado en la formación nubosa y la liberación de calor latente.

En cuanto al potencial de la velocidad del viento (ver figura 91) analizado en los niveles de sigma antes mencionados, se obtienen grandes valores positivos de velocidad potencial en superficie e intensidades menores, pero de igual manera positivos en bajo nivel lo que indica una fuerte convergencia de vientos en superficie, dirigidas al centro del punto de convergencia ubicado al suroeste de Colombia. En los niveles altos de sigma 0.21 y 0.17, se encontraron valores negativos indicando que la región es centro de una fuerte divergencia en alto nivel. Para los niveles intermedios 0.85 y 0.26, se tiene que en el nivel de 0.85 el valor aún se mantiene positivo, pero va disminuyendo paulatinamente a medida que se asciende de nivel, y al pasar por 0.26 su valor ya es negativo, por lo que el viento pasará a ser divergente.

El patrón resultante observado en las líneas de corriente refleja la presencia de circulaciones ciclónicas en los 850 y 925 hPa, además de la formación de una vaguada, cuya parte convergente afecta directamente las regiones de estudio, llegan a conformar un

gran sistema ciclónico o baja presión en los niveles bajos envolviendo el área de estudio en una zona de gran convergencia. Las circulaciones anticiclónicas en los 250 hPa, fortalecidos con la dorsal en los 500 y a su vez los vientos emergentes del sistema anticiclónico generan una gran divergencia sobre la región de estudio. Por tal motivo, existe un acople de estos sistemas que hacen posible la evolución y prolongación del evento por varias horas.

Figura 89. Imágenes del parámetro omega (ω) del día 08 de mayo de 2001, medido en (Pa/s).

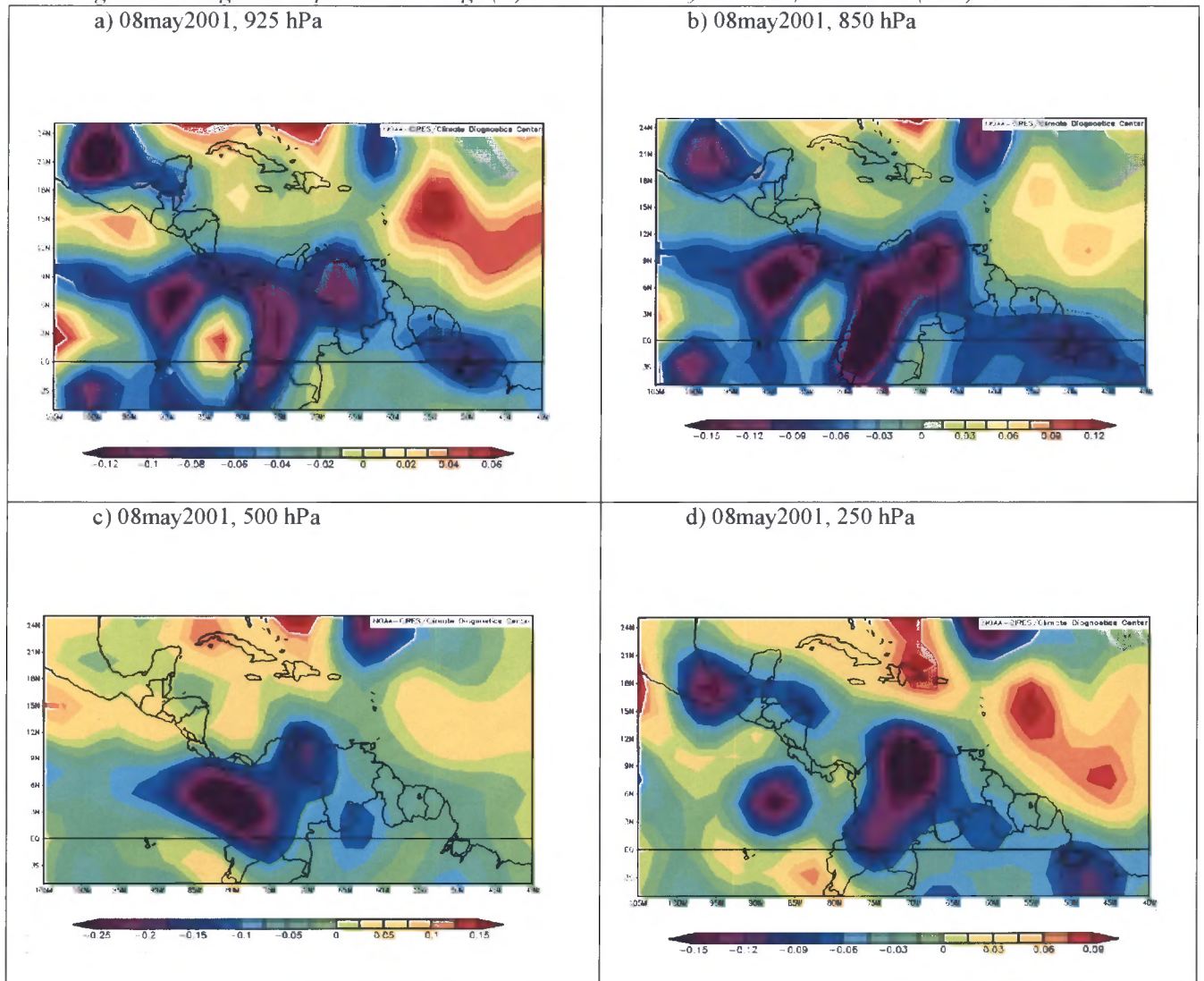


Figura 90. Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 08 de mayo de 2001, medido en porcentaje (%).

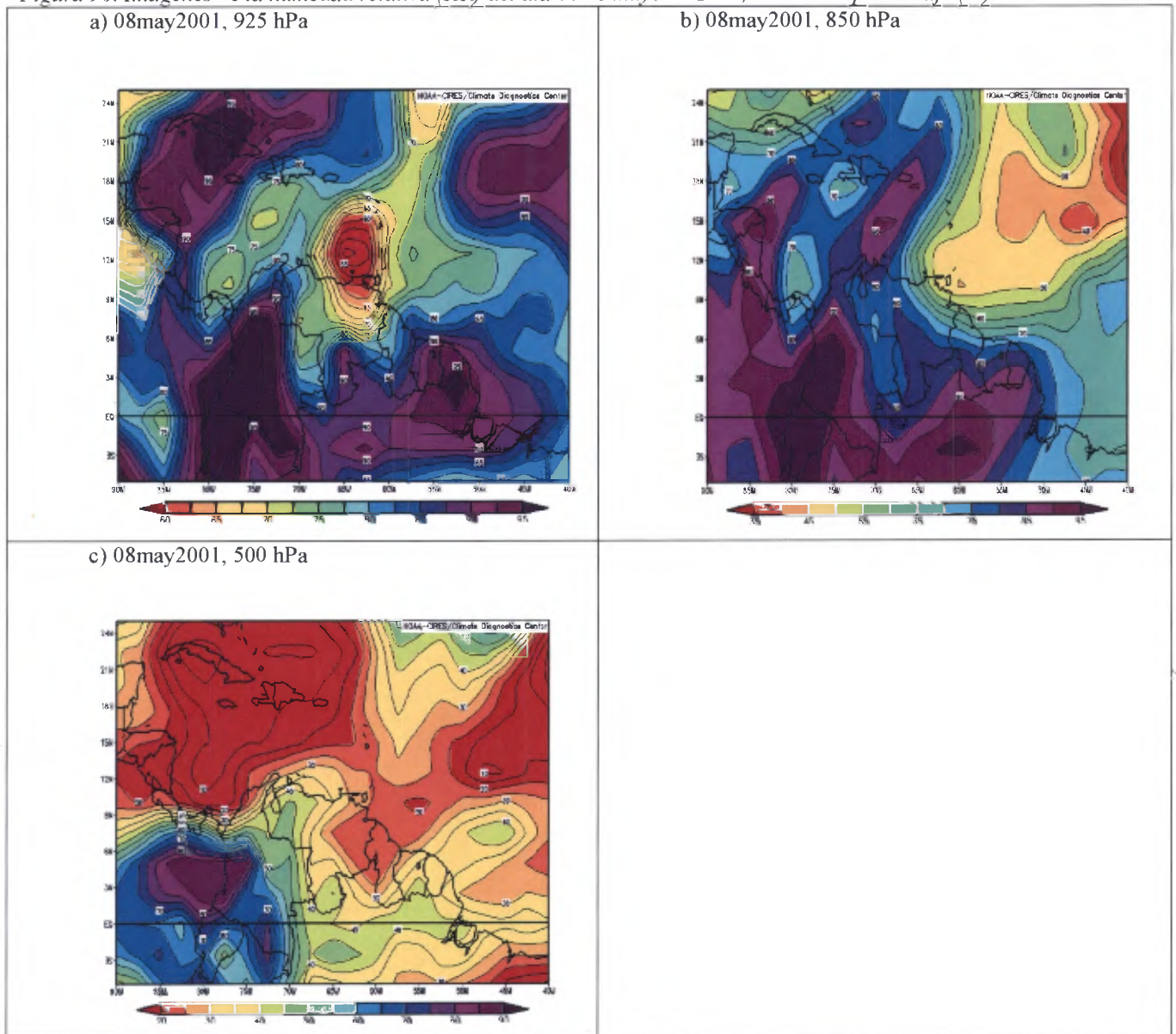
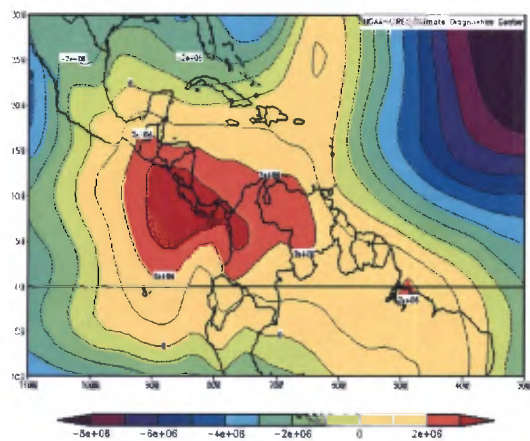
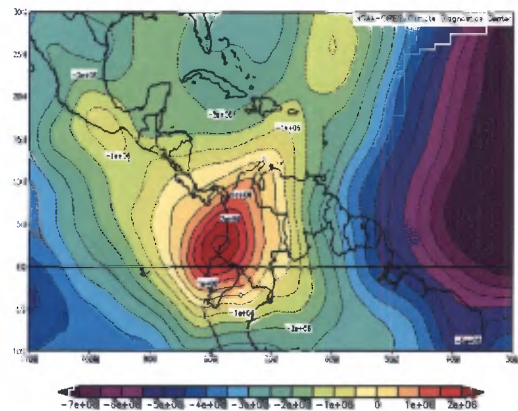


Figura 91. Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 08 de mayo de 2001, medido (m^2m/s).

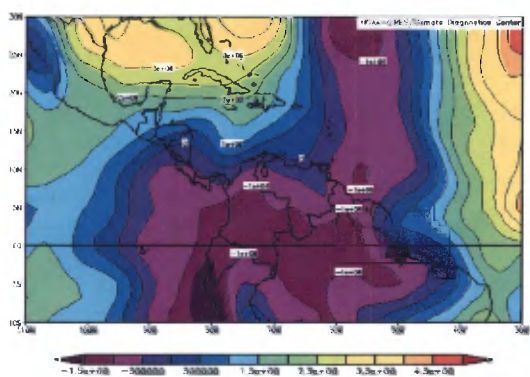
a) 08may2001, $\sigma = 1$



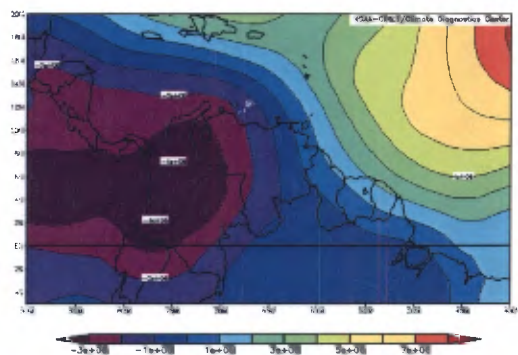
b) 08may2001, $\sigma = 0,85$



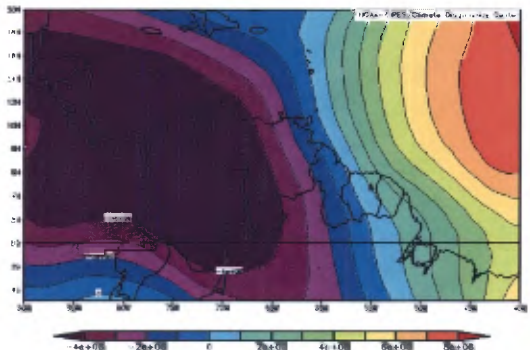
c) 08may2001, $\sigma = 0,26$



d) 08may2001, $\sigma = 0,21$



e) 08may2001, $\sigma = 0,17$



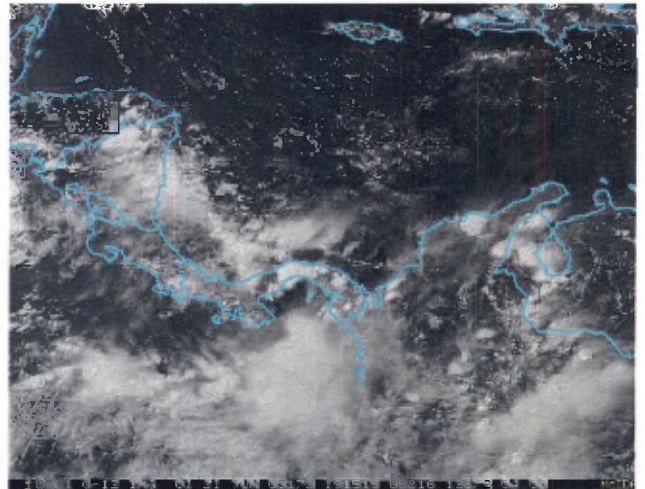
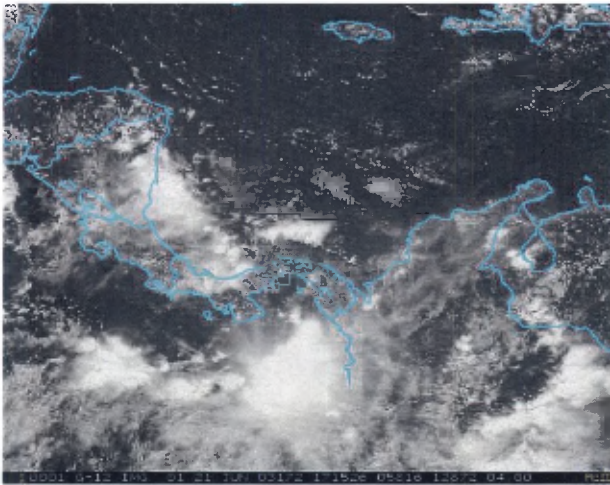
4.3.4 Evento del 22 de Junio del 2003

Este evento tiene su origen en horas de la madrugada (02:15 hrs.), con la formación de un sistema nuboso sobre San Fernando de Apure (Llanos Centrales), luego comienza a desplazarse con dirección oeste aproximadamente a las 04:15 hrs., posteriormente a esa hora, es decir durante de la mañana las imágenes en el canal visible muestran una atmósfera limpia y sin nubosidad, específicamente sobre la región de estudio. Es a partir de las 14:00 hrs. que comienzan nuevamente a formarse pequeños cúmulos justamente sobre el área del Lago de Maracaibo, los cuales se irían incrementando con el transcurrir de las horas del día. Se presenta convección sobre la región Noroccidental desde las 16:00 hrs. hasta las 23:00 hrs., donde finalmente se disipa siendo la Sierra de Perijá la última zona afectada por la precipitación. Es importante resaltar la intensa convergencia que se presenta al noroeste de Colombia, la cual cubre un área muy grande con bajas presiones en superficie.

Figura 92. Imágenes satelitales de l canal visible e infrarrojo del 21 y 22 de junio de 2003.

a) 21jun2003, 13:15 hrs.

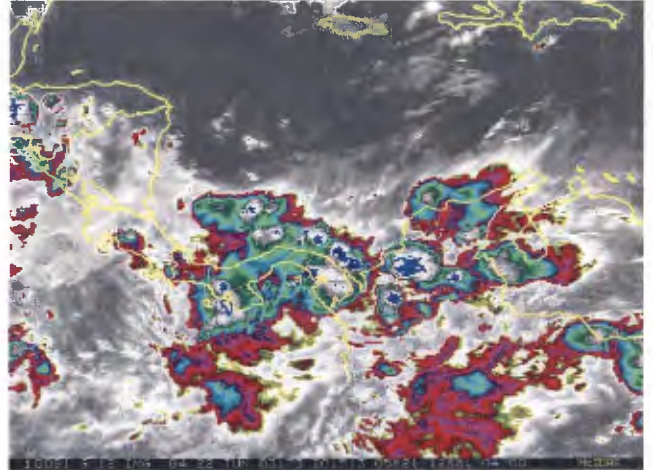
b) 21jun2003, 15:15 hrs.



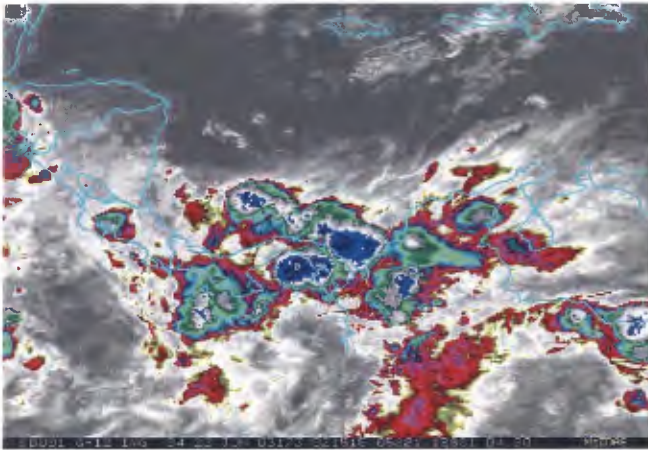
c) 21jun2003, 17:15 hrs.



d) 21jun2003, 20:15 hrs.



e) 21jun2003, 22:15 hrs.



f) 22jun2003, 00:15 hrs.

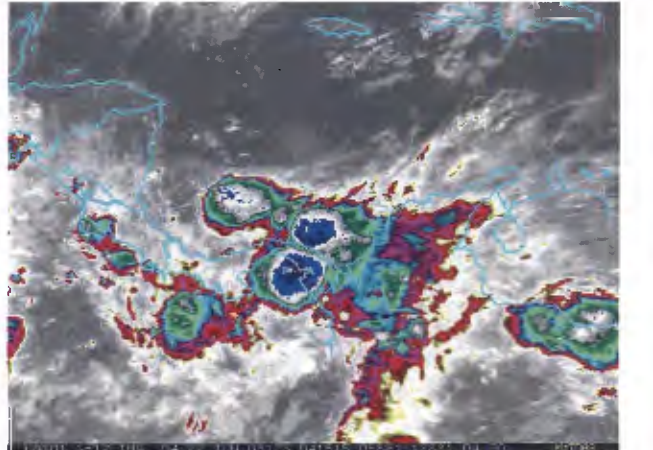
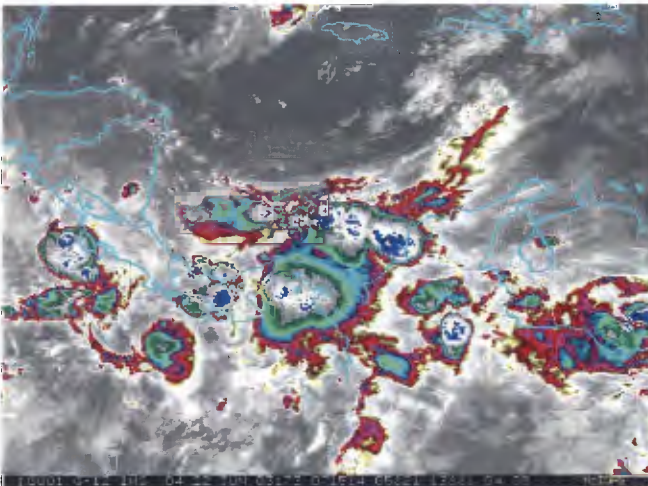
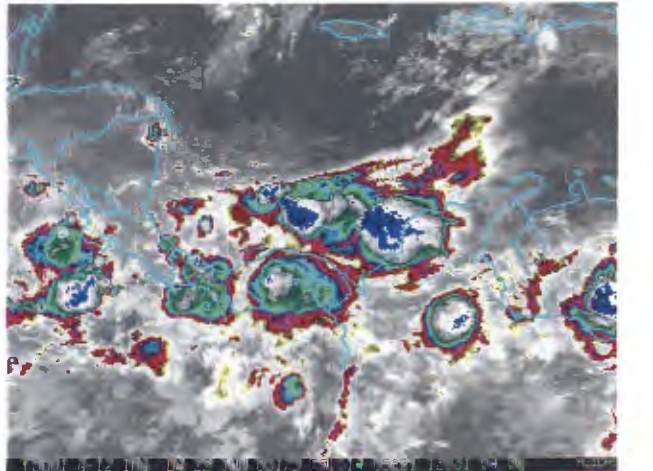


Figura 93. Imágenes satelitales del canal infrarrojo y visible del 22 y 23 de junio de 2003.

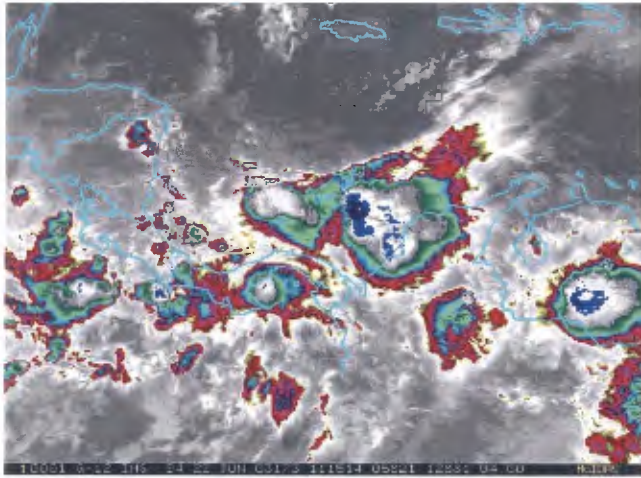
a) 22jun2003, 03:15 hrs.



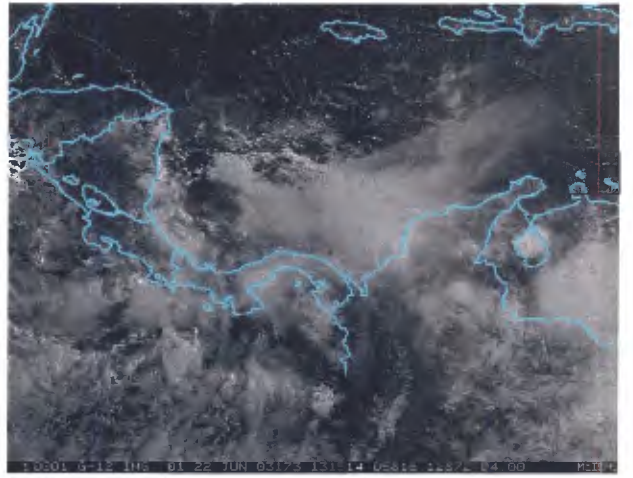
b) 22jun2003, 05:15 hrs.



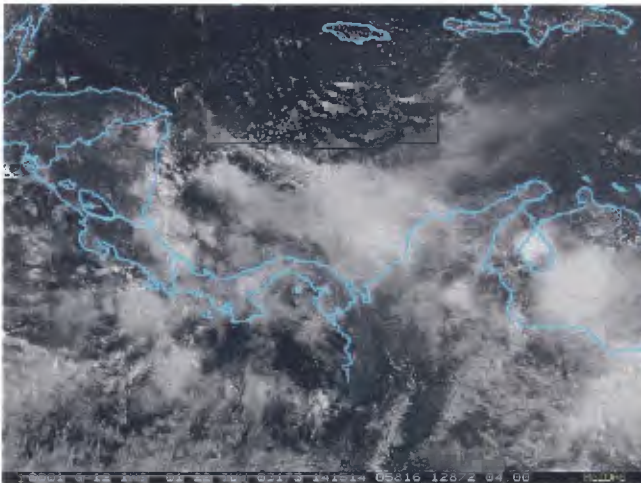
c) 22jun2003, 07:15 hrs.



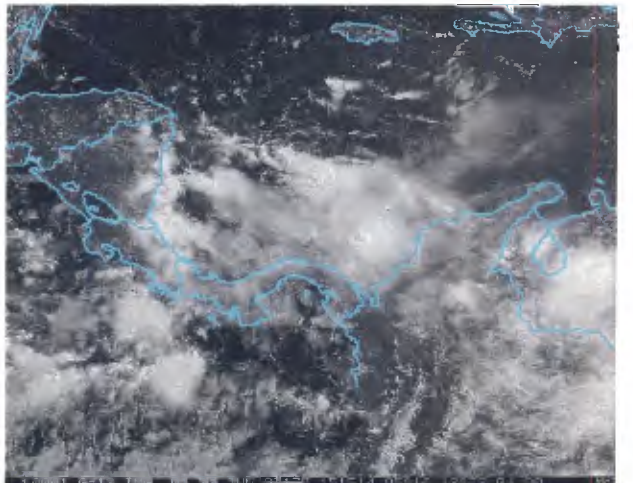
d) 22jun2003, 09:15 hrs.



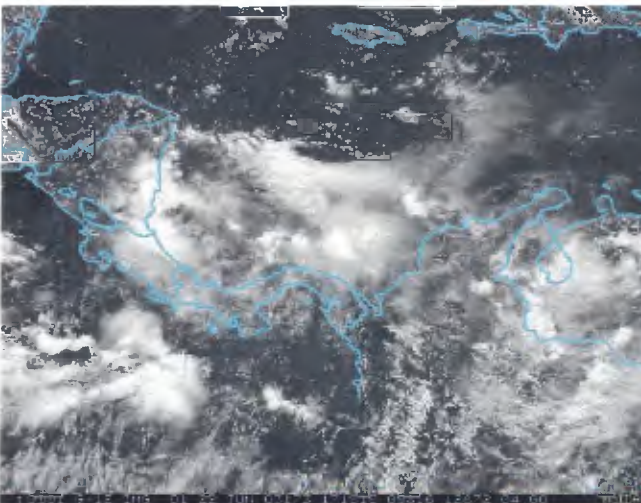
e) 22jun2003, 10:15 hrs.



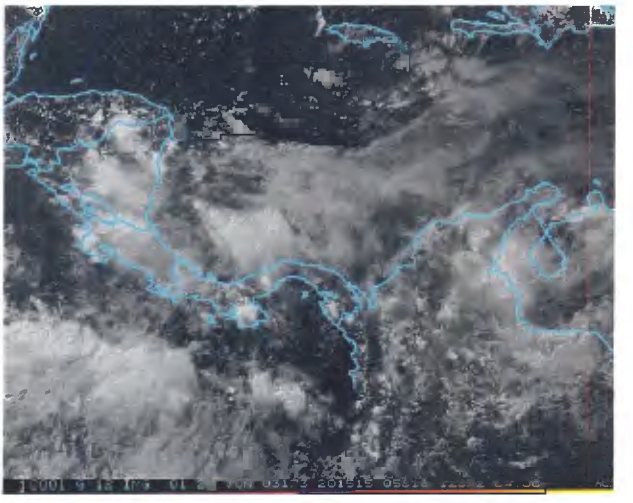
f) 22jun2003, 11:15 hrs.



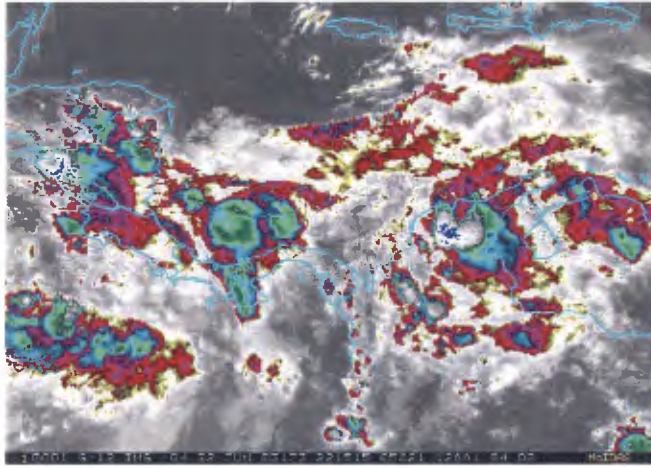
g) 22jun2003, 13:15 hrs.



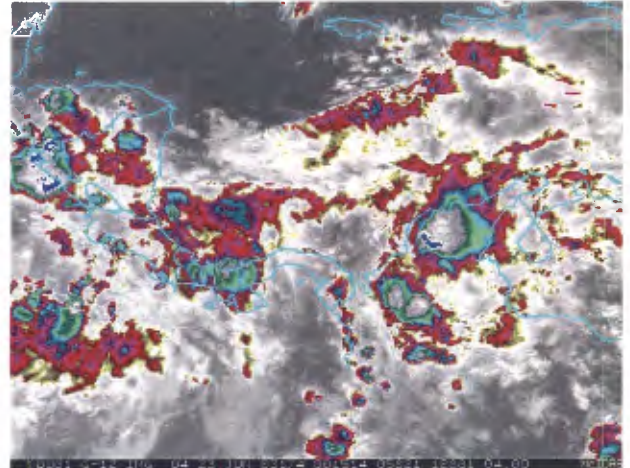
h) 22jun2003, 16:15 hrs.



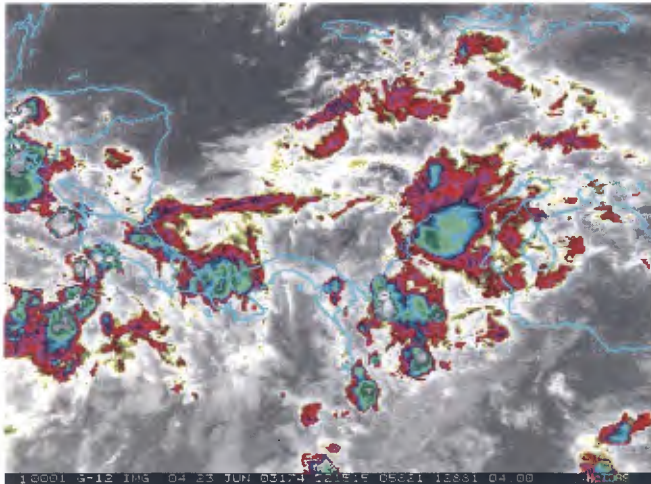
i) 22jun2003, 18:15 hrs.



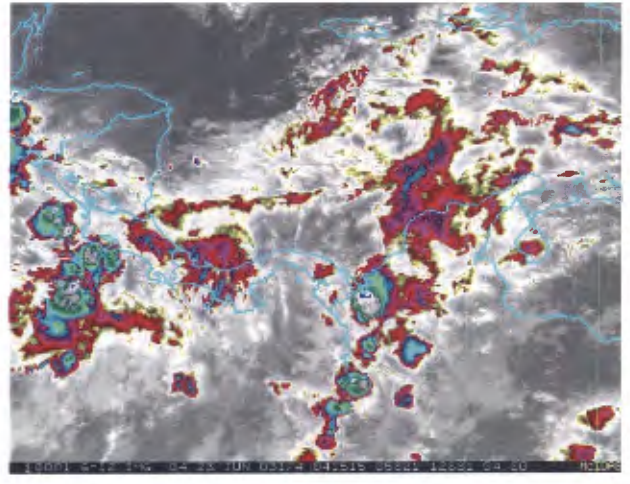
j) 22jun2003, 20:15 hrs.



k) 22jun2003, 22:15 hrs.



l) 23jun2003, 00:15 hrs.



Resumen de las figuras de líneas de corriente (figura 94-figura 95)

20 de junio de 2003

En 250 hPa

- Presencia de un anticiclón sobre todo el territorio (12z y 18z).
- La permanencia de este sistema sobre el país, se debe posiblemente a la influencia de otros sistemas circundantes cuyas circulaciones evitan el desplazamiento del mismo a otras regiones.

- Un ejemplo de este caso es lo que se observa al norte de Venezuela (15° - 20° de latitud norte) con la presencia de dos sistemas anticiclónicos reforzados con una eje de dorsal, mientras a los 5° de latitud sur se presenta otra eje de dorsal, que genera movimiento del flujo incidiendo en el centro del país, exactamente sobre el anticiclón.

En 500 hPa

- Se mantiene el anticiclón de latitudes medias generando fuerte divergencia del viento para todo el norte del país. (0z, 6z y 12z).

En 850 hPa

- Viento zonal cuya intensidad tiende a ser mayor sobre la Costa Norte y región de estudio (6z, 12z, y 18z).

En 925 hPa

- Se presenta una condición semejante a lo observado en 850 hPa, además de existir una baja presión al centro de Colombia, cuyo viento que alimenta el área de baja presión se desplaza por el norte del territorio.

21 de junio de 2003 (figura 94)

En 250 hPa

- Se observa un anticiclón al oeste del país (12z y 18z).
- El sistema y la divergencia se ve reforzada con una pequeña vaguada noroeste de Venezuela (18z).

En 500 hPa

- Presencia de fuerte intensidad de viento divergente al norte de Venezuela que se intensifica sobre la región Noroccidental y los Andes.(6z y 12z).

En 850 y 925 hPa

- Baja presión al oeste de Colombia, se presenta convergencia de viento, en donde parte del viento pasa paralelamente al norte del país y afectando completamente región de estudio. (6z y 12z).

22 de junio de 2003 (figura 95)

En 250 hPa

- Se observa un sistema anticiclónico exactamente sobre el territorio de Venezuela que genera una fuerte divergencia del viento (12z, y 18z).

En 500 hPa

- Se presenta mucha divergencia de viento en este nivel (0z, 6z, 12z, 18z), el cual concuerda con lo observado en potencial de la velocidad del reanálisis, indicativo del paso o de salida de flujo a niveles inferiores.

En 850 hPa

- Presencia de flujo del este (viento alisio) muy intenso dirigido paralelamente sobre la región de interés, pero cuya incidencia es casi perpendicular a los dos grandes sistemas montañosos de la región como lo son la Cordillera de los Andes y la Sierra de Perijá.

En 925 hPa

- Prevalece la presencia de flujo del este, muy intenso especialmente a este nivel bajo de 925 hPa, que se ve fortalecido por un sistema de alta presión justamente sobre el Mar Caribe.

23 de junio de 2003

En 250 hPa

- Continúa el sistema anticiclónico sobre el país, generando divergencia del viento (12z, y 18z).

En 500 hPa

- No se observa ningún sistema sobre el país, a pesar de existir una dorsal muy al norte de Venezuela, sólo se resalta el paso del fluido por este nivel a niveles bajos. (6z y 12z).

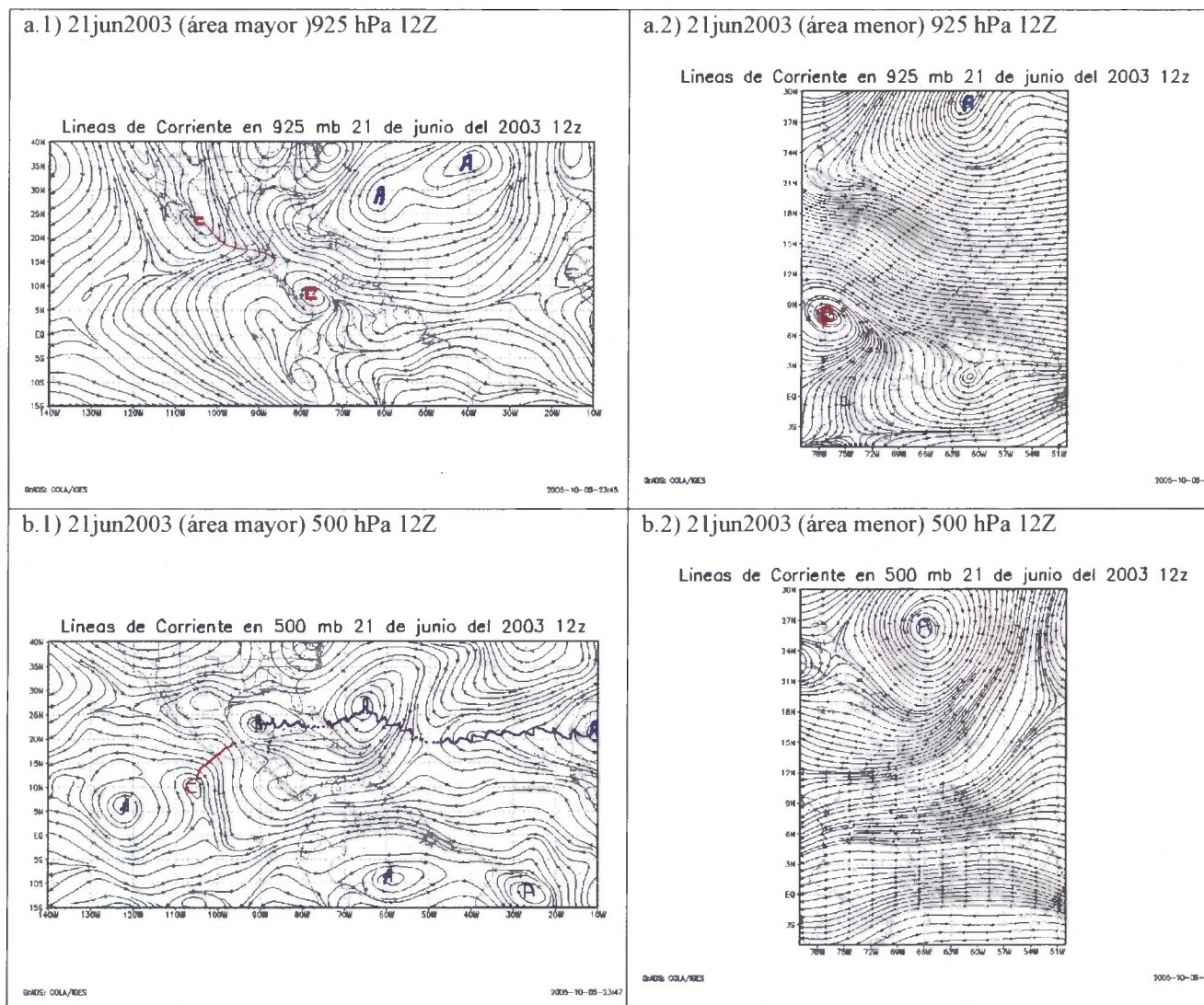
En 850 hPa

- El viento alisio continúa su paso sobre la región de estudio, aunque no existe ninguna baja presión cercana que pueda producir convergencia de masas.

En 925 hPa

- El flujo continúa siendo intenso sobre la Costa Norte y este de Venezuela, el viento pasa paralelo a las regiones de interés. (0z, 6z y 12z).

Figura 94. Representación de líneas de corriente de 21 Junio de 2003 para diferentes niveles atmosféricos.



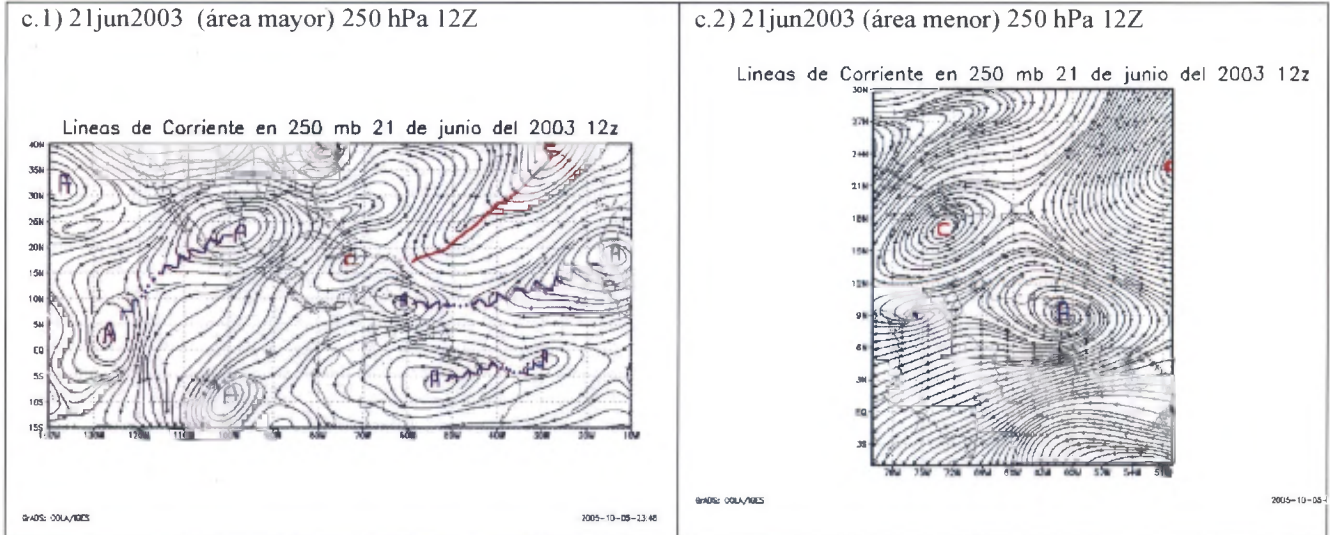
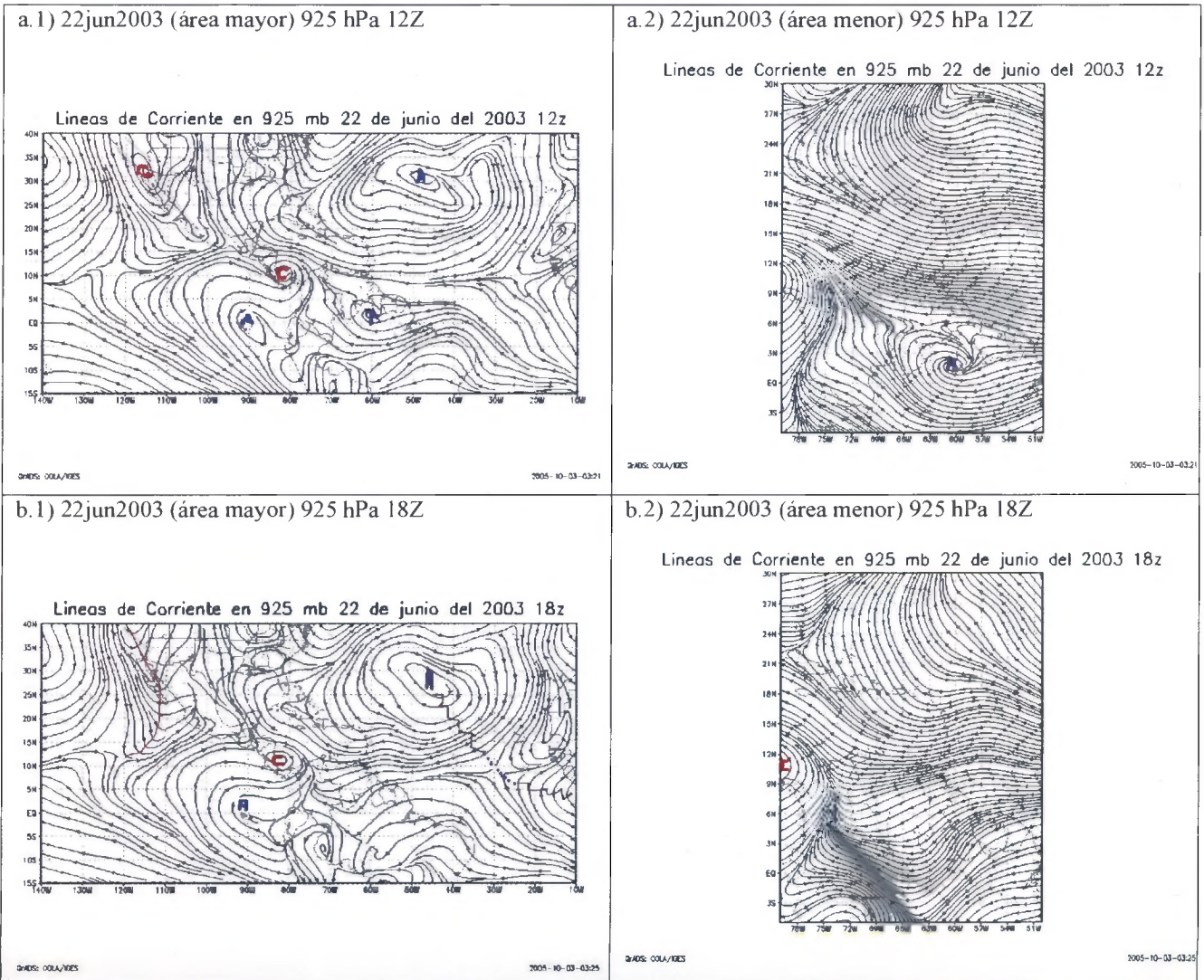
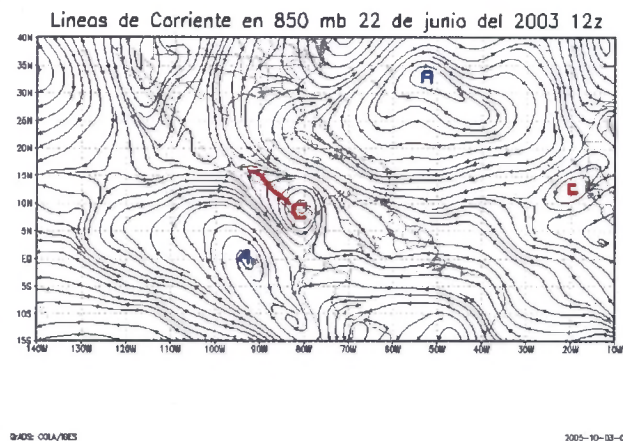


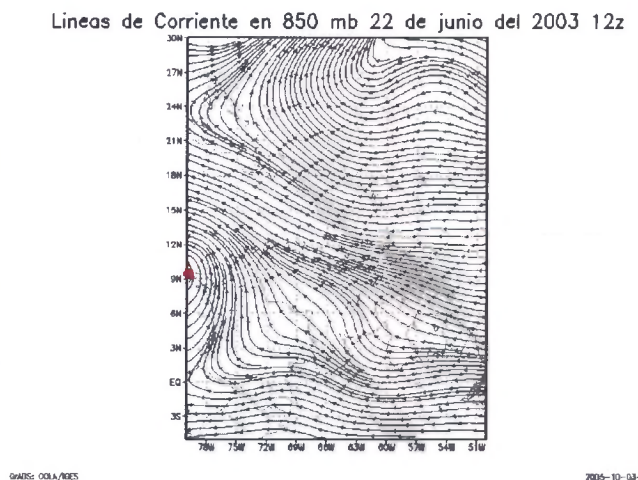
Figura 95. Representación de líneas de corriente del 22Junio de 2003 para diferentes niveles atmosféricos.



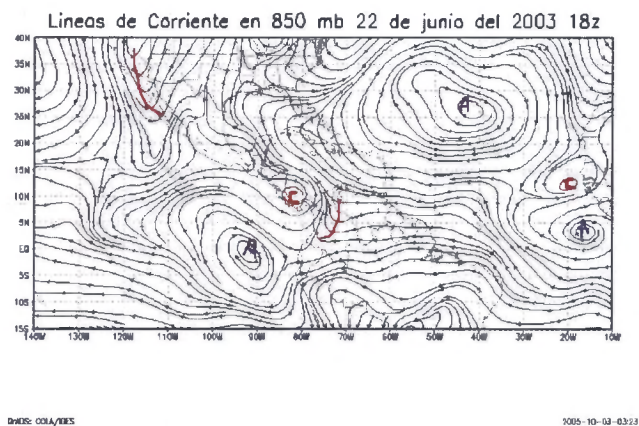
c.1) 22jun2003 (área mayor) 850 hPa 12Z



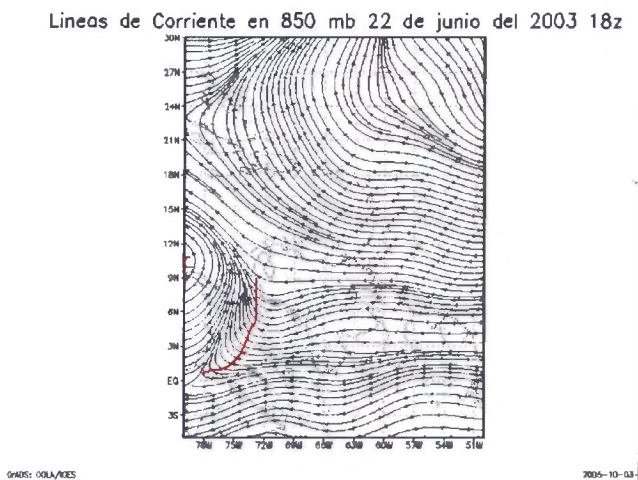
c.2) 22jun2003 (área menor) 850 hPa 12Z



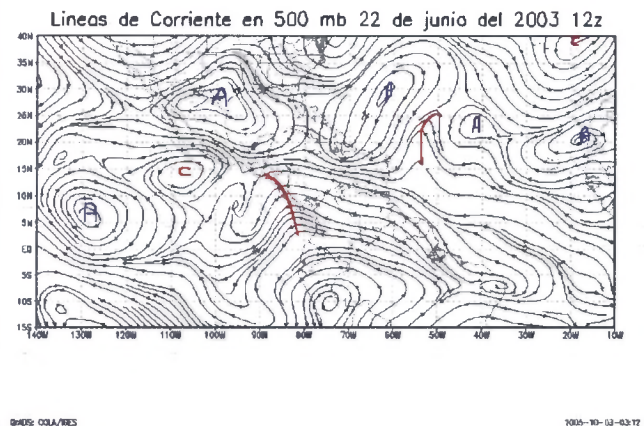
d.1) 22jun2003 (área mayor) 850 hPa 18Z



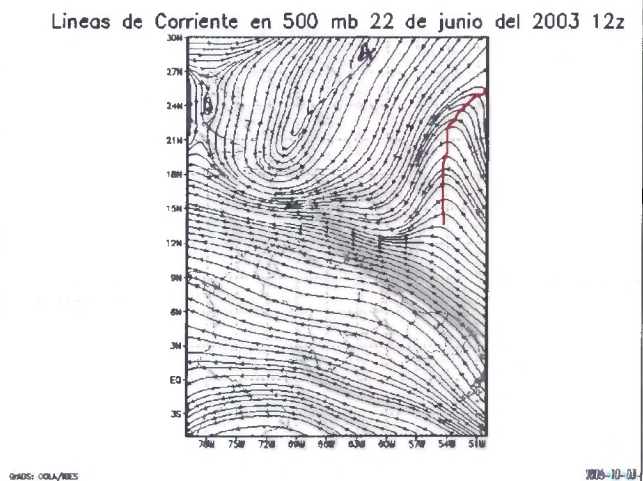
d.2) 22jun2003 (área menor) 850 hPa 18Z



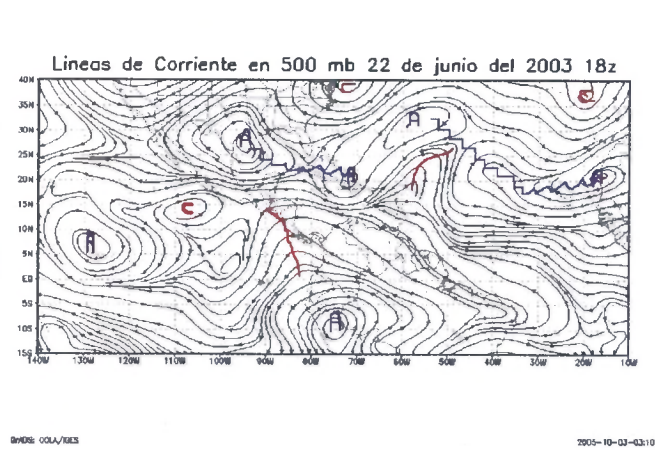
e.1) 22jun2003 (área mayor) 500 hPa 12Z



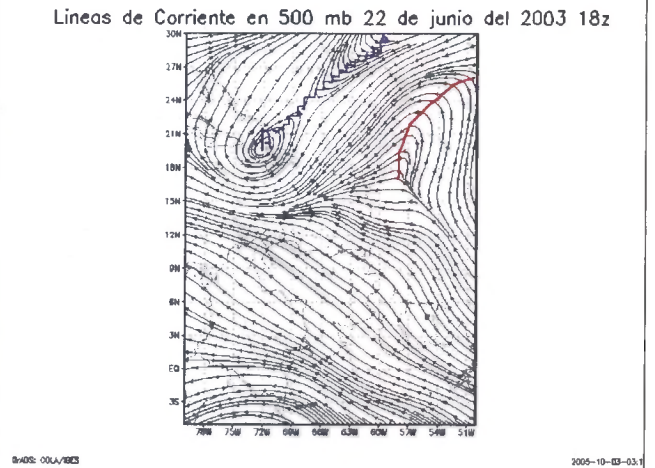
e.2) 22jun2003 (área menor) 500 hPa 12Z



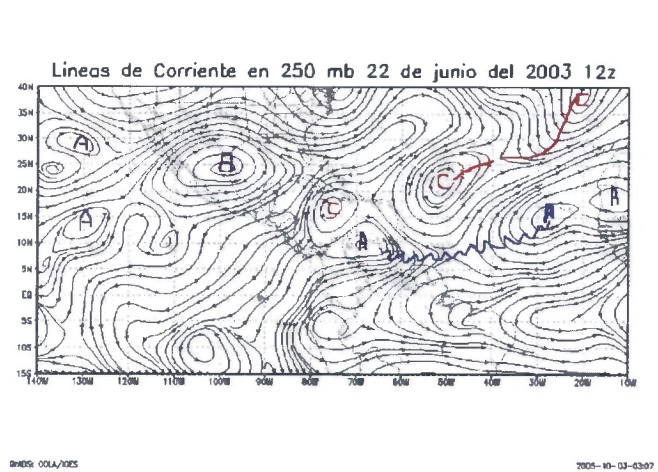
f.1) 22jun2003 (área mayor) 500 hPa 18Z



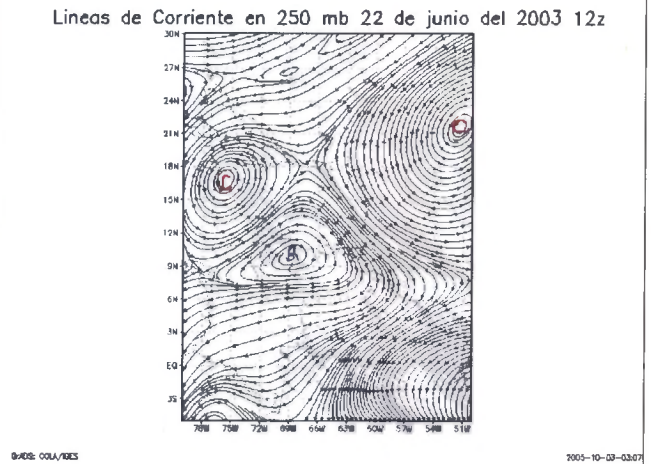
f.2) 22jun2003 (área menor) 500 hPa 18Z



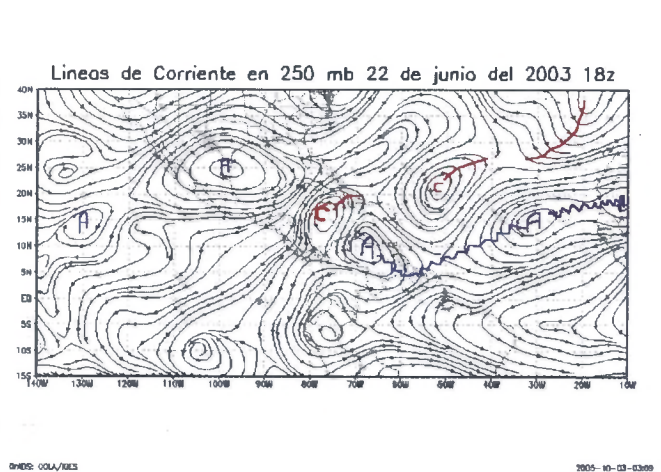
g.1) 22jun2003 (área mayor) 250 hPa 12Z



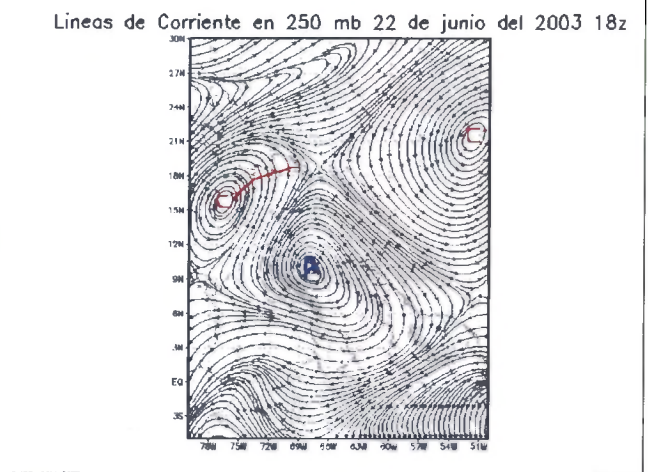
g.2) 22jun2003 (área menor) 250 hPa 12Z



h.1) 22jun2003 (área mayor) 250 hPa 18Z



h.2) 22jun2003 (área menor) 250 hPa 18Z



Al observar cada uno de los niveles es importante destacar la influencia que ejerce el sistema anticiclónico en altura, lo que permite la divergencia del flujo, creando fuerte subsidencia, el nivel medio sirve de transición entre los niveles superiores y bajos, facilita el paso del flujo ya durante el desplazamiento del mismo, lo que permite mantener la divergencia en los vientos, hasta llegar a los niveles bajos donde convergen en ciertas regiones permitiendo la evolución de bajas presiones y mucha convección, que se ven reflejadas en fuertes precipitaciones.

Si se comparan la formación y los desplazamientos de los sistemas sinópticos del 22 de junio de 2003, con el promedio de todos los meses de junio de la serie completa, a partir de las líneas de corriente, es preciso decir que difieren muy poco del comportamiento general del flujo del mes de junio. En el caso de la troposfera superior existe la presencia de un anticiclón que genera divergencia, subsidencia y flujo zonal. En cambio los niveles bajos y superficie, se caracterizan por la confluencia de viento a regiones cercanas a Centroamérica y oeste de Colombia, lo cual genera fuerte convergencia, que en gran parte es proveniente del este, y por ende pasa justo al norte del territorio venezolano, produciéndose interacciones con la cordillera, es de caracterizar que dicho flujo pasa por ambas regiones de interés, con una considerable intensidad en la velocidad del viento. El nivel medio representa una zona de vientos divergentes en dirección este-oeste, en el cual las masas de aire ascienden debido a la influencia del anticiclón sobre el Mar Caribe, reforzado por alguna dorsal.

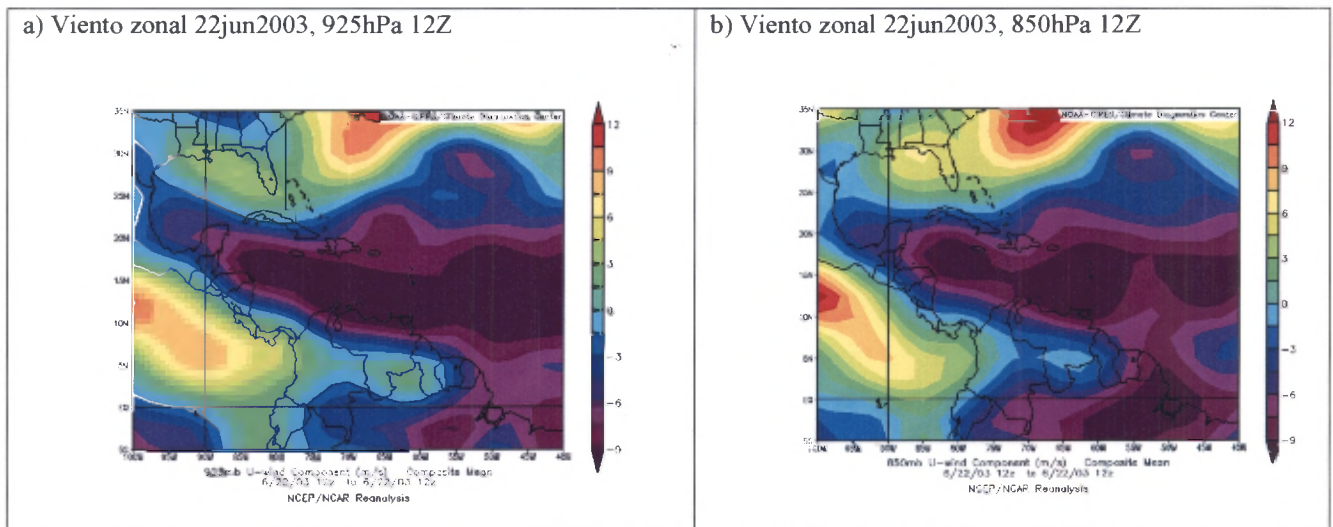
Las intensidades en las componentes del viento zonal y meridional aumentaron para el día del evento (figura 95). En el caso del viento zonal la intensidad del flujo alisio fue de 9 m/s para 925 y 850 hPa mostrando gran intensidad sobre todo en la parte norte y noroeste de Venezuela. En los 500 hPa aun se conserva el flujo antizonal, pero con intensidades menores (5 m/s) y esto se debe a que el viento cambia de dirección al nivel superior. En tanto que el viento meridional de igual forma experimenta cierto aumento en intensidad. Las mediciones de viento en superficie muestran valores e intensidades menores en la mayoría de los datos de viento que registran la estaciones, de hecho sólo la estación de Coro junto con Barquisimeto son las que experimentan las intensidades mayores (unos 7,5

Km/h lo que representan 2,08 m/s), en cambio en el resto de las estaciones el viento suele ser de 3 Km/h o sea unos 0,83 m/s.

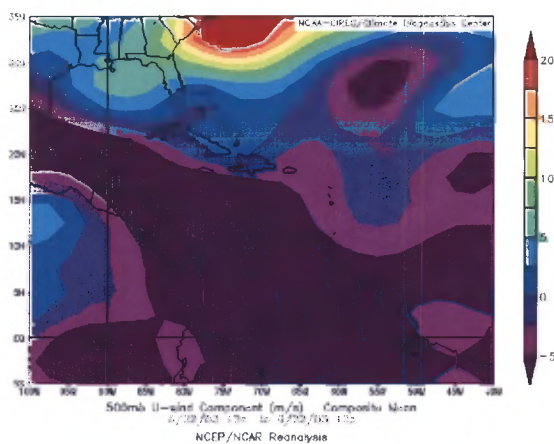
Si se analizan las anomalías de viento (figura 96) es de considerar que existe un aumento en el flujo alisio en 3 m/s, el cual proviene del norte y se presenta a los 925 hPa, mientras que en 850 hPa la variación es nula y para los 500 hPa se observa un pequeño incremento del flujo alisio del norte en 2 m/s. En 250 hPa la región Noroccidental se ve mayormente influenciada por el anticiclón y la dorsal que se formaron, y generaron una intensificación del viento en 3 m/s sobre la región.

Al analizar las anomalías del viento meridional se obtienen mayores cambios, por ejemplo en 925 y 850 hPa hay un aumento en 2 m/s del viento dirección norte sur. Mientras que en 500 hPa hay un aumento del viento en dirección sur-norte en aproximadamente 2 m/s, finalmente en 250 hPa el viento meridional no presenta variación alguna.

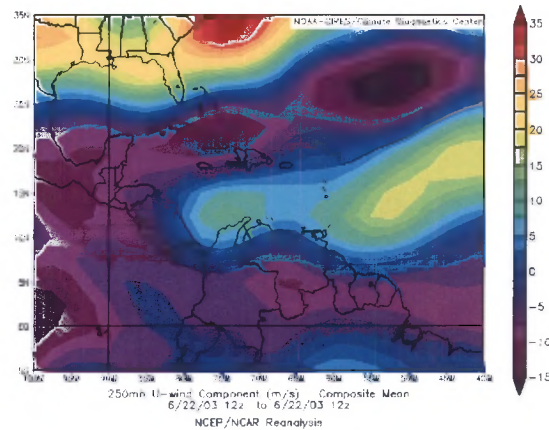
Figura 96. Imágenes de viento zonal y meridional del día 22 de junio de 2003.



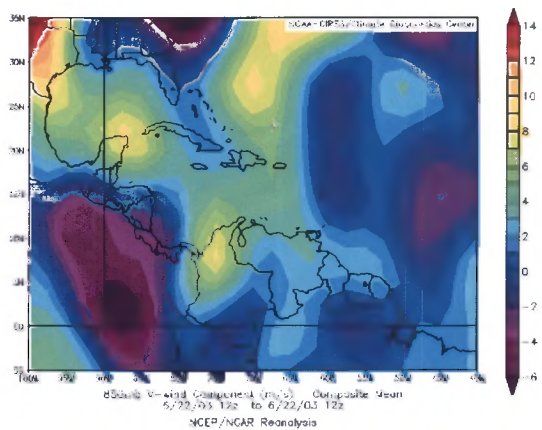
c) Viento zonal 22jun2003, 500hPa 12Z



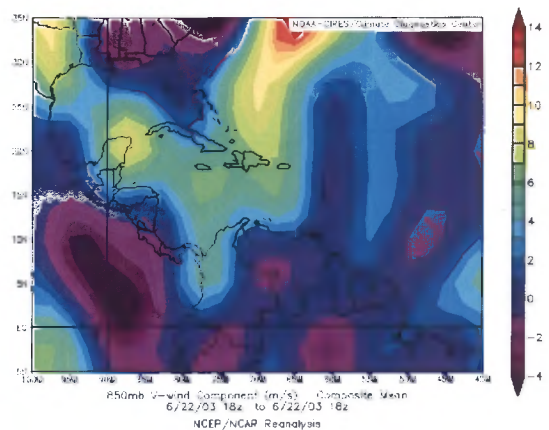
d) Viento zonal 22jun2003, 250hPa 12Z



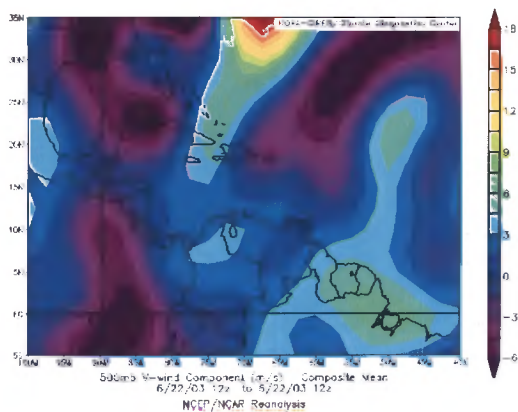
e) Viento meridional 22jun2003, 850hPa 12Z



f) Viento meridional 22jun2003, 850 hPa 18Z



g) Viento meridional 22jun2003, 500 hPa 12Z



h) Viento meridional 22jun2003, 250 hPa 12Z

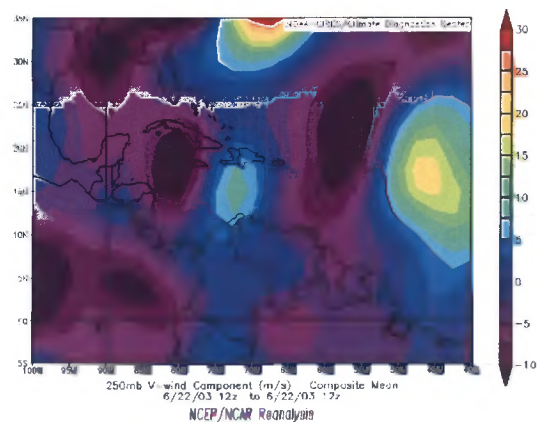
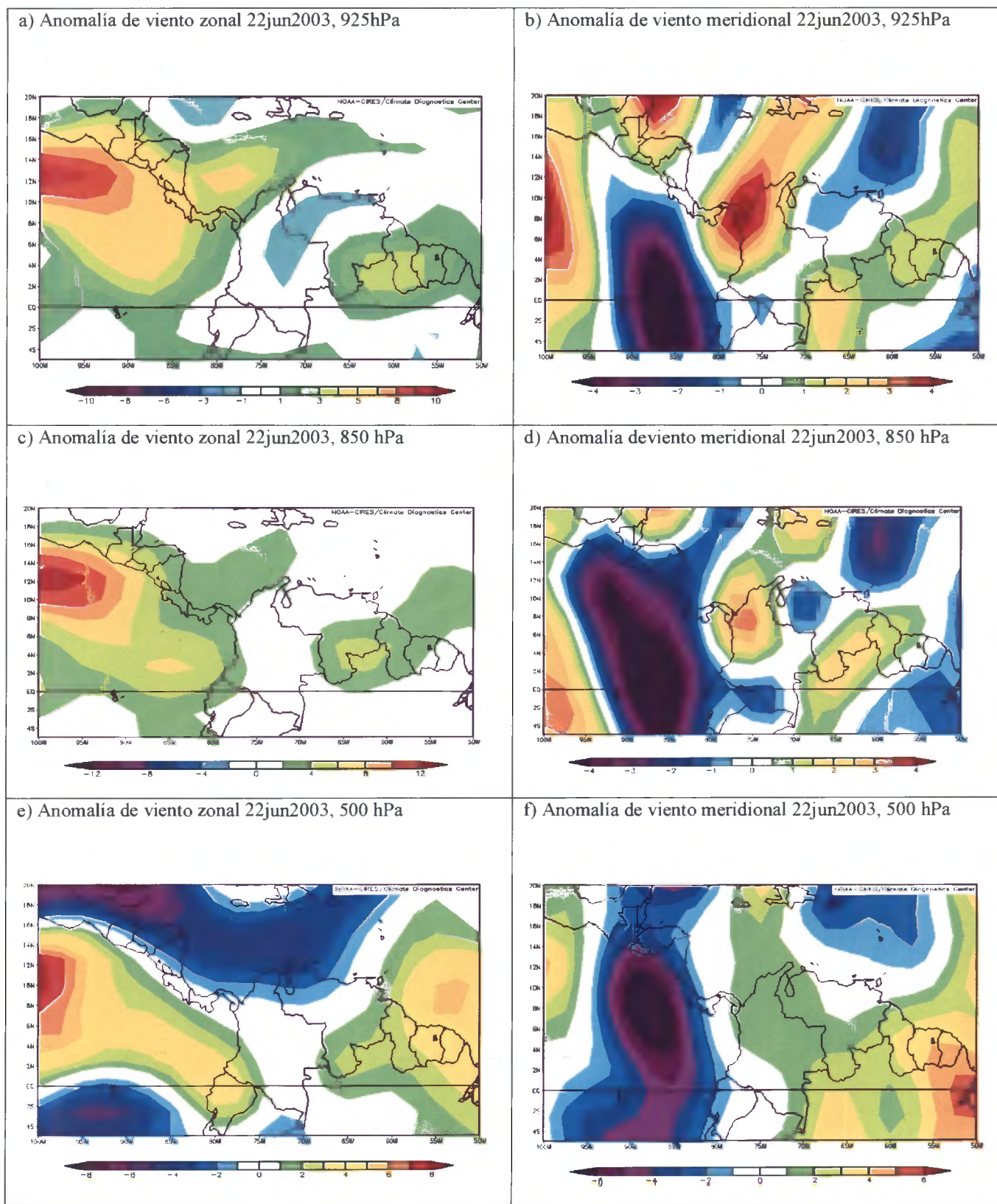
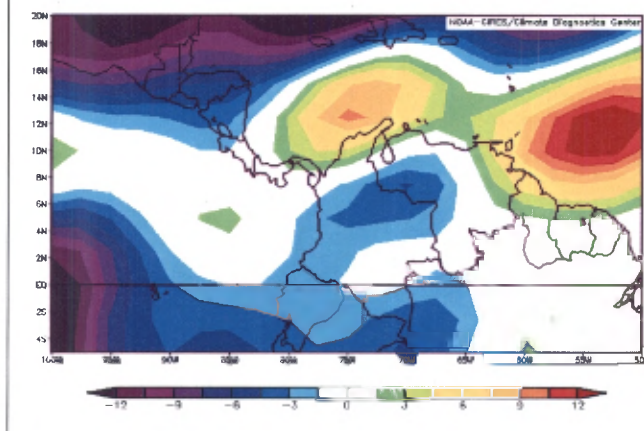


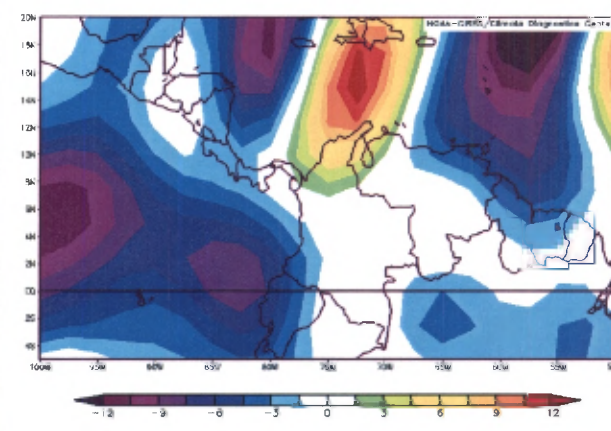
Figura 97. Imágenes de las anomalías del viento zonal meridional del día 22 de junio de 2003.



g) Anomalía de viento zonal 22jun2003, 250hPa

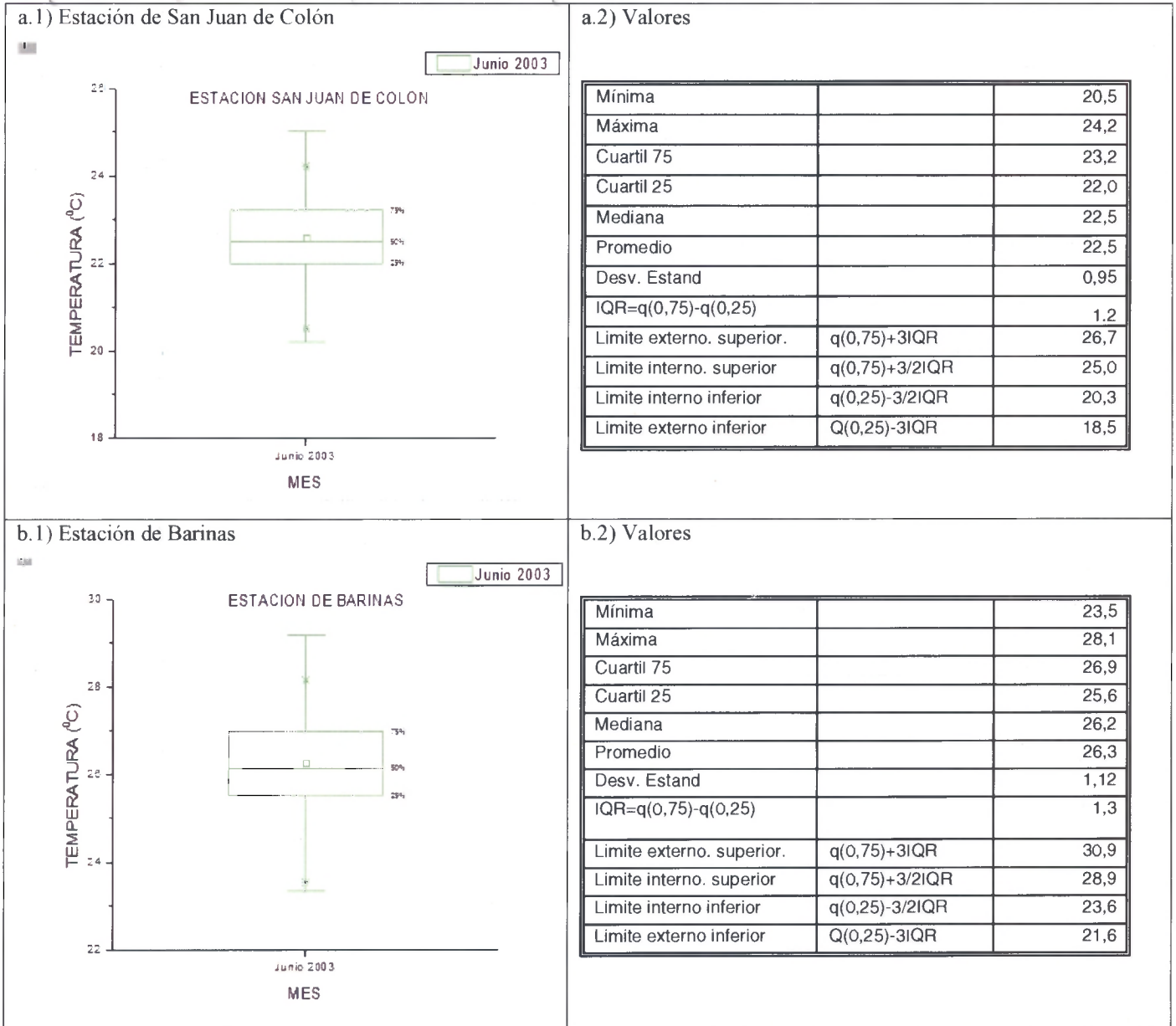


h) Anomalía de viento meridional 22jun2003, 250hPa

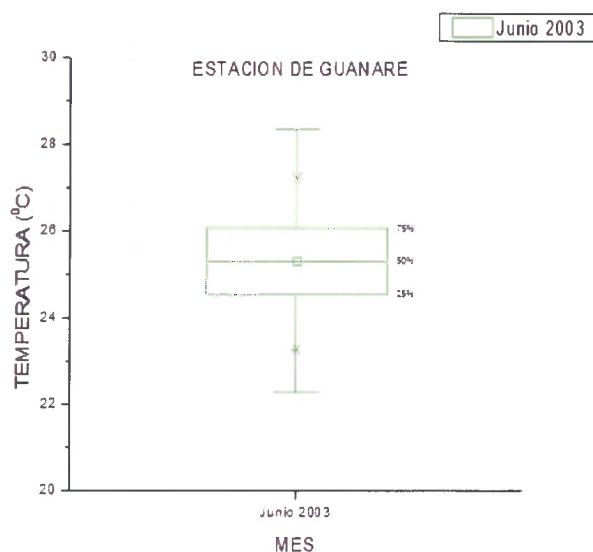


La temperatura de las regiones de interés se ve influenciada por la ocurrencia del evento de 22 de junio, tal es el caso de la temperatura registrada en algunas de las estaciones, en especial las que registran precipitaciones cuya cantidad se encuentran sobre el umbral de eventos extremos dentro de la serie. Al analizar los datos en alguna de las estaciones de la región de los Andes, se observó que la estación de San Juan de Colón experimentó una disminución de 22,6°C a 21,4°C, durante el mismo día en la estación de Barinas la temperatura también se vio afectada, pasando de 26,5°C que era la media del mes a 23,5 °C , en tanto que la estación de Guanare también registró un descenso en la temperatura para tal día, desde 25,3°C hasta llegar a 23,4°C. Estos datos reflejan como la precipitación es capaz de modificar la temperatura del entorno, constituyendo uno de los principales factores en generar cambios en la atmósfera. Es importante acotar que en casi todas las estaciones se experimenta cierto descenso de temperatura, por influencia del aumento de la precipitación; sin embargo, sólo se nombran las estaciones cuya cantidad de lluvia registradas en la serie se encuentran sobre los límites o umbrales obtenidos para caracterizarlos como eventos extremos de precipitación, lo que permite tenerlas como referencia del resto de las estaciones para explicar los cambios que se presentan bajo la influencia de estos procesos naturales. A partir del diagrama de puntos atípicos (figura 97), se logra dar una idea de cómo podría afectar la temperatura en algunos casos, dada la influencia directa de eventos extremos de precipitación.

Figura 98. a) Representación de los puntos atípicos de las estaciones que presentaron eventos extremos para el 22 de junio en la región de los Andes. b) tabla de valores arrojados por el método.



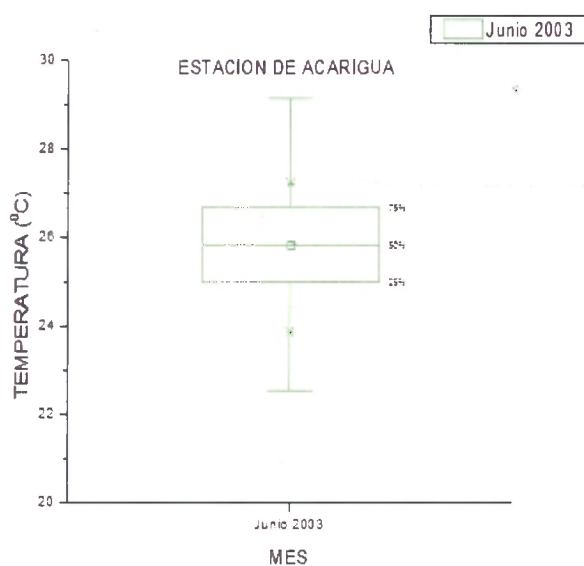
c.1) Estación de Guanare



c.2) Valores

Mínima		23,3
Máxima		27,2
Cuartil 75		25,9
Cuartil 25		24,6
Mediana		25,3
Promedio		25,3
Desv. Estand		1,03
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,4
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	30,2
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	28,1
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	22,5
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	20,4

d.1) Estación de Acarigua



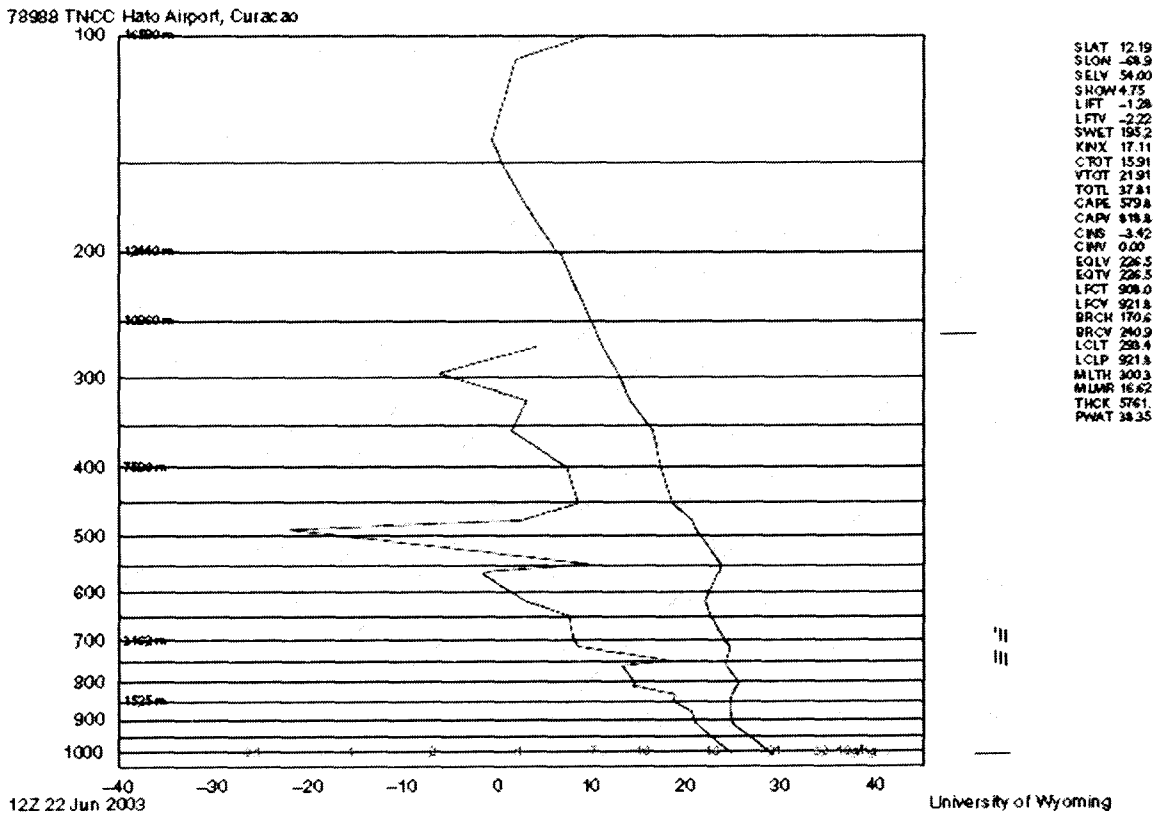
d.2) Valores

Mínima		23,9
Máxima		27,2
Cuartil 75		26,6
Cuartil 25		25,0
Mediana		25,9
Promedio		25,8
Desv. Estand		1,0
IQR=q(0,75)-q(0,25)		1,6
Limite externo. superior.	$q(0,75)+3IQR$	31,4
Limite interno. superior	$q(0,75)+3/2IQR$	29,0
Limite interno inferior	$q(0,25)-3/2IQR$	22,6
Limite externo inferior	$Q(0,25)-3IQR$	20,2

A través de los datos arrojados por el radiosondeo del día 22 de junio(ver figura 99), se logra determinar que la inestabilidad en la atmósfera aumenta para éste día, con cierto incremento en los valores de la humedad relativa en los niveles de 850hPa, 925hPa y en superficie con valores mínimos de 80% (ver figura 100), estos valores fueron registrados

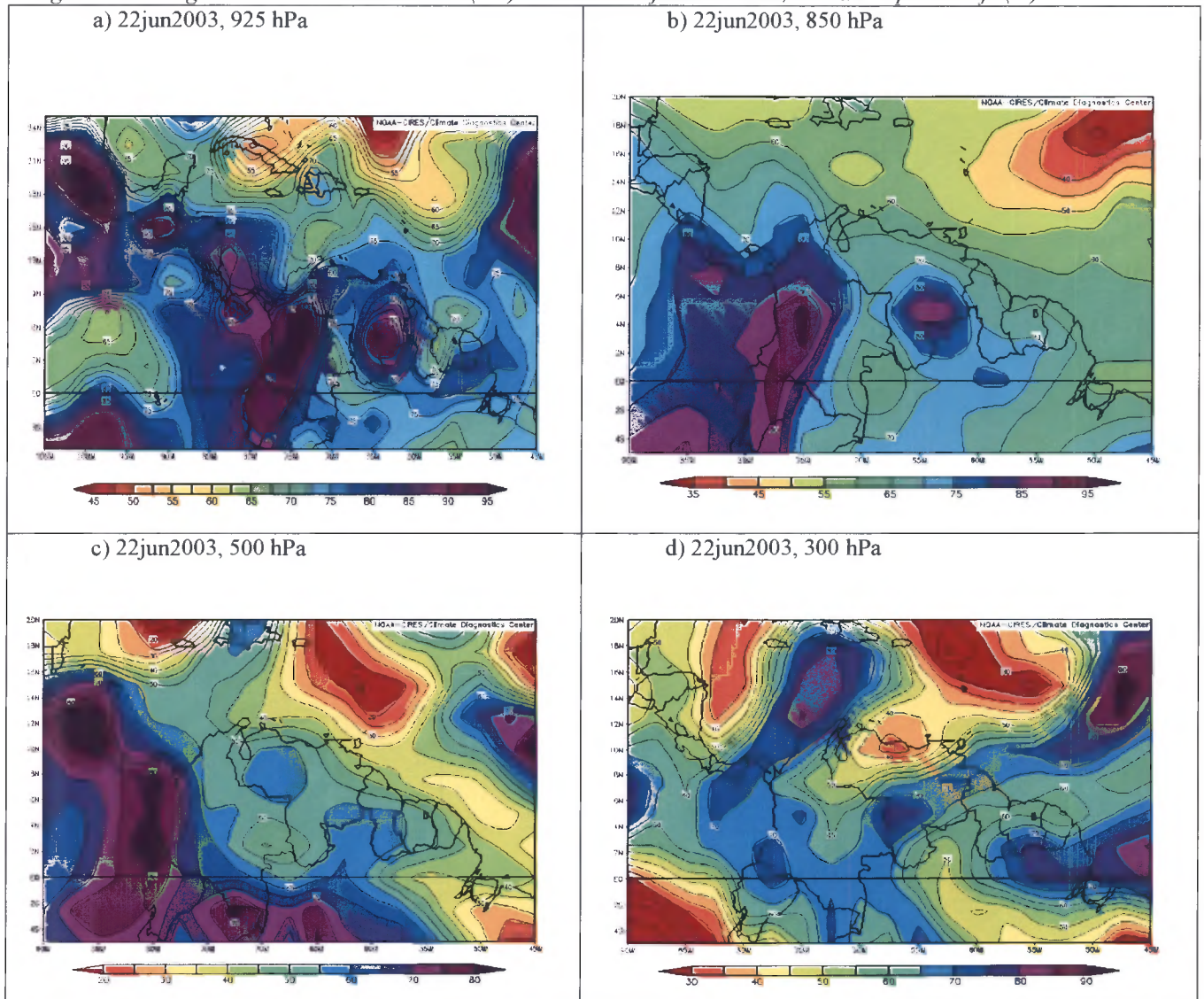
por la estaciones meteorológicas en superficie, mientras que el resto de los datos en varios niveles de altura fueron obtenidos a través del reanálisis. La gráfica obtenida del radiosondeo presenta una atmósfera húmeda sólo para niveles bajos, dada la proximidad en las curvas de temperatura de rocío y la temperatura ambiente, lo que causa una reducción en el espesor de la atmósfera en estos niveles. No obstante, la humedad disminuía inversamente proporcional a la altura, donde vale recordar la permanencia de un sistema anticiclónico sobre el país en niveles superiores, lo que representaba una fuerte salida de flujo cuyos valores estuvieron por debajo del 40%, aunque se caracterizaba por ser masas muy frías, que al descender e interactuar con otras de mayor temperatura, según las propiedades termodinámicas que presentaban, pudieron dar lugar a la condensación, formación de nubes y por ende lluvia.

Figura 99. Radiosondeo del 22 de Junio para la Isla de Curacao a las 12Z.



Un día antes del evento; es decir el 21 de junio la atmósfera presentó niveles altos de humedad en la atmósfera, en especial en los niveles de superficie, 925 y 850 hPa, con promedios del 75% de humedad relativa para estos niveles y aproximadamente 40% en los 500 hPa. A pesar de esta condición la cantidad de lluvia durante el día fue muy baja, y no presentó ningún tipo de novedad para las regiones.

Figura 100. Imágenes de la humedad relativa (HR) del día 22 de junio de 2003, medido en porcentaje (%)



Como puede apreciarse en la imagen del radiosondeo el viento presenta diferentes perfiles dependiendo el nivel donde se encuentre. A nivel de superficie, 925 y 850 hPa se mantienen los vientos estes, mientras que a niveles superiores la dirección es completamente inversa, es decir oestes, lo cual concuerda con lo observado por Fernández (1979) en su investigación. La cortante vertical del viento se ve disminuida, dando lugar a la convección. De la misma manera, la dirección del viento según el nivel se ajusta a lo mostrado en las líneas de corriente, ya que a nivel de la alta troposfera la presencia del anticiclón genera viento con circulación zonal. La característica en el caso del nivel de superficie será dependiente de los vientos alisios que allí predominan.

Los valores de la energía potencial disponible de convección del radiosondeo del día 22 registraron $579,8 \text{ Jkg}^{-1}$, si se toma en cuenta este valor aunado con el del agua precipitable estimada en 38,35 mm indican que los valores no son muy altos, por lo que es posible que otros factores debieron influir en la formación de lluvia. En especial predominan las condiciones locales que pudieron dar origen a los eventos de precipitación.

La de la Zona de Convergencia Intertropical para estos días se encontraba desplazada al norte del ecuador, a tal punto que se situaba sobre Centroamérica y el centro de Venezuela. Es posible que esto haya sido el principal factor causante del origen de precipitación, dando lugar a un conglomerado nuboso y a bajas presiones de varios kilómetros de longitud. Pero de la misma manera la presencia del viento alisio seguramente constituyó otro de los factores productores de lluvia, en especial la fuerte intensidad del viento que existía en los 925 hPa interactuando casi perpendicularmente con la orografía.

Poveda y Mesa (1997), encontraron que la distribución anual de la precipitación sobre los trópicos en América del Sur está primordialmente influenciada por la posición de la ZCIT, siendo los principales mecanismos de control de la distribución espacial de la precipitación, la presencia de la cadena montañosa de los Andes, la región del este del océano Pacífico Tropical, la parte oeste del Atlántico Tropical y las circulaciones atmosféricas sobre el Amazonas.

En la investigación de Velásquez (2000) se plantea que existe más de un mecanismo físico productor de lluvia en esta región y no solamente por efecto de la Zona de

Convergencia Intertropical (ZCIT). Menciona además que para la región de Los Andes y el Lago de Maracaibo “la orografía parece tener un efecto importante, ya que la presencia de la Cordillera de los Andes en su parte más alta (mayor a 2000 msnm) presenta una orientación aproximada suroeste-noreste, de menor elevación más al norte (500-1000 msnm), que a pesar de no ser tan continua es casi perpendicular al flujo medio el cual es esencialmente del este durante el período lluvioso comprendido entre los meses de abril-mayo hasta noviembre”

Se analizaron los campos de omega y potencial de velocidad del viento (figura 101 y 102) de los archivos del NCEP en los niveles de 1000 hPa, 925, 850, 500 y 250 hPa para la zona de interés, el resultado obtenido para el caso de la variable omega fue de valores negativos especialmente el día 22 de junio, donde se destaca que en los mapas vistos en superficie se presentaba un gran centro de ascenso de flujo en la Costa Norte del país, por sus valores altos que presentaban. Sin embargo, en los niveles de 850 hPa y 925 hPa los valores fueron positivos pero muy pequeños, mientras que en 500 hPa y 250 hPa presentaron valores negativos indicativos de ascenso de masas de aire en la región de interés. Es posible que el valor obtenido de omega en 850 y 925 hPa se deba a la influencia del centro de baja presión al oeste de Colombia, en la cual confluía todo el flujo de su entorno. Otra razón podría ser, que los valores pronosticados por el NCEP son datos promedios suavizados del día completo y difícilmente se podrían obtener datos horarios, esto hace que un valor dado esté cercano a la media del campo de interés. No obstante, estos valores serán dependientes de la hora del día, tal es el caso del evento extremo del 22 de junio, donde a primeras horas del día la característica fue de un día despejado y con fuerte incidencia de los rayos del sol, pero en horas de la tarde y parte de la noche se formaron grandes sistemas nubosos que dieron lugar a intensa precipitación.

En la región occidental de Colombia y el este de Panamá se observan valores negativos muy grandes en los niveles superiores e incluso niveles medios de la velocidad potencial. En cuanto al oeste de Venezuela se presenta esta misma característica, con la diferencia que los valores de la velocidad potencial resultan ser menores comparados a los anteriores, toda esta situación se debe en gran parte a la presencia de sistemas

anticiclónicos y dorsales en altura, que hacen posible la salida del aire en estos niveles y la gran divergencia de los vientos, dirigidos a los niveles bajos. En cambio para los niveles correspondientes a $\sigma=0,85$ y a $\sigma=1$; el valor del potencial de la velocidad del viento es positivo y cercano a cero, lo que hace pensar que existió convergencia en los niveles bajos y muy cercanos a la superficie. Del número de imágenes que se observan se logra apreciar mucha convergencia para el centro de Panamá y oeste de Colombia, pero la dirección del flujo es similar al flujo alisio que se intensifica al oeste del país, por lo que se pensaría que pudo influir en la convección especialmente en horas de la tarde.

Figura 101. Imágenes del parámetro omega (ω) del día 22 de junio de 2003, medido en (Pa/s).

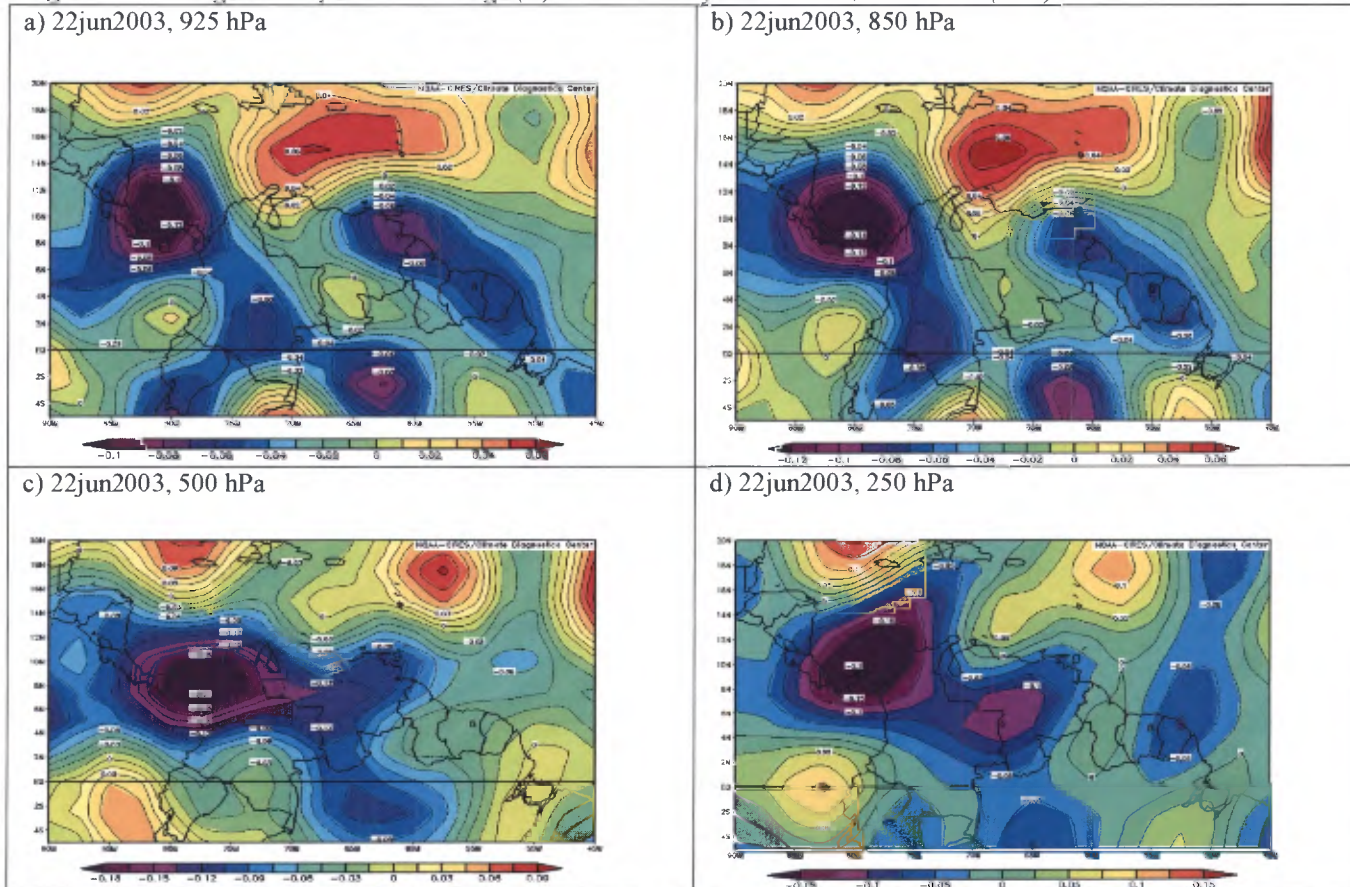
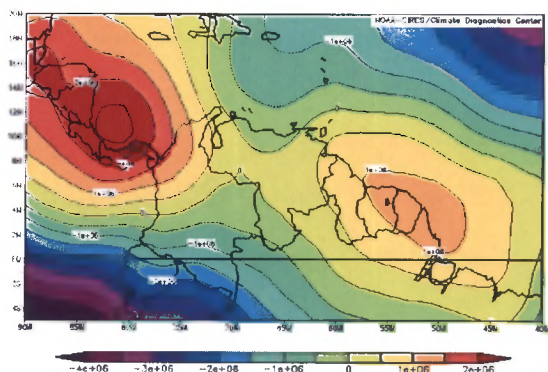
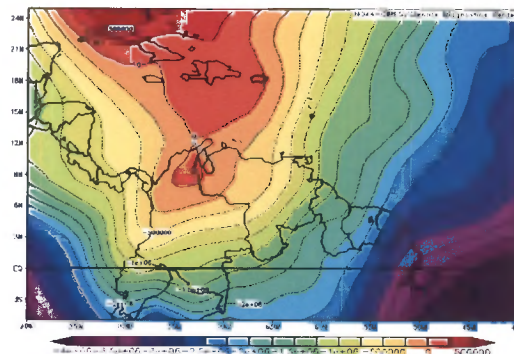


Figura 102. Imágenes del potencial de la velocidad del viento del día 22 de junio de 2003, medido en (m*m/s).

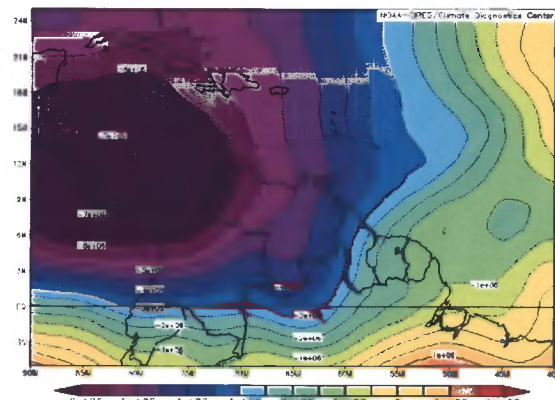
a) 22jun2003, $\sigma = 1$



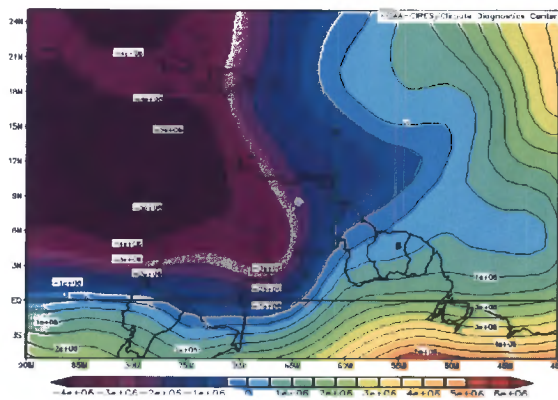
b) 22jun2003, $\sigma = 0,85$



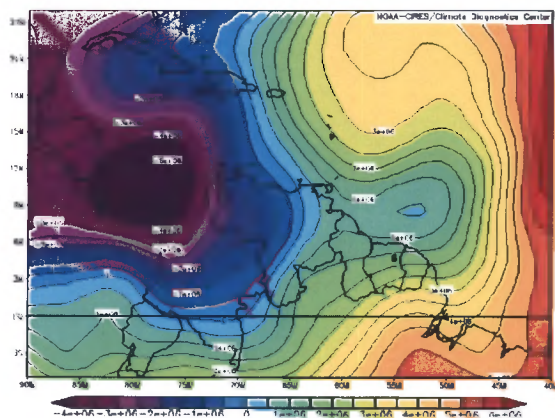
c) 22jun2003, $\sigma = 0,26$



d) 22jun2003, $\sigma = 0,21$



e) 22jun2003, $\sigma = 0,17$



Este evento tiene una característica particular, y es que un número reducido de estaciones registró precipitación importante, pero en los lugares donde hubo precipitación, la cantidad de agua precipitada fue considerable, a tal punto que parte de la región de Los Andes fue afectada por inundaciones y desbordamientos de ríos, especialmente en regiones agrícolas, donde sus habitantes dependen de la siembra de algunos cultivos, junto con la cría de animales para la venta, todo esto generó grandes pérdidas económicas al estado debido a las movilizaciones del personal y los planes de contingencia que decidieron implementar.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Al analizar los datos de precipitación registrados en las diferentes estaciones pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Aviación que conforman la región de Los Andes y región Noroccidental, en la mayor cantidad de estaciones de ambas regiones, se obtuvo una distribución o comportamiento bimodal de la precipitación, cuyos máximos de precipitación no coincidieron; es decir, dependen de la región en la cual se encuentra la estación meteorológica que hace la medición, por tal causa se observaron desfases en dichos máximos. Sin embargo, los máximos de precipitación sí corresponden al periodo que comprende la estación lluviosa, también se obtuvo que los mínimos de precipitación corresponden a valores obtenidos durante la estación seca.

Para la región de los Andes la estación que registra mayor precipitación es la de Santo Domingo, por encontrarse bajo la interacción de flujo y desplazamiento de masas de aire, justamente entre los Andes venezolanos y colombianos, lo que hace más propicia la formación de nubosidad y por ende precipitación. En cuanto a la región Noroccidental es la estación de Mene Grande la que marca la mayor precipitación de la zona, la velocidad y la dirección del viento parece tener influencia sobre la distribución temporal de la precipitación; debido a su ubicación y dada la cercanía al Lago de Maracaibo, posiblemente la brisa del lago es uno de los principales factores contribuyentes en la producción de lluvia, por la gran advección de humedad que se produce en horas del día, lo cual es confirmado por las imágenes satelitales, tanto en horas diurnas como nocturnas. Mientras la estación de Coro es la que presenta la precipitación más baja de la región, y que de acuerdo a investigaciones previas (Velásquez 1999), se podría atribuir al efecto friccional del flujo con la topografía de la región. Asimismo, las imágenes satelitales evidencian la fuerte interacción que se produce entre el aire y grandes sistemas montañosos

como la Cordillera de los Andes y la Sierra de Perijá, que pueden ser factores determinantes para la formación de sistemas convectivos.

Otro de los propósitos de esta investigación fue analizar las características de los sistemas convectivos de mesoescala, en un estudio realizado a tres eventos naturales, que fueron categorizados como extremos a partir de la prueba estadística Mann-Kendall, cuyo método permitió determinar un límite o umbral de precipitación diferente para cada estación en toda la serie de datos de lluvia, en un periodo correspondiente a diez años. La selección de los eventos extremos que se iban a estudiar fue hecha tomando en consideración la mayor cantidad de estaciones meteorológicas que registraron eventos extremos de acuerdo a la prueba estadística, junto con los valores más altos de precipitación registrados para esos días específicos.

La precipitación en el país al igual que la ocurrencia de eventos extremos, se ve afectada directamente por los fenómenos que ocurren cíclicamente, es decir cada cierto tiempo. Para los años en que ocurre el fenómeno de “El Niño” el índice de precipitación y por ende eventos extremos de precipitación se ve reducida notablemente, en cuanto a “los eventos fríos” o también denominado fenómeno de “La Niña”, no parece afectar significativamente en la producción de eventos extremos, ya que el aumento es leve y detectable sólo en algunas estaciones. No obstante, es válido considerar que en los periodos lluviosos las condiciones climatológicas son más favorables para dar lugar a eventos extremos y a la formación de gran inestabilidad convectiva. Sin embargo, el ENOS no es la única fuente de variabilidad climática para Venezuela, ya que existen otros factores naturales asociados a los distintos fenómenos naturales que influyen en el clima de la región.

La influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) sigue siendo factor importante en la generación de estos eventos extremos, con mayor impacto en algunos meses del año, los cuales se encuentran directamente relacionados con el periodo lluvioso en Venezuela, constituyendo el principal factor que modula la precipitación sobre todo el territorio nacional. Por este motivo, las precipitaciones extremas en las dos regiones de estudio están ligadas a la ZCIT.

Hay una fuerte convergencia que relaciona el paso de la ZCIT con el calentamiento diurno de sistemas de bajas presiones en superficie, los acoples son generados por la divergencia en niveles superiores y que llegan a converger en niveles bajos reforzado por el chorro de bajo nivel, que pasa al noroeste de Venezuela.

La duración de los sistemas convectivos formados desde la génesis es variable, se observó que durante el día dicha duración fue muy corta, comparada con la noche, con un mínimo de 3 horas aproximadamente, en tanto que los formados durante la noche o en la madrugada del día siguiente, presentaron máximos de 12 horas. Este resultado coincide con lo determinado por Velasco y Fritsch (1987) donde concluyeron que la máxima extensión de un sistema convectivo de mesoescala ocurre durante la madrugada en la mayoría de los casos, éste atribuido al calentamiento diurno.

La presencia de la orografía influye en el comportamiento y distribución temporal y espacial tanto del viento como de la precipitación en la Cordillera de los Andes venezolanos, consecuentemente es factor esencial en la formación de eventos extremos. Probablemente este sea uno de los motivos por los que la región de Los Andes es normalmente más vulnerable a la formación de sistemas convectivos de gran magnitud que desencadenan intensas precipitaciones sobre la región. Lamentablemente el Servicio de Meteorología de la Aviación no cuenta con una red de estaciones ni los recursos económicos que permitan estudiar la mayor parte de la región, y a su vez que cubra mayores distancias verticales para realizar las mediciones.

Las componentes de viento zonal y meridional experimentan cambios a lo largo de los meses del año. El viento alisio cuya dirección es este-oeste presenta las mayores intensidades en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo que le permite mantener esta dirección; luego comienza a descender de intensidad y a cambiar un poco de dirección (unos 45° con respecto al norte) por la influencia que ejerce la componente de viento meridional, que se intensifica en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Cabe destacar que en los eventos de abril de 1999 y 22 de junio del 2003, la presencia del chorro bajo del este a los 925 hPa ejerce una importante influencia en los procesos de

convección, por el efecto y la interacción que tienen con la Cordillera y zonas montañosas presentes en las regiones de estudio, las cuales resultan determinantes.

En el caso del evento del 08 de mayo del 2001 se presentó un acople, justamente sobre las regiones de estudio, para ello fue necesario la presencia de divergencia de vientos tanto en los niveles medios como altos, es decir 500 y 250 hPa, que convergían en bajo nivel a los 850 hPa inclusive en superficie para formar una circulación ciclónica que creaba la inestabilidad convectiva. Hay que resaltar la formación de alguna vaguada a niveles bajos afectando directamente ambas regiones para intensificar o mantener la situación de convergencia en superficie. Mientras que en 500 hPa se forma alguna dorsal al noroeste del país, que contribuye a la divergencia de los vientos, procedentes de los 250 hPa con la presencia de un sistema anticiclónico, encargado de generar la salida del flujo en la alta troposfera.

Cuando se analizaron las anomalías del viento en cada evento extremo se observaron diferencias en cuanto al aumento o disminución de las componentes del viento zonal y meridional para cada suceso, de acuerdo al mes de ocurrencia. Por ejemplo en los días 07 y 09 de abril de 1999 a 925 hPa se experimentó un aumento en el flujo alisio proveniente del norte, pero en 850 aunque hay un aumento del flujo del este el mayor aporte de flujo lo hace el que es proveniente del sur por un aumento en la componente meridional, a nivel medio el viento se intensificó por medio de los oestes. En el evento de junio del 2003 el viento zonal en bajo nivel sigue siendo del este (tanto en 925 como 850 hPa), sólo que en 850 hPa aumenta en 3 m/s el viento meridional, y para niveles medios la predominancia de los oestes requieren de un nivel por encima de 500 hPa, es decir 600 hPa, porque a este nivel de 500 hPa el flujo es antizonal con una anomalía de 7 m/s. Es importante destacar que para el mes de junio del 2003 la ZCIT se encuentra al norte de la región de Los Andes y región Noroccidental, en tanto que sobre Centroamérica se forma un gran centro intenso de bajas presiones, para satisfacer esta situación se requieren vientos convergentes en los niveles bajos (925 y 850 hPa), y una gran divergencia en los niveles altos (250 hPa), por lo que las regiones de estudio fueron afectadas en estos procesos naturales que hacen posible la convección.

Se presentó una gran diferencia con lo ocurrido el 08 de mayo del 2001, porque en los niveles bajos el viento experimentó un leve aumento (2m/s) en el viento alisio del norte y una pequeña disminución (2 m/s) de la intensidad de los estes. A nivel medio la variación fue igualmente muy pequeña (3m/s), al aumentar los oestes.

Es preciso indicar la fuerte influencia de los vientos alisios provenientes del norte que se intensifican en 925 hPa producto del llamado chorro bajo del este, afectando directamente la parte norte del país donde se encuentra, y la región Noroccidental y Andes de Venezuela donde se ubican la Sierra de Perijá y Cordillera de los Andes respectivamente.

La temperatura durante los días de ocurrencia de los eventos extremos se ve enormemente influenciada, presentan descensos significativos de temperatura en casi todas las estaciones. La formación de sistemas convectivos pueden ser producto de abundante precipitación sobre las regiones de interés y hacen posible un enfriamiento del entorno por donde circulan las agrupaciones nubosas o las líneas de no turbonada.

Se analizaron además campos como la humedad relativa, la velocidad potencial para conocer de la convergencia o divergencia del flujo y la velocidad vertical por medio de datos que eran obtenidos a través del Centro Nacional de Predicción del Ambiente, EE.UU. (NCEP), los valores de la humedad relativa en los niveles bajos de la troposfera fueron por encima del 85% en los días de ocurrencia de los eventos, incluso para días antes existía esta tendencia, ya para niveles medios el viento se caracterizaba por ser seco, con promedios de humedad máxima de 45%. Esta condición favorecía la convección, ya que el viento se caracterizaba por ser muy frío, y al descender interaccionaba con masas cargadas de humedad. La velocidad vertical fue estimada por medio del parámetro omega, cuyos valores fueron negativos para niveles bajos y medios presentes en los tres eventos extremos, lo cual estaba asociado al ascenso de masas que se originan y favorecen la convección.

El uso de las imágenes satelitales fue fundamental para observar los centros de convección en las regiones, aparte de la cantidad de nubosidad y por último el uso de las líneas de corriente de viento que permitió el estudio de las condiciones sinópticas de la

región así como la formación y el desplazamiento de los sistemas en diferentes niveles de la atmósfera.

5.2 Recomendaciones

En Venezuela el estudio de los eventos extremos de precipitación, tormentas y sistemas convectivos es muy limitado, por lo que sería necesario seguir estudiando otros casos de eventos extremos para todo el territorio venezolano, que permitan identificar los mecanismos y factores naturales que den lugar a la ocurrencia de estos eventos.

Una investigación importante a futuro sería la de determinar si existe algún ciclo de ocurrencia de los eventos extremos, no sólo en las dos regiones estudiadas, sino para el país en general.

Es recomendable que se realice un estudio con mayor detalle de la influencia del chorro de bajo nivel que afecta el norte y noroeste de Venezuela, además de su posible relación con los vientos alisios, en la variabilidad de los patrones de precipitación, viento y temperatura.

En vista de las numerosas deficiencias que presenta el Servicio de Meteorología de la Aviación en cuanto a las mediciones y registros de datos en las estaciones, por causa de la distancia existente entre estas y a la irregularidad del terreno, la vida útil en los instrumentos e inoperatividad de los equipos, se sugiere la incorporación progresiva de una red de estaciones meteorológicas automatizadas para las regiones de estudio, con el objetivo de obtener datos más exactos y con mayor rapidez al momento de realizar el pronóstico del tiempo.

La implementación de algún modelo de pronóstico de área limitada con la incorporación de un software de análisis que permita realizar mejores observaciones de las regiones, ya que actualmente el Servicio de Meteorología sólo cuenta con la información meteorológica proveniente de Internet, pero en caso de requerir información más detallada, no se tienen los programas, fuentes y equipos que puedan arrojar dicha información meteorológica.

La reactivación del lanzamiento del radiosondeo en Venezuela sería de gran ayuda porque permitiría obtener información de algunos parámetros meteorológicos de una región en un día determinado, lo cual mejoraría el pronóstico meteorológico a la hora de elaborarse.

BIBLIOGRAFIA

Amador, J. 1998. A Climate Feature of the Tropical Americas: the trade wind easterly jet. Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica.

Amador, J., V. Magaña, 1999. Dynamics of the Low Level Jet over the Caribbean Sea., Preprints of 23 rd Conferencia of Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorology Society 868-869pp.

Asnani, G. C.,:1993: Tropical Meteorology. Vols. 1 & 2 Noble Printers Pvt.Ltd., Pune – 411002 (India) Vol.2.603pp.

Barry, R. G., 1992. Mountain Weather & Climate. Routledge Physical Environment Series, 2ND Edition, Chapman and Hall, Inc, 402 pp.

Bluestein, H. B, 1992. Synoptic Dynamic Meteorology in midlatitudes. Oxford University Press. Vols. 1 & 2, 592pp.

Con, A., 1982: Investigación de sistemas sinópticos en los trópicos. Revista del Grupo Logístico de Meteorología de la Aviación, 1, 39-45.

Cotton , W.R., y R.A. Anthes, 1989. Storm and Cloud Dynamics. Academic Press, Inc, 880 pp.

Cotton , W.R, and R.. L. McAnelly, 1989. A composite model of mesoscale convective complexes. Mon. Weather Rev. 117, 765-783.

Fernández, W., 1979: Environmental Conditions and Structure of Some Types of Convectives Mesosystems Observed over Venezuela. Archives for Meteorology, Geophysics Bioclimatology, 29, 249-265.

Gerstengarbe, F. G. and P. C. Werner, 1989: A method for the statistical definition of extreme-value regions and their application to meteorological time series. Meteorologische Zeitschrift, 39, 224-226.

Gerstengarbe, F. G., 1999. Estimation of the beginning and end of recurrent events within a climate regime. Climate Research. 11, 97-107.

Goldbrunner, A., 1963. Las Causas Meteorológicas de las Precipitaciones de Extraordinaria Magnitud en Venezuela. Fuerza Aérea Venezolana. Publicación especial Nro 02. Caracas-Venezuela. 230 pp

Goldbrunner, A., 1984: Atlas Climatológico de Venezuela, periodo 1951-70. Fuerza Aérea Venezolana. CDU 551.582.3. Caracas – Venezuela. 68pp.

Holton, J., 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology. Elsevier Academic Press, fourth edition, 535 pp.

Holton, J., 1990: Introducción a la Meteorología Dinámica. Edita: Instituto Nacional de Meteorología de España, 2da. edición. 271-273, 316-318 pp.

Houze, R. A., Jr., 1993: Cloud Dynamics. Academic Press, 570 pp.

Laing, A. & Fritsch, M., 2000. The Large-Scale Environments of the Global Populations of Mesoscale Convective Complexes. Monthly Weather Review, 128, 2756-2776.

Lovera, J., 2003. Los patrones de viento y lluvia en la Cordillera de los Andes de Venezuela y su influencia en la planificación de operaciones aéreas. Tesis de Grado de Licenciatura. San José – Costa Rica, 81pp.

Maddox, R. A., 1980. Mesoscale convective complexes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 61, 1374– 1387.

Organización Meteorológica Mundial, 1991. Compendio de Meteorología para uso del Personal Meteorológico de las Clases I y II. Volumen I. Ginebra, Suiza, 295 pp.

Poveda, G., and O. Mesa, 1997: Feedbacks between Hydrological Processes in Tropical South America and large – Scale ocean – Atmospheric Phenomena. *J. Climate*, 10, 2690-2702.

Pulwarty, R., R. Barry, H. Riehl, 1992: Annual and Seasonal Patterns of Rainfall Variability over Venezuela. *Erdkunde*. 46, 273-289.

Pulwarty, R., R. Barry, C. Hurst, K. Sellinger, and L. Mogollon, 1998: Precipitation in the Venezuelan Andes in the Context of Regional Climate. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 67, 217-237pp.

Queney, P. 1970: Transfer and Dissipation of Energy by Mountain Waves. P. Morel, University of Paris, París, Francia. 515-519 pp

Riehl, H., 1977: Venezuelan Rain System and the General Circulation of the Summer Tropics I: Rain Systems. *Monthly Weather Review*, 105, 1402-1419, p1410.

Riehl, H., 1977: Venezuelan Rain System and the General Circulation of the Summer Tropics II: Rain Systems. *Monthly Weather Review*, 105, 1421-1433, p1425.

Salinas R., 2001: Sistemas Convectivos de Mesoescala que afectan al Paraguay. Tesis de Grado de Licenciatura. San José – Costa Rica, 110 pp.

Viñas R., 2000. propuesta de adquisición de un sistema meteorológico móvil de campaña en apoyo de las operaciones de la FAV. En tiempo de guerra y de paz. Curso de Comando y Estado Mayor Aéreo N° 30. Caracas, 176 pp.

Velasco, I. y J.M. Fritsch, 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. Journal Geophys. Res. Issue D8, 92, 9591-9613.

Velásquez, R., 2000. Mecanismos Físicos de Variabilidad Climática y de Eventos Extremos en Venezuela. Tesis de Grado de Licenciatura. San José – Costa Rica, 118pp.

Wiesner, C.J., 1970. Hidrometeorology. Chapman & Hill, 232pp.

Wilks, D.S., 1994. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press. Inc, 467 pp.

Zipser, E. J., 1977. Mesoscale and Convective-Scale Downdrafts as Distinct Components of Squall Line Structure. Mon. Weather Rev, 105, 1568-1589.

PAGINAS WEB UTILIZADAS EN LA INVESTIGACION

www.cdc.noaa.gov: Página del Reanálisis del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos.

www.cdc.noaa.gov/ncep_reanalysis: Página del Centro Nacional de Predicción del Ambiente, EE.UU.

www.comet.ucar.edu: Página de información meteorológica educativa

www.icao.org: Página de investigación científica. .

www.inm.es: Página del Instituto Nacional de Meteorología de España

www.exa.unne.edu.ar: Página educativa de argentina

www.el-nacional.com: Diario El Nacional de Venezuela

A N E X O S

Anexo A**Artículo de prensa, elaborado por la Cruz Roja****INFORME DE LA BRIGADA DE SOCORRO****Emergencia Páramo de Mérida**

El día 22 de junio se presentó en la carretera trasandina un deslave donde se vieron afectadas las siguientes comunidades y poblaciones: Pueblo Llano, La Primavera y Mítisu; y algunos alrededores (La Población de Pueblo Llano queda aproximadamente a una hora de carretera de la Trasandina).

En el sitio se presentaron las autoridades competentes gubernamentales para atender la emergencia; cerca de estas poblaciones se encuentran, el pueblo de Santo Domingo y Las Piedras, lugares que no fueron afectados por el evento. El paso entre Santo Domingo y Mítisu quedaron interrumpidos debido al tapiamiento que se produjo en la carretera por la movilización de piedras que se produjeron. En el sitio actuaron Los Bomberos de Mérida, Protección Civil Mérida, Protección Civil Barinas, Policía Mérida, Policía Barinas, grupos de Rescate de los diferentes estados y Cruz roja Seccionales Mérida y Barinas. Según la evaluación elaborada en el lugar del evento, por personal de Socorro de Cruz Roja Mérida–Barinas, se pudo obtener los siguientes datos:

PUEBLO LLANO:

- 25 casas afectadas parcial y totalmente.
- 23 familias damnificadas, censadas por Cruz Roja.
- 01 albergue, en la escuela Bolivariana Tulio Febres Cordero.
- 07 desaparecidos.

SECTOR LA PRIMAVERA:

- 10 viviendas desaparecidas.
- 10 viviendas afectadas.
- 22 familias damnificadas.
- 38 personas desaparecidas.
- 07 fallecidos.

Figura A.1 Consecuencias de las Inundaciones en el estado Mérida debido a las fuertes lluvias.

a) Desbordamiento de varios ríos



b) Cierre temporal de las vías y carreteras

