

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E
INGENIERÍA AMBIENTAL

Anomalías de circulación asociadas a episodios
lluviosos y secos en Uruguay en el semestre de verano

(Tesis de Maestría en Mecánica de los Fluidos Aplicada)

Álvaro Fidel Díaz Rosas

2002

RESUMEN

Se analizan las anomalías de circulación atmosférica regionales y de gran escala asociadas con la ocurrencia de condiciones lluviosas y secas en el sector sudeste de Sud América (SESA) durante el semestre de verano austral (octubre-marzo). Como en la mayoría de las regiones en el mundo, la lluvia en SESA es altamente episódica. De esta manera, a diferencia del estudio de anomalías de circulación asociadas a condiciones extremas en otras variables del clima como temperatura, humedad, presión o viento, en el caso de la precipitación, la información anual, mensual o estacional proviene de un número relativamente bajo de días lluviosos durante el período considerado. En Uruguay, el porcentaje de días lluviosos es de sólo un 20% a 25% durante esta época del año. Como los episodios lluviosos y secos tienden a ocurrir en rachas alternadas de varios días de duración, el análisis en base mensual o estacional podría ocultar la naturaleza esencial de los mecanismos que producen la lluvia. Se propone aquí que es posible lograr una mejor identificación y comprensión de las anomalías de circulación durante meses o estaciones anormalmente lluviosos o secos analizando las características específicas de la circulación atmosférica durante los episodios lluviosos y secos.

Para esto se analizaron campos medios de diversas variables durante periodos de 11 días en los cuales la radiación infrarroja emergente promedio (RIE) fue anormalmente baja (nubosidad convectiva intensificada) o alta (periodo seco con escasa nubosidad convectiva) sobre una región centrada en Uruguay.

En el campo de anomalías de nubosidad convectiva, definida a partir de información de RIE, se advierte la presencia de una estructura dipolar sobre el Este de América del Sur entre 10°S y 40°S, con centros localizados sobre la zona de convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y sobre una amplia región alrededor de Uruguay y los estados del sur de Brasil. Una fase del dipolo se caracteriza por nubosidad convectiva y lluvia intensificadas sobre SESA y una ZCAS débil. Durante la otra fase predominan condiciones relativamente secas en SESA y la ZCAS se presenta anormalmente fuerte. Se utilizó la RIE para definir un índice de dipolo en nubosidad convectiva. Se analizó específicamente el funcionamiento del dipolo cuando el fenómeno El Niño está presente en el

Pacífico ecuatorial, concluyéndose que no hay cambios significativos en relación a los periodos cuando el fenómeno no ocurre. Esta estructura dipolar en el campo de anomalía de nubosidad convectiva se manifiesta en diversas escalas temporales.

Durante los periodos con nubosidad y precipitación intensificadas sobre SESA se observa una anomalía de circulación anticiclónica de núcleo cálido en la media y alta tropósfera, en una región centrada aproximadamente en 34°S –45°W. El patrón anterior es parte de una estructura tipo-onda cuasi-barotrópica mucho mayor, caracterizada por la alternancia de centros de anomalías positivas y negativas de altura de geopotencial y temperatura en la parte sur del continente y aguas arriba en el Pacífico sur. En la escala regional, la anomalía de circulación anticiclónica en la región entre la ZCAS y SESA es consistente con una corriente en chorro (jet) subtropical intensificada. También se profundiza la baja del Chaco en el noroeste de Argentina provocando un flujo intensificado de aire cálido y húmedo del noroeste desde la cuenca amazónica hacia SESA. No se detectaron diferencias importantes en estas anomalías de circulación durante la primavera (octubre, noviembre y diciembre, OND) y el verano (enero, febrero y marzo, EFM). Por otra parte, cuando la convección está suprimida sobre SESA, las anomalías de circulación regionales y de gran escala son marcadamente opuestas a las descritas antes.

Estos resultados sugieren que las anomalías climáticas intraestacionales, interanuales y quizás también de mayor escala temporal en el este de América del Sur están, en gran medida, condicionadas por las anomalías de circulación atmosférica recurrentes de escalas temporales más cortas, vinculadas al funcionamiento de una estructura dipolar en el desarrollo de nubosidad convectiva, que presenta tendencias opuestas de desarrollo sobre la ZCAS y SESA. Esta estructura dipolar parece ser uno de los factores clave de la dinámica del clima en América del Sur durante primavera y verano, representando un modo intrínseco de variabilidad atmosférica.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay, que cedió gentilmente los datos pluviométricos empleados en el presente estudio.

Al Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies, por permitir disponer libremente del Grid Analysis and Display System (GrADS) para realizar la gran mayoría de las ilustraciones de esta tesis.

A los compañeros del IMFIA, que me apoyaron permanentemente durante este trabajo. En particular, a los integrantes del Grupo de Dinámica de la Atmósfera y el Océano: José Luis Genta, Gabriel Pisciotano, Gabriel Cazes, Rafael Terra y Mariana Mendina, quienes con sus comentarios, preguntas, aportes y apoyo moral, colaboraron para que pudiera desarrollar esta actividad.

A los compañeros que trabajan en los cursos de Mecánica de los Fluidos, que compartieron mi tarea en los períodos en que estuve dedicado más intensamente a esta actividad.

En particular, a Gabriel Usera, quien en tantas ocasiones, y siempre con muy buena voluntad, solucionó los más variados problemas informáticos que surgieron durante este trabajo.

Al Director de esta tesis, el Dr. Patricio Aceituno, con enorme gratitud por haber aceptado la tutoría y por su continua labor de guía y enseñanza, la riqueza de sus ideas y su constructivo espíritu crítico. El Profesor Aceituno también facilitó gran parte de los datos para este estudio.

A Charo, mi compañera, por su apoyo, paciencia, comprensión y cariño durante todo este tiempo.

En fin, a todos los que nombro y no nombro, que me estimulan para seguir andando.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. DATOS.	11
3. METODOLOGÍA	12
4. RESULTADOS	14
4.1 DIPOLO EN PATRONES DE ANOMALÍA DE RIE	14
4.2 INDICE DE DIPOLO DE RIE	20
4.3 ANOMALÍAS DE CIRCULACIÓN REGIONAL	23
4.4 CORRIENTE EN CHORRO SUBTROPICAL SOBRE SESA	31
4.5 ANOMALÍAS DE CIRCULACIÓN DURANTE CONDICIONES EL NIÑO Y NO – EL NIÑO	33
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES	43
6.1 CONVECCIÓN INTENSIFICADA SOBRE SESA	43
6.2 CONVECCIÓN DEBILITADA SOBRE SESA	45
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
8. ANEXO - FIGURAS SUPLEMENTARIAS	54

1. INTRODUCCIÓN

La región del sudeste de América del Sur (SESA) se encuentra en la banda subtropical del continente e incluye el territorio de Uruguay y las zonas circundantes del sur de Brasil, sur de Paraguay y el nordeste de Argentina, aproximadamente al oeste de 40°W. La combinación de un clima benigno y un suelo fértil hacen de esta región relativamente plana y de escasa elevación una de las más ricas del mundo por su producción agrícola y sus pasturas. Sin embargo algunos eventos climáticos, particularmente los caracterizados por sequías prolongadas o inundaciones sobre amplias zonas, tienen fuertes impactos socio-económicos, particularmente sobre el funcionamiento de muchas actividades económicas dependientes del agua, y sobre la planificación y gestión de recursos hídricos para la generación hidroeléctrica.

El clima en SESA está caracterizado por una combinación de fenómenos tropicales y extratropicales. Durante el invierno prevalecen condiciones relativamente frías (con temperaturas medias en el rango de 8°C a 12°C), como consecuencia de la ocurrencia de frentes fríos extratropicales y las incursiones transitorias de masas de aire provenientes de latitudes medias, que se mueven hacia la región subtropical y tropical del continente. Aunque esta influencia extratropical persiste a lo largo del año (Garreaud y Wallace, 1998), las condiciones relativamente cálidas y húmedas y el desarrollo de nubosidad convectiva y lluvia durante la primavera y el verano (con temperaturas medias entre 20°C y 25°C) están ligados a la convergencia del flujo de humedad asociada a la advección del norte en bajos niveles desde la cuenca amazónica (Berbery y Collini, 2000). Asimismo la alta frecuencia de ciclogénesis sobre SESA, particularmente durante el invierno y la primavera, es un factor local que contribuye al desarrollo de nubosidad y lluvia (Gan y Rao, 1991). El efecto combinado de estos factores explica una distribución de la precipitación más bien uniforme en el año, con una media anual que varía desde aproximadamente 900 mm en el sector sur hasta cerca de 1700 mm en el interior del sur de Brasil (Díaz *et al.*, 1998).

La variabilidad de la lluvia en SESA se ha documentado para un amplio rango de escalas de tiempo, desde tendencias de largo plazo a cambios en escala submensual. Las series de lluvia de larga duración muestran una marcada tendencia positiva durante la segunda mitad del siglo XX (Krepper *et al.*, 1989; Castañeda y Barros, 1994; Minetti y Vargas, 1997). Esta notable característica también aparece en series de caudales (Mechoso y Pérez, 1992; Genta *et al.*, 1998).

Se ha relacionado la variabilidad interanual de la precipitación sobre SESA con las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en el Océano Atlántico adyacente. Específicamente, Díaz *et al.* (1998) vincularon la ocurrencia de condiciones relativamente lluviosas en Uruguay y el sur de Brasil con TSM por encima de lo normal en la zona sudoccidental del Atlántico subtropical. De acuerdo a Barros *et al.* (2000) y Díaz (2000), esta relación es particularmente fuerte durante el comienzo del verano austral (en diciembre y especialmente en enero).

Muchos estudios documentan la relación entre el fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS) y la variabilidad interanual de lluvia en SESA, en el sentido que precipitaciones por encima (debajo) de lo normal tienden a ocurrir durante la fase negativa (positiva) de ENOS (Kousky *et al.*, 1984; Ropelewski y Halpert, 1987, 1989, 1996; Aceituno, 1988; Kiladis y Díaz, 1989; Kousky y Ropelewski, 1989; Pisciottano *et al.*, 1994; Díaz *et al.*, 1998; Grimm *et al.*, 1998; Montecinos *et al.*, 2000; Grimm *et al.*, 2000). La señal ENOS es significativa durante la primavera y comienzo del verano australes, y en menor grado durante el invierno (Montecinos *et al.*, 2000).

En las escalas intraestacional y submensual, se ha relacionado la variabilidad de lluvia en SESA con una oscilación de multi-escala temporal en la nubosidad convectiva entre la ZCAS y SESA durante el verano austral (Casarin y Kousky, 1986; Aceituno y Montecinos, 1997; Nogués-Paegle y Mo, 1997; Liebmann *et al.*, 1999). Esta notable estructura dipolar y las anomalías de circulación asociadas aparecen mencionados en diferentes estudios sobre la dinámica del clima de América del Sur como uno de los modos clave de variabilidad (Kalnay *et al.* ,

1986; Kousky y Kayano, 1994; Lenters y Cook, 1999; Liebmann *et al.*, 1999; Robertson y Mechoso, 2000; Salio *et al.*, 2000; Li y Le Treut, 1999).

Basado en todos estos estudios, este trabajo se centra en las anomalías de circulación regionales y de gran escala asociadas a períodos lluviosos y secos en SESA durante el semestre del verano austral (octubre-marzo). Como en la mayoría de las regiones en el mundo, la lluvia en SESA es altamente episódica. De esta manera, a diferencia del estudio de anomalías de circulación asociadas a condiciones extremas en otras variables del clima como temperatura, humedad, presión o viento, en el caso de la precipitación, la información anual, mensual o estacional proviene de un número relativamente bajo de días lluviosos durante el período considerado. La Tabla 1 ilustra esta situación para estaciones pluviométricas en Uruguay, donde el porcentaje de días lluviosos es de sólo un 20% a 25% durante octubre-febrero. Como los episodios lluviosos y secos tienden a ocurrir en rachas alternadas de varios días de duración, el análisis en base mensual o estacional podría ocultar la naturaleza esencial de los mecanismos que producen la lluvia. Entonces se propone aquí que es posible lograr una mejor identificación y comprensión de las anomalías de circulación durante meses o estaciones anormalmente lluviosos o secos analizando las características específicas de la circulación atmosférica durante los episodios lluviosos y secos.

TABLA 1. Porcentaje de días con precipitación diaria superior a 1 mm en Octubre-Noviembre-Diciembre (OND) y Enero-Febrero (EF), en 5 estaciones en Uruguay durante el período 1979-93.

Estación	Lat.	Lon.	OND	EF
Bella Unión	30° 12'	57° 35'	23.1	22.3
Tacuarembó	31° 44'	55° 59'	19.3	23.6
Young	32° 42'	57° 38'	21.5	23.1
Treinta y Tres	33° 13'	54° 23'	22.5	24.2
Montevideo	34° 51'	56° 12'	22.1	20.7

Como elemento de orientación y referencia se presentan en la Fig. 1 los patrones medios del flujo de bajo nivel (850 hPa) y de RIE sobre América del Sur durante el semestre de verano (octubre-marzo), y en la Fig. 2, los patrones medios de RIE y de campos de viento en 200 hPa y 500 hPa para primavera (OND) y verano (EFM). En la Fig. A1 (Anexo) se muestran los campos climatológicos de vientos y RIE en 200 hPa, y los de vientos y temperatura en 850 hPa.

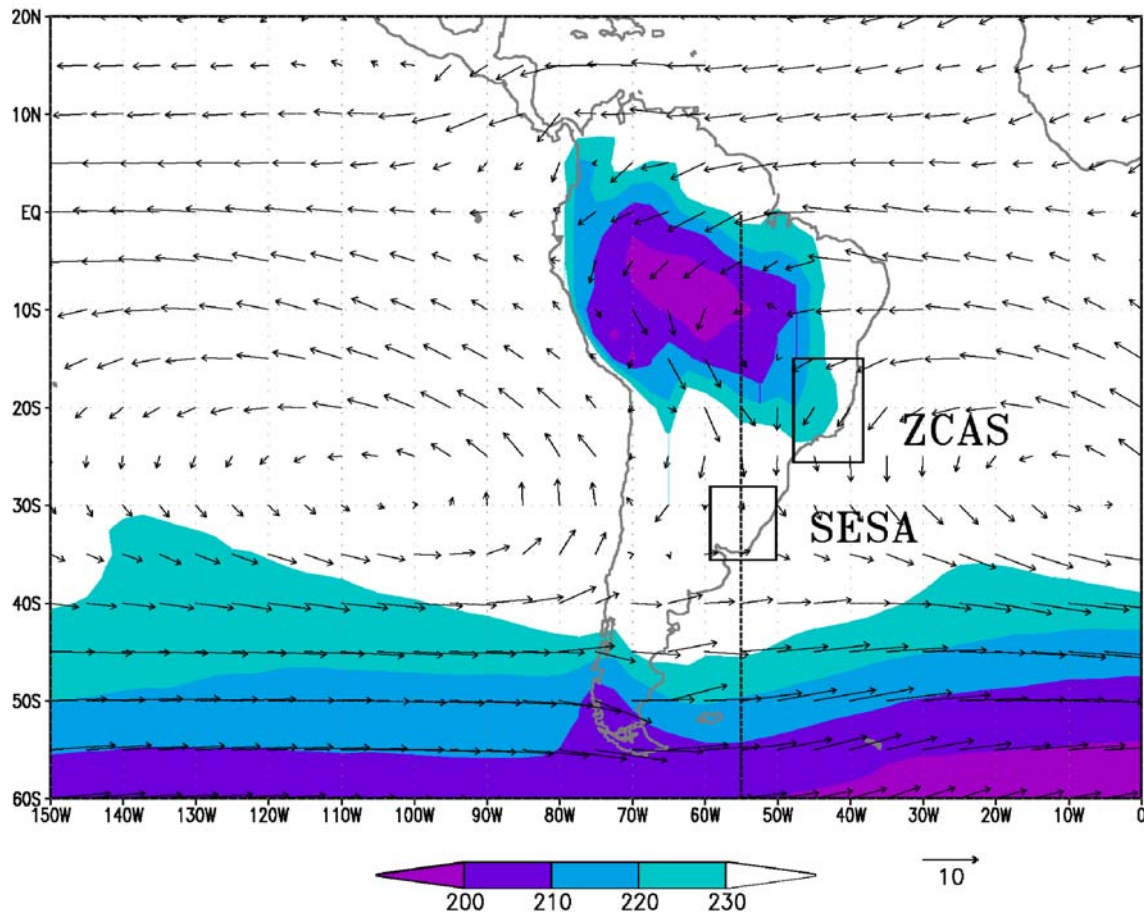


FIG. 1. Campos de viento cercano a la superficie (850 hPa) y radiación infrarroja emergente (RIE) durante octubre-marzo, 1979-1993. Se indican las regiones con RIE por debajo de 230 Wm^{-2} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en ms^{-1} . Las cajas indican áreas en SESA y sobre la ZCAS, para las cuales la RIE se promedió en base diaria. Se determinaron perfiles meridionales de la componente zonal del viento a lo largo de los 55°W , entre el Ecuador y los 60°S (línea punteada).

Los datos y metodología utilizados se describen en las Secciones 2 y 3, respectivamente. Los resultados se presentan en la Sección 4, y se discuten en la Sección 5. El estudio se concluye en la Sección 6.

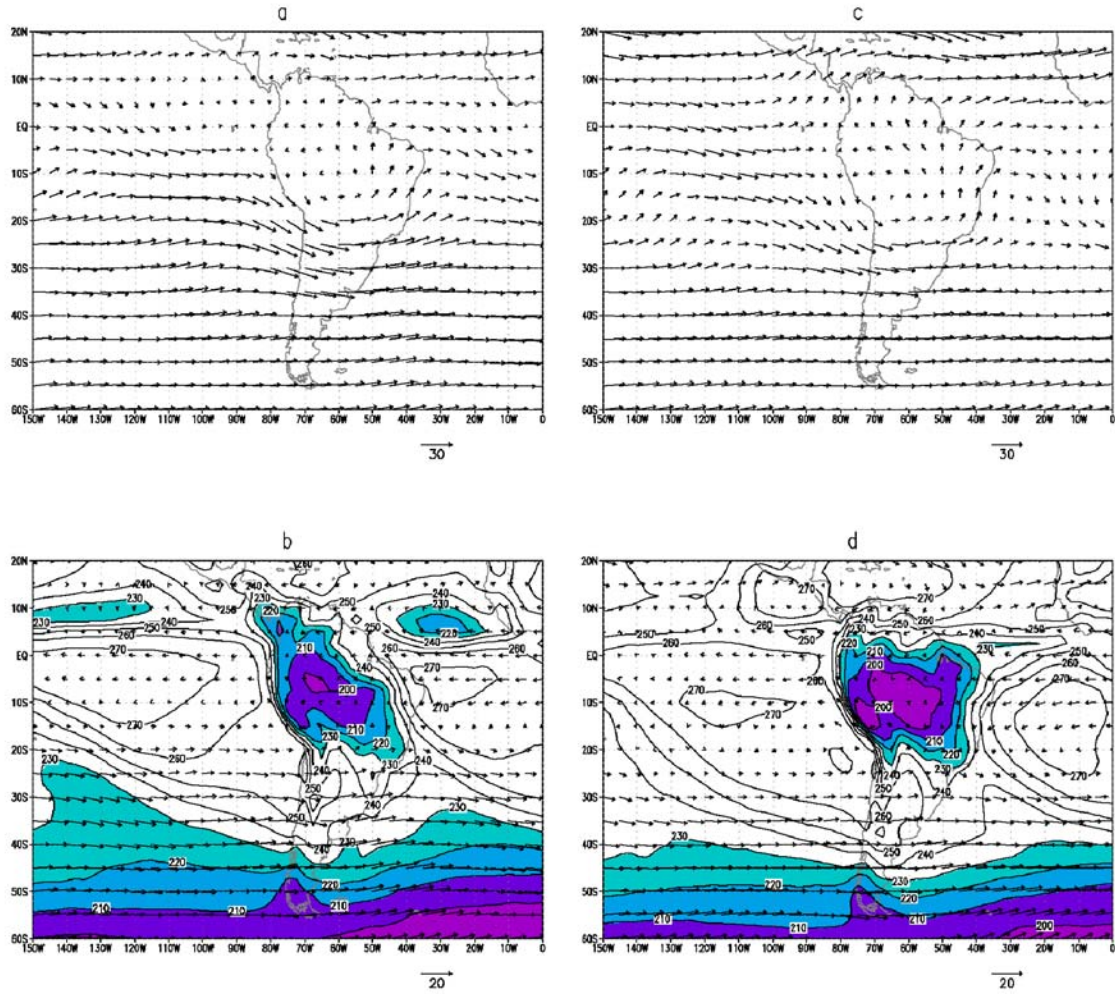


FIG. 2. Campos de RIE y vientos climatológicos en 200 hPa y 500 hPa durante la primavera (OND) y verano (EFM) australes, 1979-93: a) 200 hPa, OND; b) 500 hPa y RIE, OND; c) 200 hPa, EFM; d) 500 hPa y RIE, EFM. Las regiones sombreadas en los paneles inferiores indican RIE por debajo de 230 Wm^{-2} . Los datos de viento provienen del ECMWF.

2. DATOS.

Se utilizaron datos diarios de RIE, observados por los satélites de órbita polar de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de USA, para identificar períodos con nubosidad y precipitación intensificadas o reducidas en SESA durante el semestre del verano austral (octubre-marzo). El conjunto de datos (disponible en el Climate Prediction Center (CPC) del National Center for Environmental Prediction (NCEP) del National Weather Service (NWS) de USA) está formado por promedios registrados en pasajes diurnos y nocturnos de los satélites y está organizado en una grilla global con una resolución de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ en latitud y longitud. El subconjunto considerado en este estudio incluye un total de 2734 días durante el período 1979-1993. Liebmann y Smith (1996) realizan una completa descripción del conjunto global de datos de RIE.

Se estudiaron los patrones de anomalías de circulación atmosférica durante períodos lluviosos y secos en SESA utilizando datos de altura de geopotencial, temperatura, y componentes zonal y meridional del viento en 200, 500 y 850 hPa, extraídos de los reanálisis globales diarios preparados por el European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) para el período 1979-1993. Los datos están organizado en una grilla global con una resolución de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ en latitud y longitud. Las características de estos reanálisis se encuentran en Gibson *et al.* 1996.

Adicionalmente se analizó un corte meridional de la componente zonal del viento en 55°W , entre el Ecuador y 60°S (ver Fig. 1), para episodios lluviosos y secos en SESA con datos de viento en 8 niveles entre 1000 hPa y 100 hPa obtenidos de los reanálisis de NCEP-NCAR (NCAR es National Center for Atmospheric Research) (detalles en Kalnay *et al.*, 1996).

Se utilizaron valores diarios de lluvia de 5 estaciones de Uruguay (Tabla 1), para evaluar la calidad de los datos de RIE como indicadores de condiciones lluviosas y secas. Los datos pluviométricos provienen de la Dirección Nacional de Meteorología del Uruguay.

3. METODOLOGÍA

Se identificaron condiciones lluviosas y secas en SESA durante el semestre del verano austral (octubre-marzo) usando datos diarios de RIE promediados sobre Uruguay (Fig. 1), y datos de precipitación en 5 estaciones de Uruguay, que fueron obtenidos en una etapa avanzada del estudio (Tabla 1) para evaluar la calidad de los datos de RIE como indicadores de condiciones lluviosas y secas. Varios estudios han indicado que uno de los centros del dipolo que caracteriza los patrones de anomalías de nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur durante el verano austral está localizado sobre Uruguay (ver p. ej., Fig. 3 en Nogués-Paegle y Mo, 1997).

Se utilizó el análisis de estratificación como una herramienta básica para caracterizar las anomalías de circulación indicadas por patrones de anomalía de altura de geopotencial, viento y temperatura en la tropósfera alta, media y baja durante episodios lluviosos y secos en SESA. Considerando las diferencias en los patrones de circulación medios durante las partes inicial y final del semestre de verano (Fig. 2), el análisis de estratificación se realizó separadamente para OND y para EFM. Por otra parte, este procedimiento toma en consideración el marcado contraste en las intensidades de la señal de ENOS sobre la variabilidad interanual de la precipitación en SESA a lo largo del semestre de verano, ocurriendo la señal más fuerte durante OND (ver, p.ej. Montecinos *et al.*, 2000).

Con el fin de seleccionar episodios lluviosos y secos durante OND y EFM, se aplicó una media móvil de 11 días sobre el registro de RIE diaria promediada sobre la región elegida en SESA (ver Fig. 1), identificando períodos con RIE anormalmente baja (menos de 220 Wm^{-2}) o alta (más de 270 Wm^{-2}). Estos umbrales corresponden a los quintiles inferior y superior de la distribución, respectivamente. La longitud de la ventana (11 días) fue elegida para identificar períodos lluviosos relativamente largos, dejando de lado los cortos episodios asociados a frentes de rápido desplazamiento. Usando estos criterios generales, se seleccionaron 47 episodios lluviosos en el período 1979-1993, con 31 en OND y 16 en EFM. Asimismo se eligieron un total de 63 episodios secos durante el mismo período, con 22 en OND y 41 en EFM. En la Tabla 2 se muestra la cantidad de ocurrencias de episodios lluviosos y secos en cada uno de los meses.

TABLA 2. Número de episodios lluviosos y secos en Uruguay en los meses de octubre a marzo durante el período 1979-1993.

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Total
Episodios lluviosos	13	11	7	6	6	4	47
Episodios secos	1	5	16	21	11	9	63

Para caracterizar el dipolo en el patrón de anomalía de nubosidad convectiva, se calculó un índice diario como la diferencia de RIE estandarizada sobre una región en SESA y sobre otra región centrada sobre la ZCAS (ubicación indicada en la Fig. 1). De esta manera, un valor positivo del índice de dipolo de RIE indica convección intensificada sobre la ZCAS y debilitada sobre SESA. Recíprocamente, anomalías de nubosidad convectiva opuestas a las anteriores están asociadas a valores negativos del índice del dipolo.

4. RESULTADOS

Antes de centrarnos en las anomalías de circulación asociadas a episodios lluviosos y secos en SESA, se analizan los patrones de anomalías de RIE para caracterizar su estructura dipolar en diferentes escalas de tiempo, durante el semestre del verano austral.

4.1 Dipolo en patrones de anomalía de RIE

La Fig. 3 muestra compuestos de patrones de anomalías de RIE para OND (Fig. 3a,b,c) y EFM (Fig. 3d,e,f), correspondientes a trimestres (estaciones) particulares en que la nubosidad convectiva estuvo anormalmente intensificada o debilitada sobre SESA. Cada compuesto incluye los 3 años que definen el quintil más bajo (alto) de RIE promediado sobre Uruguay en el período 1979-1993 (ver Tabla 2a). La estructura dipolar es bien notoria. Las estaciones con convección anormalmente fuerte sobre SESA (Fig. 3a,d) se caracterizan por presentar nubosidad convectiva debilitada sobre la ZCAS, y lo contrario sucede cuando la convección sobre SESA es anormalmente débil (Fig. 3b,e). Hay algunas diferencias notorias entre la primavera y el verano en la intensidad del dipolo y también en los patrones de anomalías coherentes de RIE alrededor de la ZCAS y SESA. Específicamente, las anomalías positivas de RIE próximas a la ZCAS cubren un área mayor en EFM cuando la convección está intensificada en SESA (Fig. 3d). Asimismo, cuando prevalecen condiciones secas en SESA (Fig. 3b,e), la intensificación de nubosidad convectiva sobre la ZCAS se extiende hacia el nordeste de Brasil durante OND (Fig. 3b), mientras en EFM la porción norte de esta región presenta nubosidad convectiva por debajo del promedio (Fig. 3e).

Las diferencias entre patrones de anomalías de RIE (lluviosos – secos) en SESA (Fig. 3c,f) dan una imagen más clara de la estructura dipolar en la nubosidad convectiva en la escala estacional. No aparecen diferencias mayores entre la primavera (Fig. 3c) y el verano (Fig. 3f), aunque se percibe un contraste más nítido entre ambos centros del dipolo en este último período.

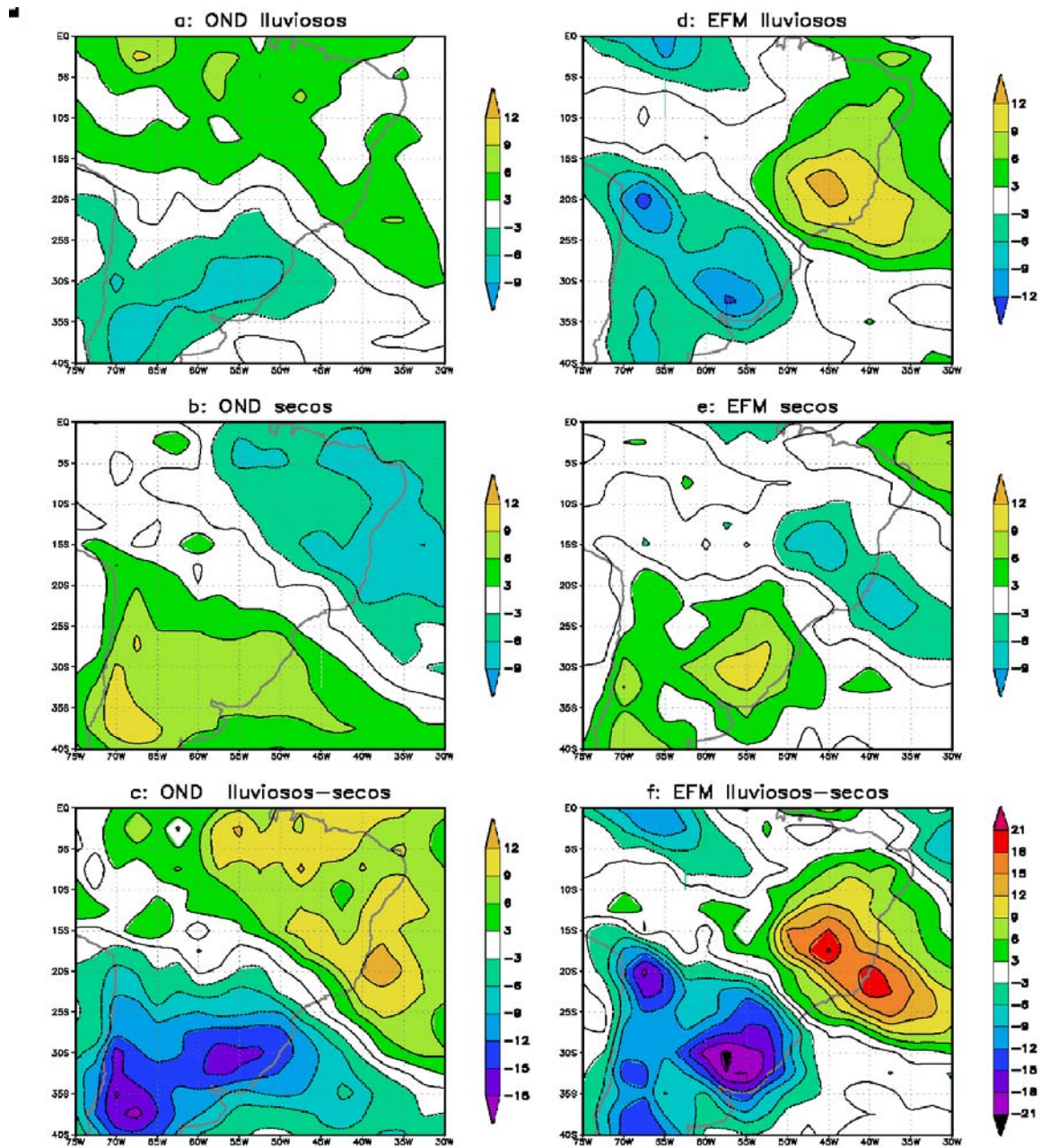


FIG. 3. Patrones de anomalía de radiación infrarroja emergente (RIE) durante períodos de 3 meses con nubosidad convectiva anormalmente intensa (paneles superiores) y débil (paneles intermedios) sobre SESA (ubicación en Fig.1). Los paneles a izquierda y derecha se refieren a OND (a,b,c) y EFM (d,e,f), respectivamente. Los paneles inferiores muestran las diferencias entre los paneles superiores e intermedios. Los compuestos se calcularon para trimestres con valores de RIE en los quintiles superior e inferior de la distribución durante 1979-93 (ref. Tabla 3a).

El leve desplazamiento hacia el noreste del eje de la banda de valores positivos en los patrones lluviosos – secos en la Fig. 3c,f sugiere que la ZCAS está más intensa y desplazada anormalmente en esa dirección cuando predominan condiciones secas en SESA, un hecho también señalado por Barros *et al.*, 2000 para diciembre-febrero. También es interesante notar que las estaciones con nubosidad convectiva intensificada o debilitada sobre SESA están caracterizadas

por anomalías del mismo signo sobre el Altiplano, particularmente sobre su sector sur (Fig. 3c,f). Esta figura también sugiere la ocurrencia de anomalías de RIE coherentes con las que aparecen sobre SESA, sobre la mayor parte de América del Sur subtropical al sur de los 25°S.

TABLA 3. Años que definen el quintil inferior (superior) de la distribución empírica de radiación infrarroja emergente (RIE) promediada sobre Uruguay (ref. Fig. 1) para: a) OND y EFM, y b) meses individuales desde Octubre a Marzo.

a) estacional	OND	EFM				
RIE baja (lluvioso)	79-80-91	81-84-90				
RIE alta (seco)	81-88-89	79-89-91				
b) mensual	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
RIE baja (lluvioso)	80, 85, 86	79, 80, 86	90, 91, 92	83, 84, 93	81, 84, 90	80, 90, 92
RIE alta (seco)	81, 82, 89	85, 88, 89	86, 88, 89	79, 82, 89	80, 89, 91	82, 83, 91

Como parte del proceso de down-scaling temporal, se aplicó la misma técnica de estratificación en escala mensual. Se promediaron patrones de anomalías de RIE para los meses individuales que definen los quintiles inferior y superior de la distribución de RIE sobre la misma región de SESA definida para el análisis estacional, en el período 1979-1993. Los patrones de diferencias de compuestos lluviosos – secos de anomalías de RIE se muestran en la Fig. 4, y los años que participan de cada compuesto se indican en la Tabla 3b.

La estructura dipolar en los patrones de anomalías de RIE mostrados en la Fig. 4 es básicamente la misma que la descrita para la escala estacional (Fig. 3). Se observa que los meses con convección (y lluvia) intensificada sobre SESA se caracterizan por nubosidad convectiva menor que lo normal sobre la ZCAS. Recíprocamente, las condiciones secas en SESA coexisten con convección por encima de lo normal sobre la ZCAS. Sin embargo, en regiones alejadas de los centros del dipolo (SESA y ZCAS), los patrones de anomalías de RIE difieren considerablemente entre un mes y otro (una causa podría ser el muestreo, ya que sólo hay 3 meses en cada compuesto). Por ejemplo, los patrones en la Fig. 4

sugieren que las anomalías de lluvia en SESA y en el sur del Altiplano tienden a tener signos opuestos durante octubre y noviembre (Fig. 4a,b), e iguales entre diciembre y marzo. Por otra parte, en SESA y el nordeste de Brasil las anomalías de nubosidad convectiva son del mismo signo durante octubre y en menor grado durante noviembre, mientras estas regiones tienen anomalías de RIE opuestas durante diciembre, febrero y marzo.

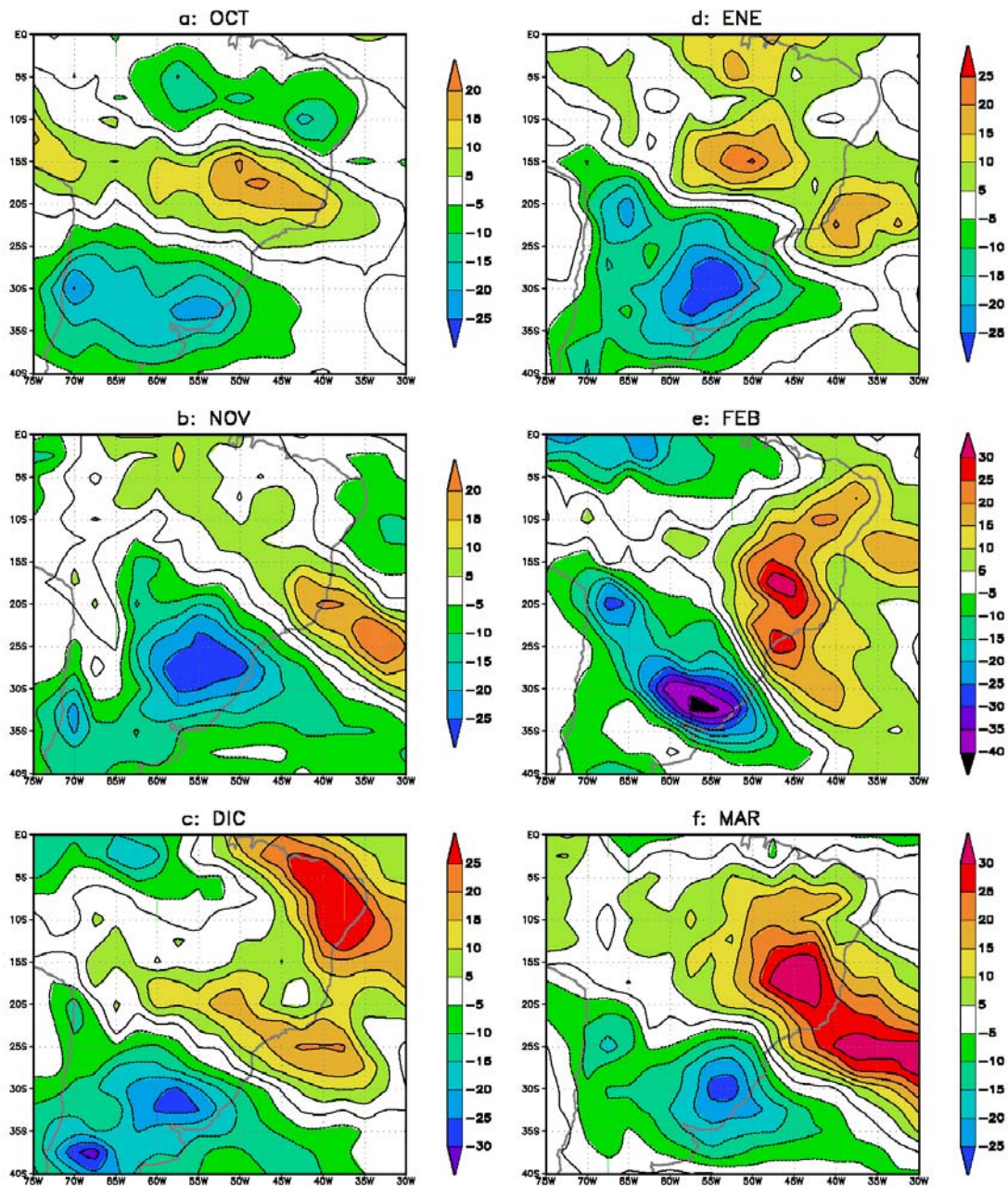


FIG. 4. Patrones correspondientes a la diferencia entre compuestos mensuales de RIE baja menos aquellos de RIE alta sobre SESA durante octubre-marzo. Los compuestos se calcularon para meses con valores de RIE en los quintiles superior e inferior de la distribución durante 1979-93 (ref. Tabla 3b).

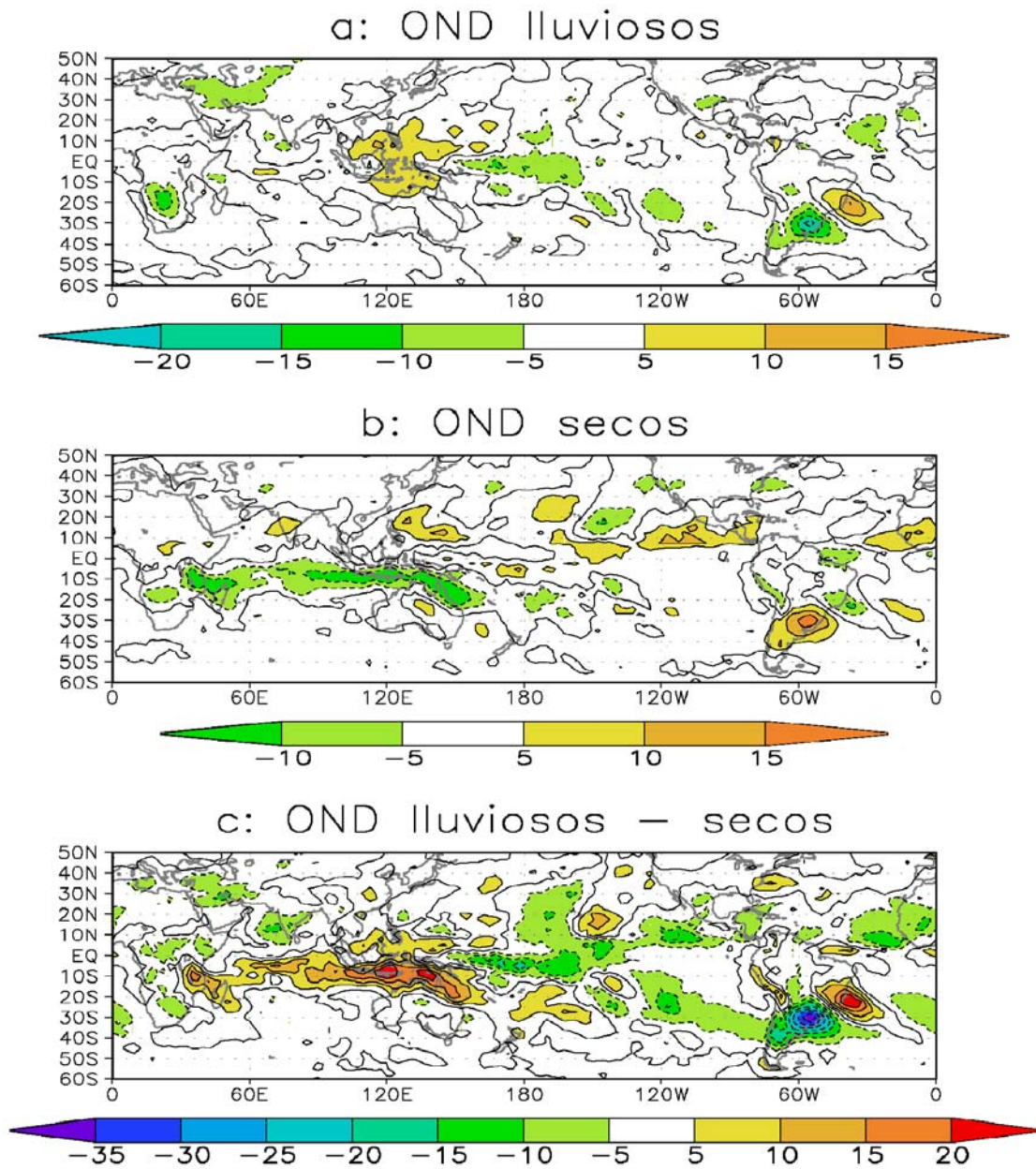


FIG. 5. Patrones de anomalía de RIE durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensa (panel superior) y débil (panel intermedio) sobre SESA (ubicación en Fig.1) durante OND. El panel inferior muestra las diferencias entre el panel superior e intermedio.

En las Figs. 5 y 6 se presentan compuestos de patrones de anomalías de RIE que caracterizan episodios de 11 días de valores de RIE anormalmente bajos y altos sobre SESA durante OND y EFM respectivamente. Los patrones de anomalía son muy similares a los ya descritos en las Figs. 3 y 4 para las escalas estacional y mensual, formando un dipolo bien definido con un centro sobre SESA y el otro sobre la ZCAS. En la escala regional, no aparecen diferencias importantes entre estos patrones en primavera y verano.

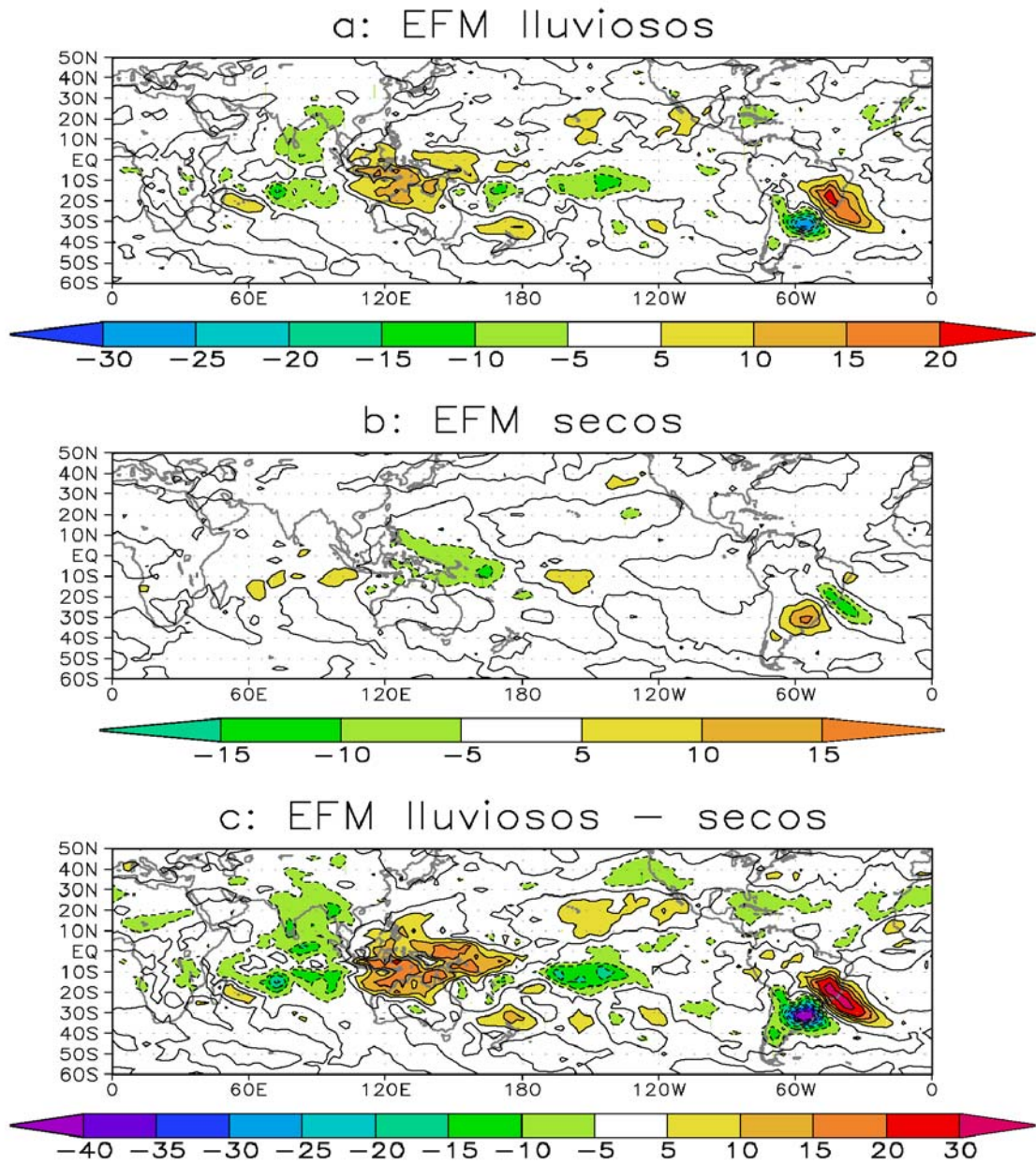


FIG. 6. Análoga a la Fig. 5, pero para EFM.

También se observa que durante los episodios de convección intensificada y reducida sobre SESA, sobre el Altiplano prevalecen anomalías de RIE opuestas durante la primavera (Fig. 5) y del mismo signo durante el verano (Fig. 6). En la escala global, se aprecia que las anomalías de RIE sobre el norte de Australia están en fase con las anomalías sobre la ZCAS. Asimismo las anomalías en el Pacífico algo al sur del Ecuador y al este de la línea de cambio de fecha tienden a estar en fase con las anomalías sobre SESA.

Los patrones anómalos de precipitación y RIE durante el período anormalmente lluvioso en Uruguay durante febrero y marzo de 2002 ilustran bien las anomalías previamente descritas. En la Fig. A2 (Anexo) se presenta la precipitación de marzo de 2002 en parte de América del Sur expresada como porcentaje de la precipitación media. En la Fig. A3 se muestran los campos observados y anomalías de RIE durante el mes de marzo del mismo año, notándose claramente la estructura dipolar en el este de América del Sur y la supresión de la convección en el centro y norte de Australia, siendo estos patrones similares a los de la Fig. 6a.

4.2 Índice de dipolo de RIE

Asociado a los patrones de anomalías de RIE (Figs. 3, 4, 5 y 6), se definió un índice diario del dipolo (ID), como la diferencia entre valores estandarizados de RIE promediados sobre SESA y sobre la ZCAS (localizaciones indicadas en la Fig. 1). La estandarización de valores diarios de RIE se efectuó con referencia a la media y desviación típica del mes específico. Valores positivos del índice indican convección intensificada (reducida) sobre la ZCAS (SESA), mientras que valores negativos indican condiciones lluviosas en SESA y una ZCAS debilitada.

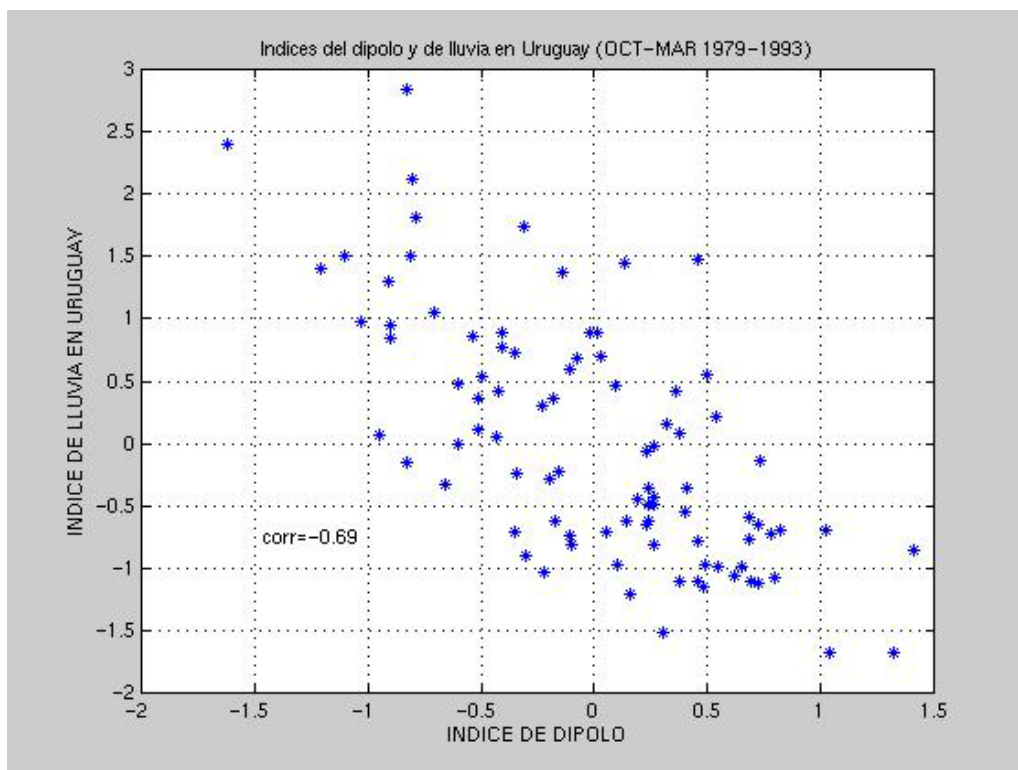


FIG. 7. Valores mensuales del índice de dipolo (ID) y de un índice de precipitaciones en Uruguay para los semestres de verano (octubre-marzo) en 1979-1993.

En la Fig. 7 se muestran conjuntamente los valores mensuales del ID y de un índice de precipitaciones en Uruguay (promedio espacial de anomalías mensuales estandarizadas para 13 estaciones pluviométricas) para los semestres octubre-marzo entre 1979 y 1993. Existe una clara tendencia a la ocurrencia simultánea de valores de ID altos y valores del índice de precipitación bajos, y viceversa. Este hecho se refleja en la magnitud relativamente elevada de la correlación entre ambos índices (-0.69). En las Figs. A4 y A5 se presentan diagramas de dispersión análogos para primavera (OND) y verano (EFM) por separado.

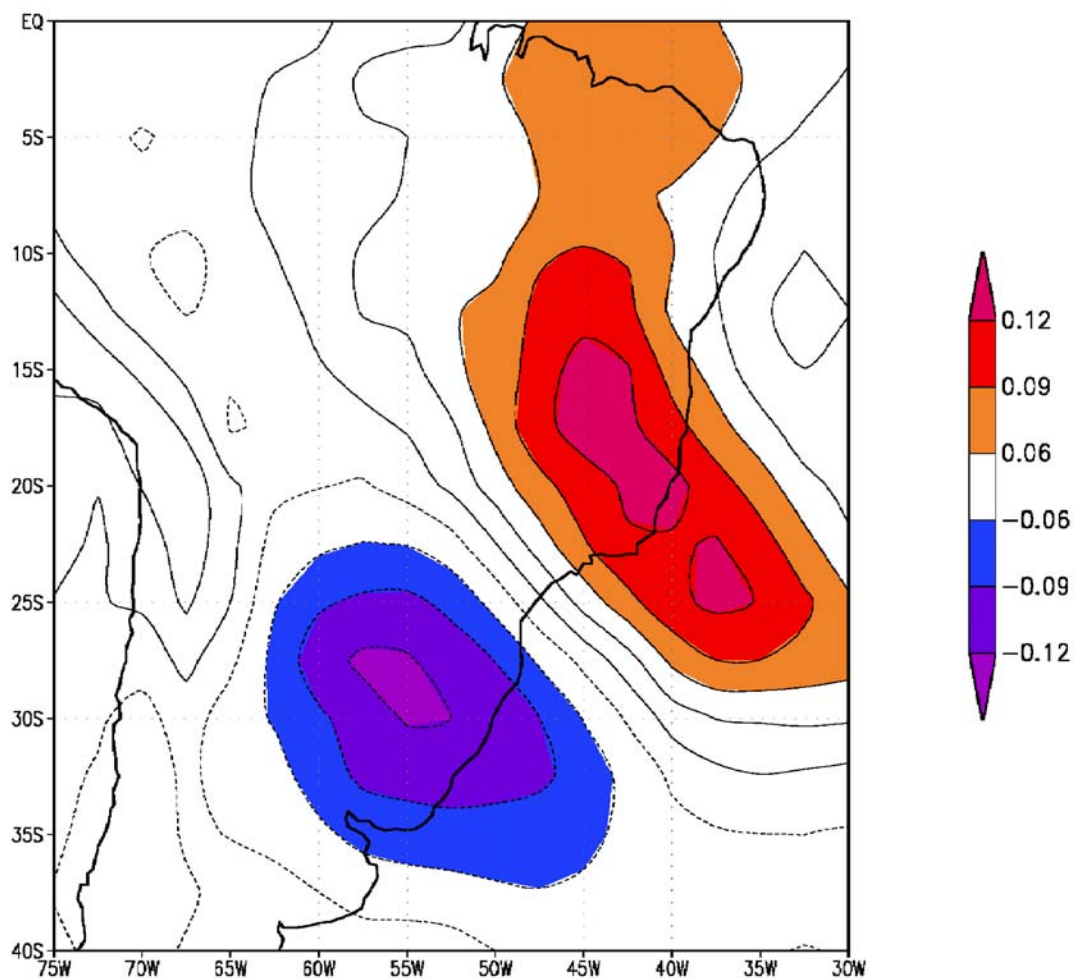


FIG. 8. Primera función ortogonal empírica de RIE diaria de octubre de 1986 a marzo de 1987 en la región indicada. El porcentaje de varianza explicada es el 14%. Los intervalos entre isolíneas son de 0.03.

A modo de ejemplo, en la Fig. 8 se presenta el patrón espacial de la primera componente principal (CP) de anomalías diarias de RIE durante el semestre 1986-87, destacando la característica estructura dipolar en nubosidad convectiva. De hecho, la primera CP tiene una correlación de +0.89 con la correspondiente

serie temporal del ID. La fuerte variabilidad intraestacional del ID durante semestres de verano específicos se ve claramente en los promedios mensuales del ID presentados en la Tabla 4. En algunos casos, como durante las temporadas de 1983-84 o 1990-91, hubo un claro contraste estacional entre condiciones en primavera (OND) y verano (EFM). En otros casos, como en 1981-82, hubo una variabilidad relativamente grande de mes a mes durante el semestre entero.

TABLA 4. Valores mensuales del índice del dipolo, para el semestre del verano austral (Octubre-Marzo) de 1979 a 1993. Los valores superiores a +/- 1.0 están destacados. Valores anormalmente altos (bajos) del índice indican una convección anormalmente desarrollada sobre la ZCAS (SESA).

Semestre	Oct.	Nov.	Dic	Ene.	Feb.	Mar.
1978-79				1.04	0.82	0.14
1979-80	-0.11	-0.60	-0.51	0.49	0.41	-1.03
1980-81	-0.90	-0.43	0.30	0.03	-0.95	0.38
1981-82	1.32	0.78	-0.23	0.68	-0.60	1.41
1982-83	0.26	-0.66	0.23	0.32	-0.08	0.69
1983-84	0.36	0.54	0.68	-1.21	-1.62	-0.17
1984-85	-0.41	0.05	0.48	1.02	-0.10	0.46
1985-86	-0.18	0.26	0.10	-0.50	0.24	-0.51
1986-87	-0.71	-0.83	0.62	-0.20	0.24	0.01
1987-88	-0.30	0.19	-0.02	-0.80	0.40	-0.14
1988-89	0.55	0.46	0.26	-0.22	0.65	-0.16
1989-90	0.16	0.50	0.09	-0.83	-0.79	-1.10
1990-91	-0.11	-0.41	-0.91	0.26	0.80	0.72
1991-92	-0.35	0.24	-0.81	0.73	0.23	-0.34
1992-93	0.72	0.46	-0.42	-0.90	0.38	-0.35
1993-94	-0.31	-0.54	0.13			

4.3 Anomalías de circulación regional

En las Figs. 9 y 10 se presentan compuestos de anomalías de circulación durante los episodios de 11 días de convección intensificada y reducida sobre SESA durante OND y EFM, incluyendo patrones de altura de geopotencial y vientos en 200 hPa y 500 hPa, y de temperatura y vientos en 850 hPa.

La significancia estadística de estos campos de anomalías se evaluó para la región $60^{\circ}\text{S} - 20^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{W} - 360^{\circ}\text{W}$ (35x61 puntos de grilla) mediante un método de Monte Carlo, que se describe a continuación.

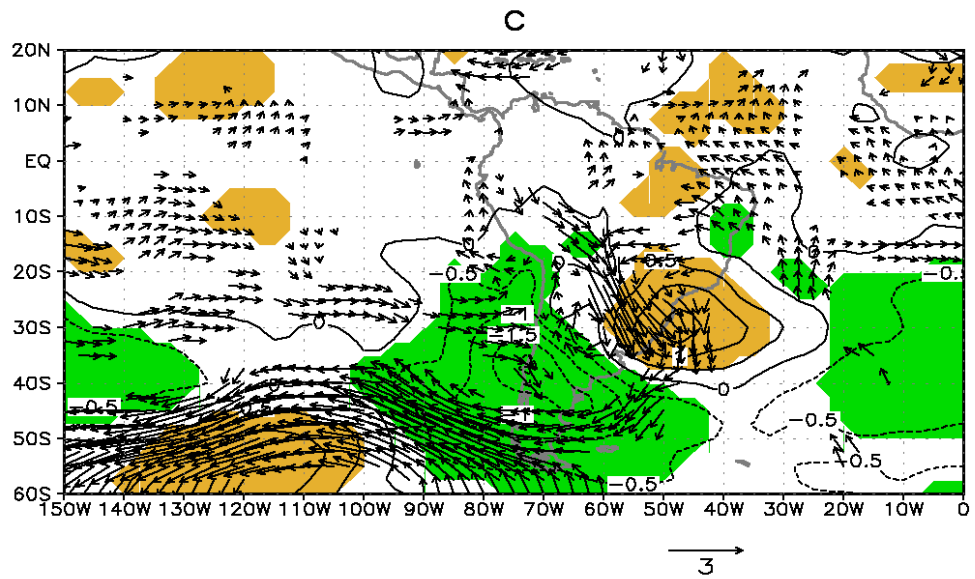
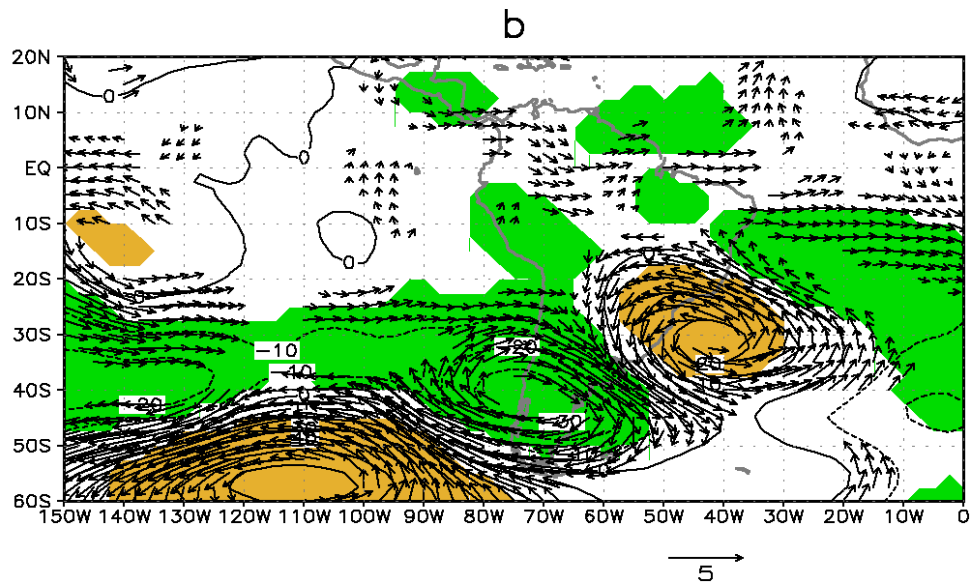
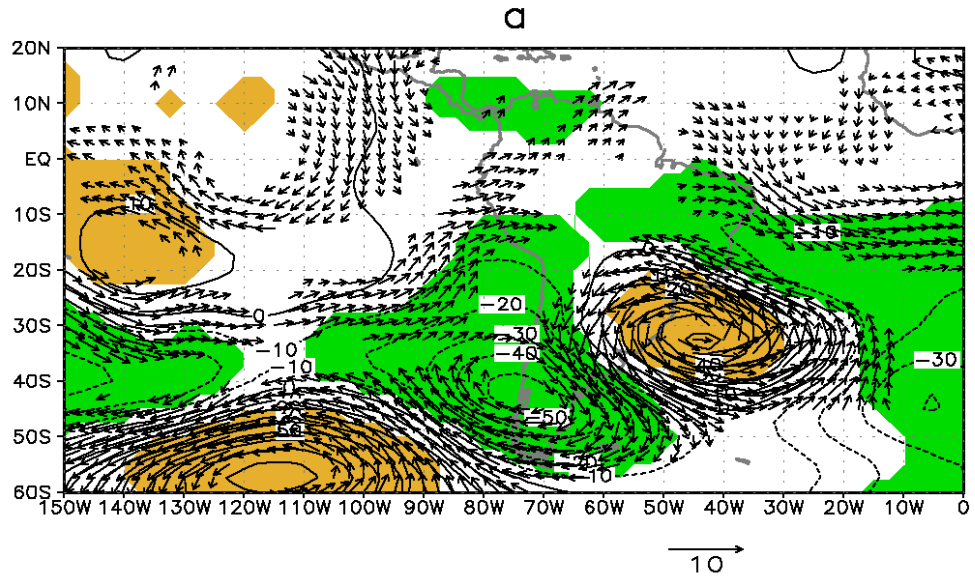
Para los campos de anomalías correspondientes a una condición anormalmente lluviosa en SESA (Figs 9a,b,c y 10a,b,c,), se identificaron en forma aleatoria 47 períodos de 11 días consecutivos, teniendo la precaución de que la ocurrencia de los meses a que pertenecían dichos períodos tuviera una distribución de frecuencia similar a la que tienen los meses a que pertenecen los 47 eventos lluviosos que se muestran en la Tabla 2. Luego para cada uno de los periodos de 11 días seleccionados al azar, se calculó el promedio de la anomalía, descontando en cada punto de grilla el valor medio climatológico para el mes correspondiente. Finalmente se promediaron todos los campos de anomalías en el periodo octubre-diciembre y enero-marzo. Este proceso se repitió 300 veces, obteniendo así otros tantos campos de anomalías, que resultan de una selección al azar de periodos de 11 días. Se tiene entonces en cada punto de grilla una muestra aleatoria de 300 anomalías, a la que se le determinaron en forma empírica los percentiles 2.5% y 97.5%. A partir de esta información, para cada punto de grilla se consideró como estadísticamente significativo el valor de la anomalía promedio durante los periodos lluviosos, si ésta era inferior al valor del percentil 2.5% o superior al del percentil 97.5%. Se procedió en forma análoga para los campos de anomalías correspondientes a la ocurrencia de una condición seca (Figs 9d,e,f y 10d,e,f) pero generando, en cada experimento de Monte Carlo, 63 períodos elegidos al azar, con una duración de 11 días cada uno. En las Figs. 9 y 10 se indican con color amarillo y verde los puntos de grilla donde se alcanzó el nivel de significancia antes indicado, para las anomalías positivas y negativas, respectivamente. En el caso del viento, se aplicó el mismo test para las anomalías

de las componentes zonal y meridional, indicándose en las Figs. 9 y 10 la magnitud y dirección de la anomalía del viento sólo en aquellos puntos de grilla donde se alcanzó este nivel de significancia en al menos una de las dos componentes.

Las anomalías de circulación asociadas a episodios de convección intensificada sobre SESA durante OND y EFM (Figs. 9a,b,c y 10a,b,c) son, en general, opuestas a las que ocurren durante episodios de nubosidad convectiva reducida sobre esta región (Figs. 9d,e,f y 10d,e,f). Ambas situaciones se caracterizan por una estructura tipo onda cuasi-barotrópica con regiones de anomalías de altura de geopotencial positivas y negativas, extendiéndose desde latitudes medias en el Pacífico Sur hacia América del Sur subtropical.

La convección intensificada sobre SESA durante la primavera (OND, Fig. 9a,b,c) se caracteriza por un núcleo bien definido de anomalías positivas de altura de geopotencial cuasi-barotrópica centradas sobre el Atlántico subtropical, cerca de los 30°S hacia el este de SESA. Este patrón está acompañado de una anomalía de circulación anticiclónica sobre una gran porción de América del Sur subtropical en 200 hPa y 500 hPa. Las anomalías negativas de altura centradas alrededor de 40°S sobre la parte oeste del continente explican la presencia de un vórtice ciclónico en el campo de anomalía de vientos alrededor de esta región. Más aguas arriba, se desarrollan anomalías positivas de altura sobre el Pacífico sudoriental (centradas sobre 58°S, 115°W). Este patrón y la anomalía de circulación anticiclónica asociada en toda la columna de la tropósfera, que tiene el típico aspecto de un bloqueo de latitudes medias, es coherente con un debilitamiento significativo de los vientos del oeste en latitudes medias en el Pacífico Sur (40°S-60°S).

FIG. 9. Anomalías de circulación para compuestos de episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensificada (a, b, c) y debilitada (d,e,f) sobre SESA durante OND. Los paneles superiores e intermedios muestran anomalías de altura de geopotencial y vientos en 200 hPa y 500 hPa, respectivamente. En los paneles inferiores se presentan anomalías de temperatura y viento en 850 hPa. El sombreado indica significancia estadística al nivel del 95% para los campos de anomalías de altura y temperatura según un test de Monte Carlo. Las anomalías de viento se muestran en puntos de grilla donde un nivel de significancia estadística del 95% es alcanzado por una de las dos componentes del viento. Las unidades son m, ms⁻¹ y °C. Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.



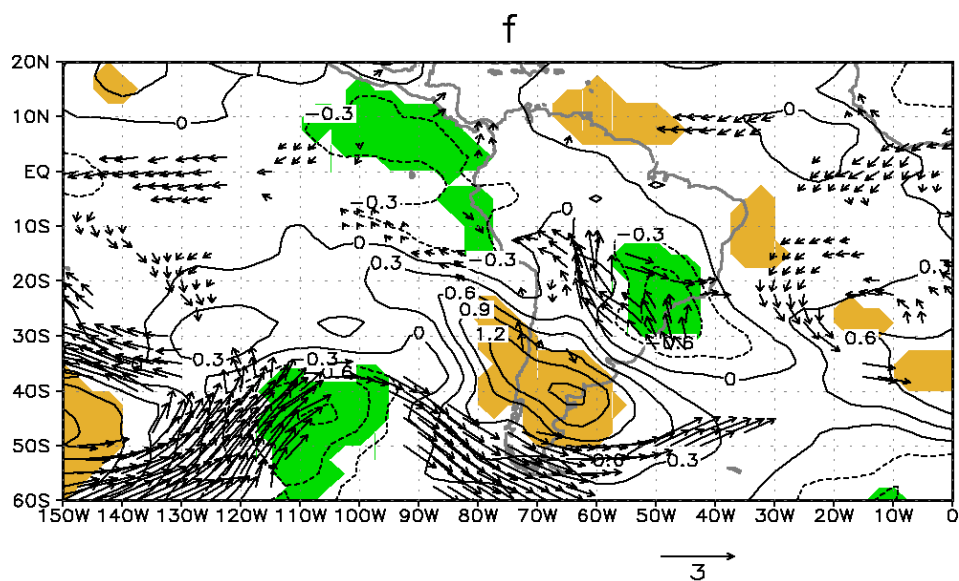
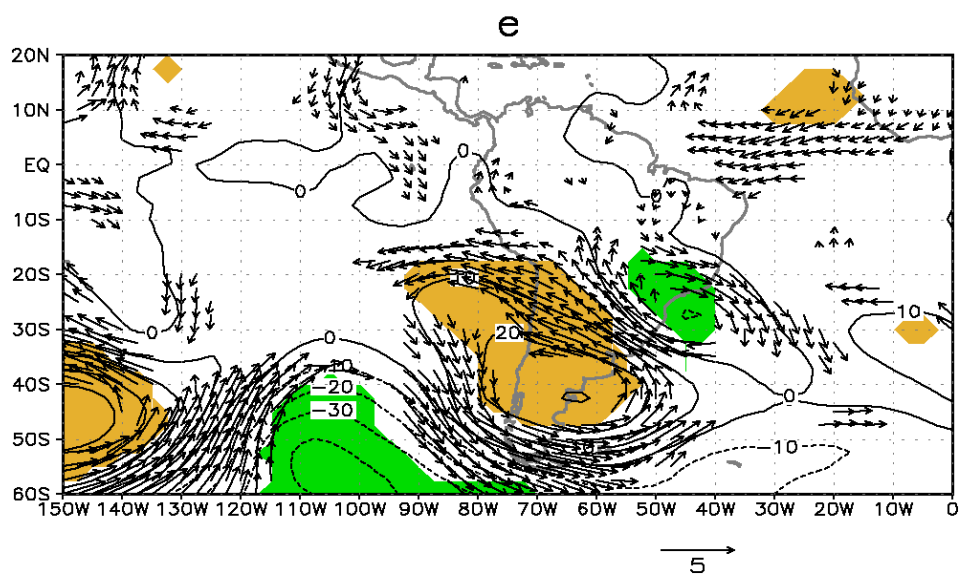
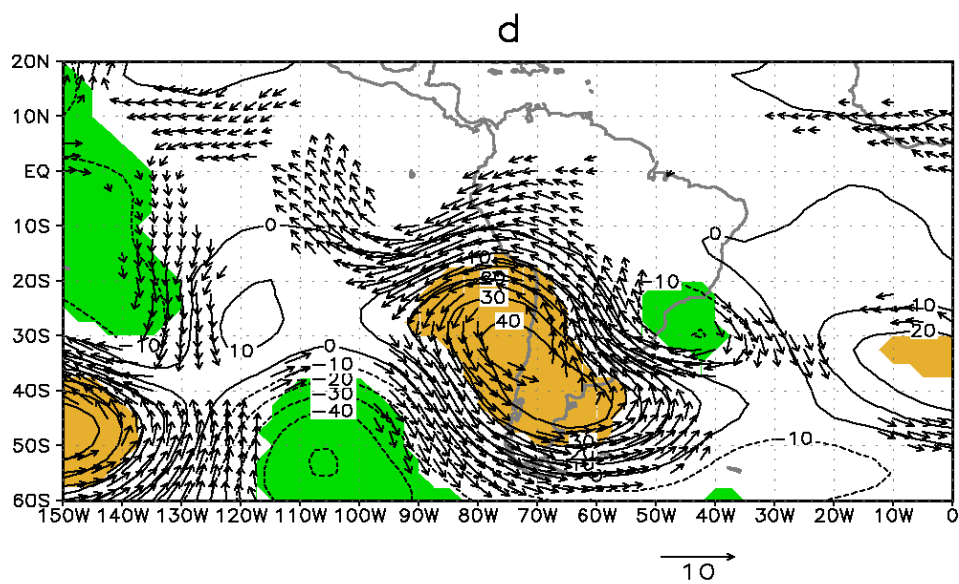


FIG. 9. (Continuación).

Las anomalías positivas de altura de geopotencial en el Pacífico sudoriental ocurren en la región que presenta la máxima actividad de bloqueo en el Hemisferio Sur (60°S , 120°W), como lo documentan Sinclair (1996) y Renwick y Revell (1999). Al mismo tiempo, predominan vientos del oeste intensificados en altura sobre el Pacífico subtropical. Sobre el continente, aparece un contraste entre las anomalías positivas de altura en la región entre SESA y la ZCAS y las anomalías negativas en el sector sur del continente, que favorece una corriente en chorro subtropical anormalmente fuerte (cuya posición media se indica en la Fig. 2).

Cerca de la superficie (Fig. 9c) los vientos del NW intensificados aportan aire cálido y húmedo de la cuenca amazónica a la región de convección acentuada sobre SESA, contribuyendo al desarrollo de una corriente en chorro de bajo nivel relativamente fuerte a lo largo del flanco oriental de los Andes centrales. Este patrón es consistente con una baja del Chaco profundizada en el NW de Argentina, como se manifiesta por la presencia de anomalías negativas de altura en 850 hPa sobre esta región en los compuestos correspondiente a episodios de convección intensificada sobre SESA (no mostrado). Además, la anomalía de circulación ciclónica cuasi-barotrópica asociada a un núcleo frío sobre el extremo sur del continente durante estos episodios es consistente con las anomalías negativas de temperatura en 850 hPa (y en superficie) que caracterizan estos compuestos (Fig. 9c).

Los patrones de anomalías de circulación durante episodios de convección intensificada en SESA durante el verano (Fig. 10a,b,c) exhiben aproximadamente las mismas características que las ya descritas para primavera (Fig. 9a,b,c). Específicamente, la estructura dipolar claramente definida en los patrones de anomalía de RIE, junto con nubosidad convectiva mayor que el promedio sobre SESA y una ZCAS debilitada (Fig. 6a), se asocian a una gran anomalía de circulación anticiclónica de núcleo cálido (Fig. 10a,b,c) centrada entre ambas regiones (alrededor de 34°S - 45°W), que cubre la mayor parte del SE del continente. La estructura tipo onda cuasi-barotrópica en latitudes medias es muy similar a la descrita para la primavera, aunque se observan algunas diferencias en la posición de las anomalías negativas de altura cerca del extremo sur del

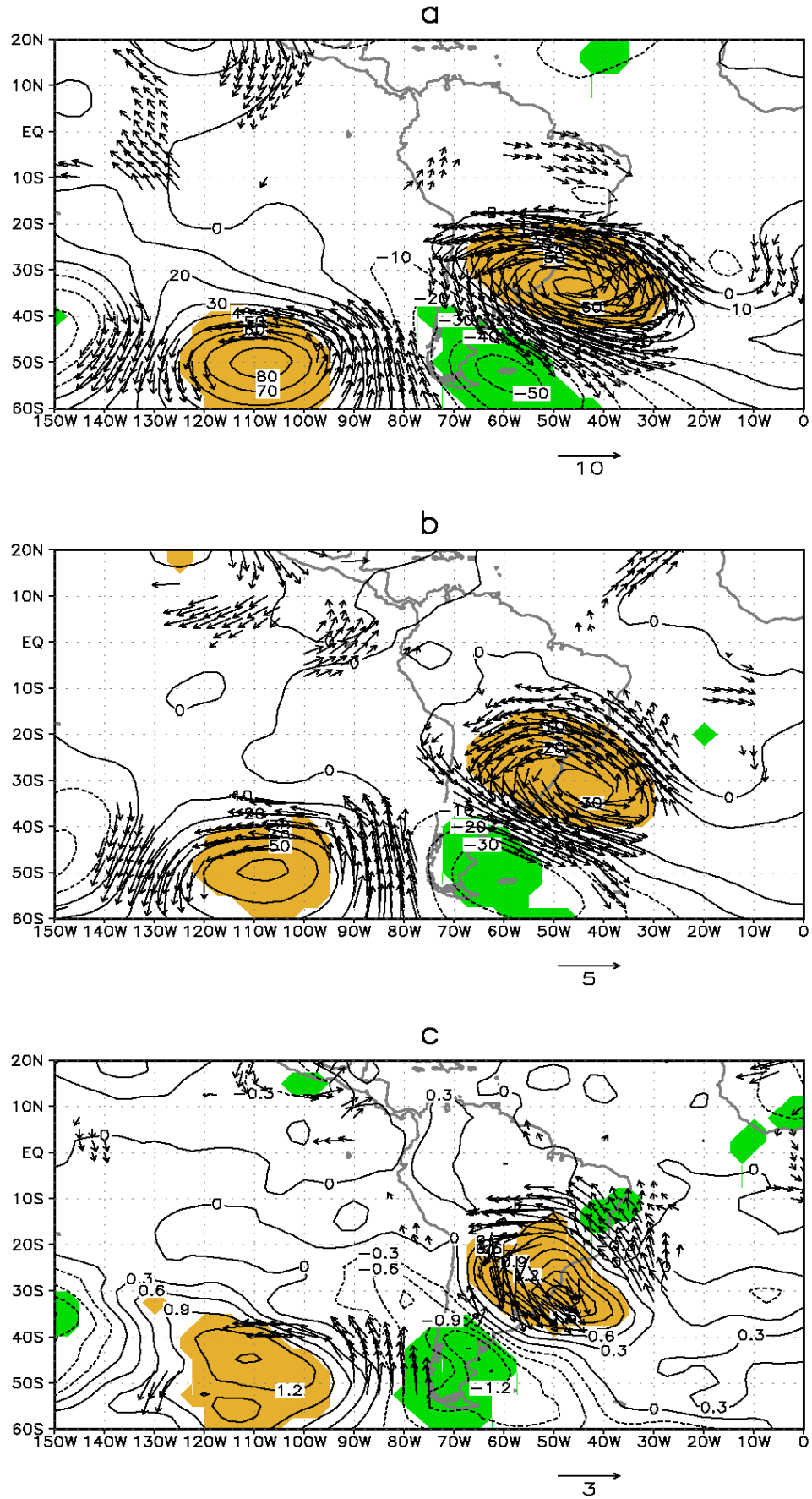


FIG. 10. Análoga a la Fig. 9, pero para EFM

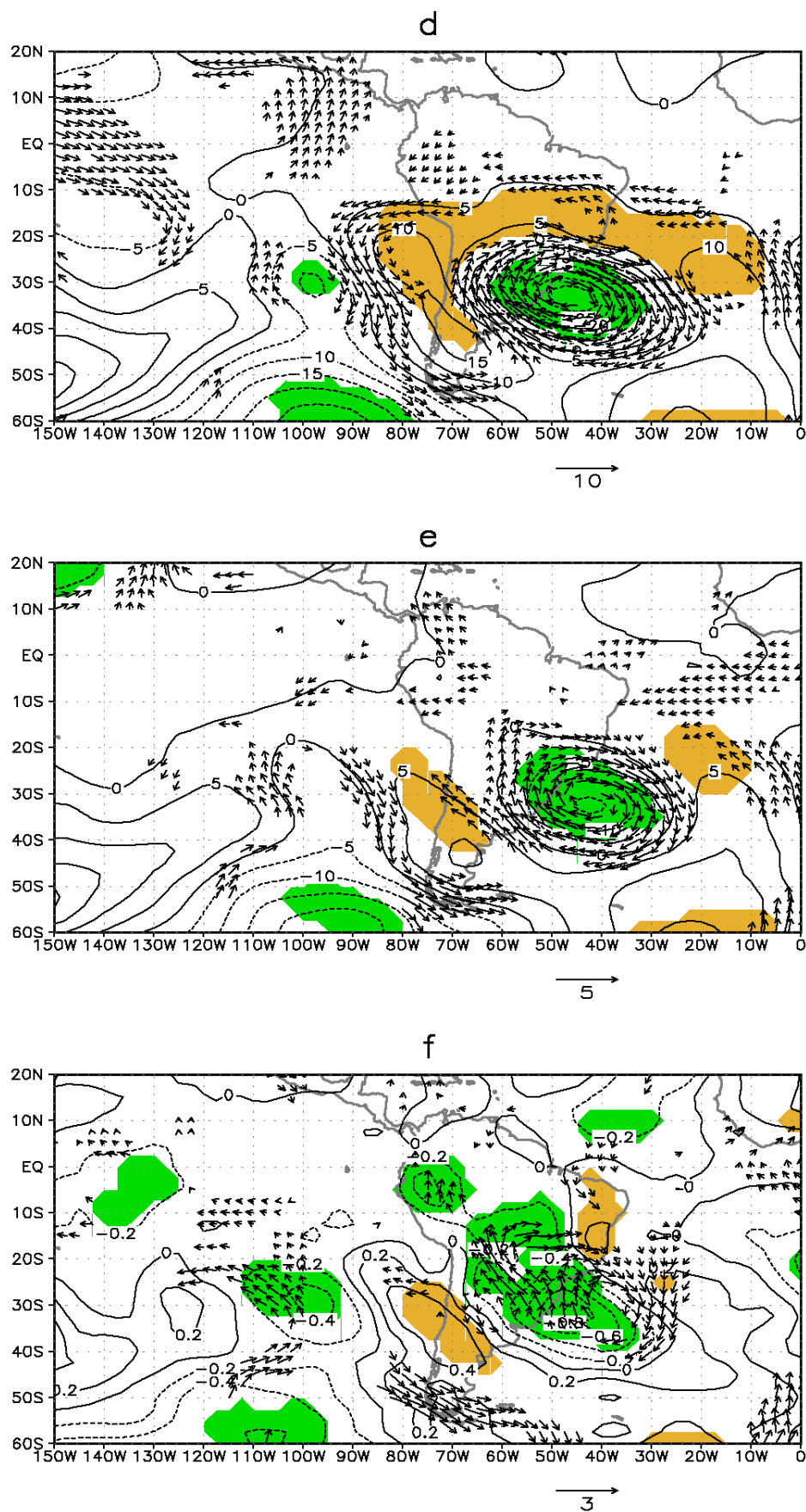


FIG. 10. (Continuación)

continente, que en verano están centradas en el Atlántico sudoccidental adyacente. Asimismo, las anomalías positivas de altura, que favorecen la formación de cuñas y bloqueos en el Pacífico sudoriental, están centradas algo más al norte (50°S) que en la primavera. La baroclinicidad intensificada entre los sectores subtropical y extratropical del continente, visible en los campos de anomalía de temperatura y altura presentados en la Fig. 10a,b,c, es coherente con un jet subtropical incrementada y con una intensificación generalizada de los vientos del oeste entre 30°S y 35°S , al igual que en primavera. Cerca de la superficie, las anomalías positivas de altura en 850 hPa sobre el NW de Argentina y en la región entre la ZCAS y SESA, son consistentes con una ZCAS debilitada. En forma similar a lo descrito para primavera, la anomalía de circulación anticiclónica asociada favorece una advección intensificada de aire cálido y húmedo hacia SESA desde la cuenca amazónica. La situación media descrita anteriormente para condiciones lluviosas en SESA fue observada durante un período anormalmente húmedo en marzo de 2002. Específicamente, en las Figs. A6 y A7 se muestran los campos y anomalías de vientos globales en 200 y 850 hPa durante marzo de 2002.

En primavera y verano, las anomalías de circulación regional durante episodios de 11 días con convección suprimida sobre SESA son esencialmente opuestas a las descritas para episodios de convección intensificada. En primavera (Fig. 9d,e,f), una anomalía de circulación ciclónica con un núcleo frío relativamente pequeño y débil sobre la ZCAS reemplaza a la anomalía de circulación anticiclónica dominante observada durante los episodios de convección intensificada en SESA. Por otra parte, la parte sur del continente está bajo la influencia de una gran anomalía de circulación anticiclónica cuasi-barotrópica con núcleo cálido que ejerce un efecto de bloqueo sobre el flujo de los vientos del oeste. Este hecho, en combinación con las anomalías negativas de altura en el Pacífico SE, es coherente con la ocurrencia de vientos del oeste intensificados en latitudes medias.

Las anomalías de circulación durante episodios secos en SESA en el verano se presentan en la Fig. 10d,e,f. Sobre la región comprendida entre la ZCAS y SESA, los compuestos muestran anomalías negativas de altura de geopotencial y de

circulación ciclónica relativamente más fuertes que las observadas durante episodios secos en SESA en primavera (Fig. 9d,e,f). Las anomalías positivas de altura sobre la porción sur del continente son considerablemente más débiles en el verano (Fig. 10d,e,f) que en primavera. Los patrones anómalos de circulación también incluyen anomalías cuasi-barotrópicas de altura positivas y negativas centradas aproximadamente en 60°S-95°W y 50°S-150°W, respectivamente. Cerca de la superficie, las anomalías de temperatura predominantes sobre SESA son consistentes con la advección de masas de aire relativamente frío y seco del sur, como lo sugiere el campo de anomalías de viento en la columna troposférica completa (Fig. 10d,e,f).

4.4 Corriente en chorro subtropical sobre SESA

Las anomalías positivas de lluvia en SESA se han relacionado con una corriente en chorro (jet) subtropical intensificada, particularmente durante episodios El Niño (Kousky *et al.*, 1984). El jet subtropical cruza sobre la región sudeste de América del Sur (ver Fig. 2), y los patrones de circulación anómalos presentados en las Figs. 9 y 10 sugieren modificaciones significativas en la intensidad del jet durante episodios lluviosos y secos en SESA. Para documentar en mayor detalle estos cambios, se calcularon compuestos de 11 días de perfiles meridionales de la componente zonal del viento troposférico en 55°W (ver Fig. 1) para episodios de convección intensificada y debilitada sobre SESA durante primavera y verano, usando los reanálisis de NCEP (Fig. 11). El jet subtropical es, en promedio, considerablemente más fuerte en primavera que en verano. De hecho, durante la primavera se observan velocidades mayores que 30 ms^{-1} entre 28°S y 38°S (Fig. 11c), mientras en verano los vientos del oeste son considerablemente más débiles sobre esta banda latitudinal (Fig. 11f).

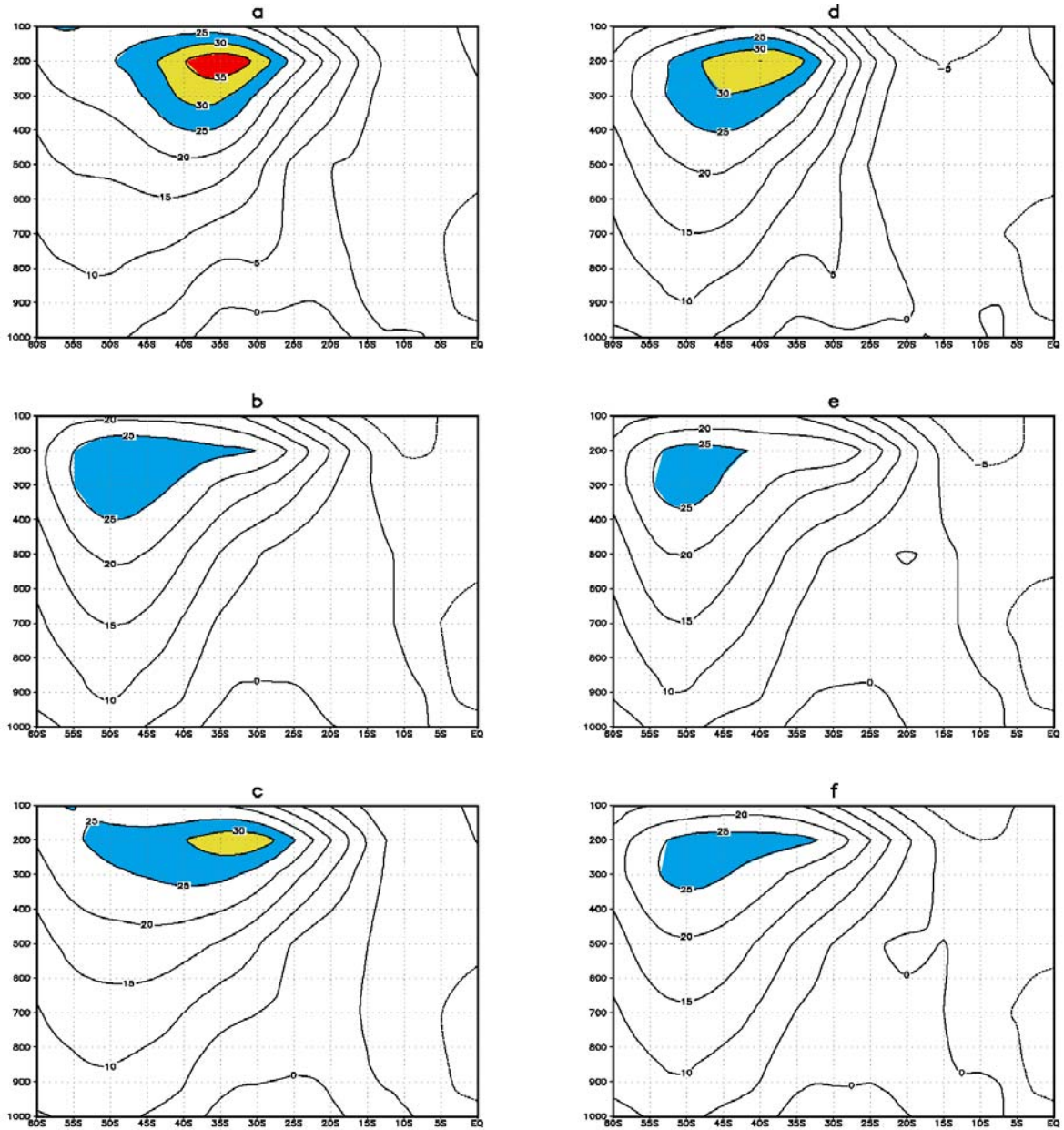


FIG. 11. Perfil meridional de la componente zonal del viento en 55°W (ref. Fig. 1), para OND (izquierda) y EFM (derecha), durante 1979-93, correspondiente a los compuestos de episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensa (panel superior) y débil (panel intermedio) sobre SESA. Se presenta la climatología en los paneles inferiores. Los datos de viento provienen de NCEP.

Durante episodios de convección intensificada sobre SESA en primavera y verano, el jet subtropical está anormalmente intenso, superando los 35 ms^{-1} en primavera y los 30 ms^{-1} en verano (Fig. 11a,d), permaneciendo aproximadamente en su posición climatológica. Los episodios de convección reducida están asociados a vientos del oeste debilitados en la latitud climatológica del jet subtropical, donde no se observa una estructura de jet (Fig. 11b,e).

4.5 Anomalías de circulación durante condiciones El Niño y no – El Niño

Varios estudios han documentado una asociación significativa entre ENOS y la variabilidad interanual de la precipitación, observándose la ocurrencia de condiciones relativamente lluviosas (secas) durante episodios El Niño (La Niña), especialmente durante la primavera (Ropelewski y Halpert, 1987, 1989; Pisciottano *et al.*, 1994; Montecinos *et al.*, 2000). Para evaluar las diferencias entre los patrones regionales y globales de anomalías de RIE para episodios lluviosos y secos en SESA durante situaciones El Niño y no – El Niño, se promediaron un total de 12 (11) episodios lluviosos (secos) (de 11 días cada uno) para los semestres de verano (octubre-marzo) de los eventos El Niño de 1982-83, 1986-87 y 1991-92 (Fig. 12). En conjunto, los resultados en la Fig. 12 indican que el patrón dipolar de anomalías de RIE en el este de América del Sur es un rasgo prominente durante los semestres de verano, estén o no asociados a ocurrencias de eventos El Niño.

En las Figs. A8 a A13 se presentan los compuestos de anomalías durante episodios de 11 días lluviosos y secos para octubre-marzo de situaciones El Niño y no – El Niño para vientos y altura de geopotencial en 200 y 500 hPa, y vientos y temperaturas en 850 hPa, donde se observa en general una mayor amplitud en las anomalías para los casos de ocurrencia de eventos cálidos.

Es interesante notar una zona de anomalías positivas consistentes de RIE cerca del extremo norte de Australia durante la fase del dipolo coincidente con convección intensificada sobre SESA, tanto durante años El Niño como no - El Niño (Fig. 12a,b). Además, en la otra fase del dipolo (convección reducida sobre SESA), predominan anomalías negativas de RIE en la misma región (norte de Australia) independientemente de la ocurrencia de El Niño (Fig. 12c,d), aunque esta señal es relativamente más fuerte durante casos no – El Niño (Fig. 12d), durante los cuales las anomalías negativas de RIE predominan sobre todo el continente marítimo. Estos resultados son particularmente relevantes en relación con las sugerencias sobre la existencia de una conexión entre la Oscilación de Madden-Julian (OMJ) y la intensidad de la ZCAS (Casarin y Kousky, 1986; Kiladis y Weickmann, 1992; Nogués-Paegle y Mo, 1997, Lenters y Cook, 1998).

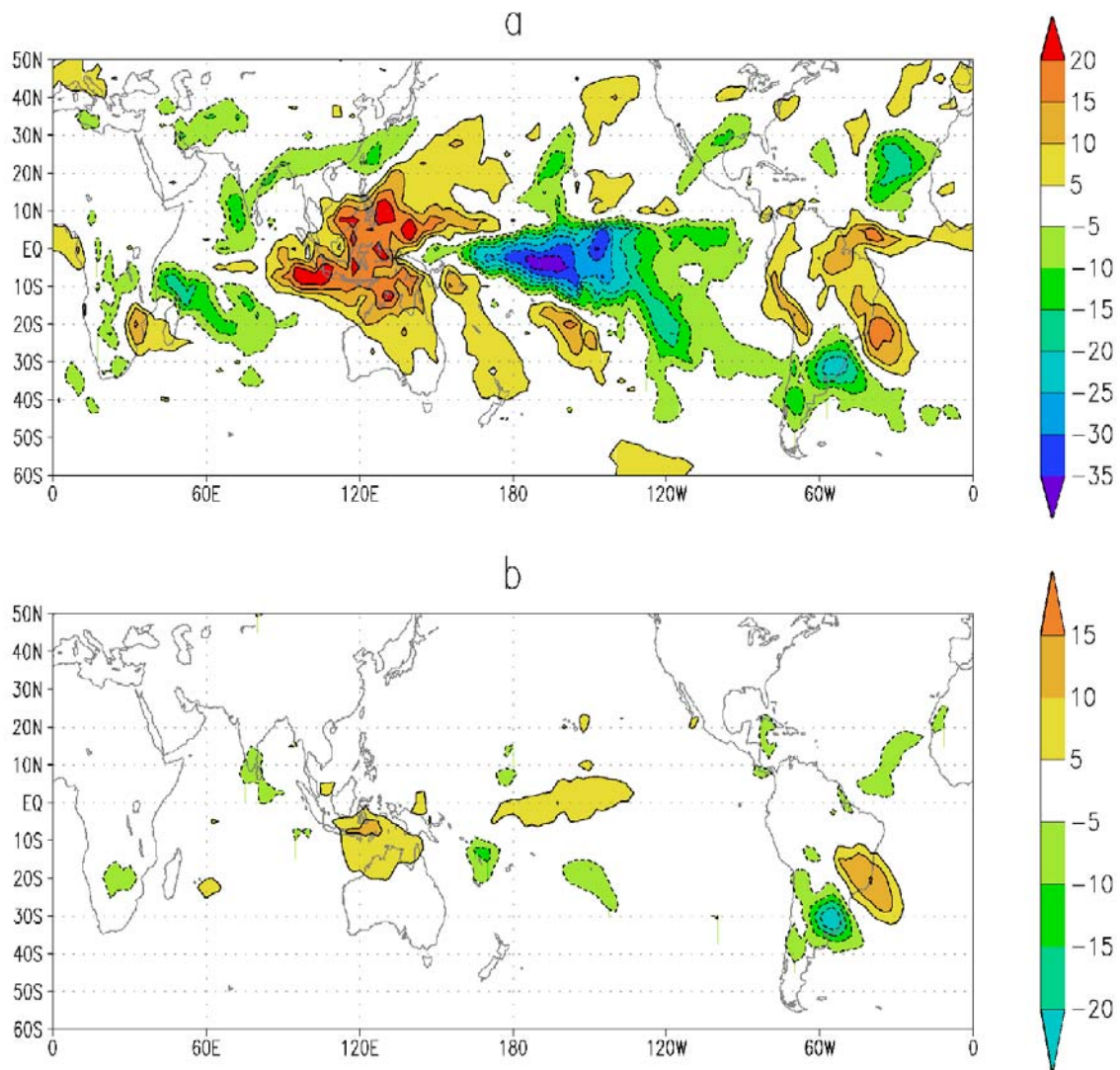


FIG. 12. Patrones de anomalía de RIE durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensificada (a,b) y debilitada (c,d) sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años.

En este sentido, los resultados en la Fig. 12 sugieren que los períodos persistentes de convección intensa o debilitada alrededor del norte de Australia podrían modular parcialmente el dipolo de nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur. Así, los episodios de convección intensificada (debilitada) alrededor de 12°S, 135°E en el norte de Australia parecen estar asociados a una ZCAS anormalmente fuerte (débil) y nubosidad convectiva debilitada (intensificada) sobre SESA.

En la conexión supuesta de la OMJ con la intensidad de la ZCAS, y con el dipolo en el patrón de anomalías de RIE sobre el este de América del Sur, el patrón de teleconexión cuasi-barotrópica tipo onda en el Pacífico extratropical, ligando la

región ecuatorial en el norte de Australia con América del Sur subtropical podría jugar un papel relevante.

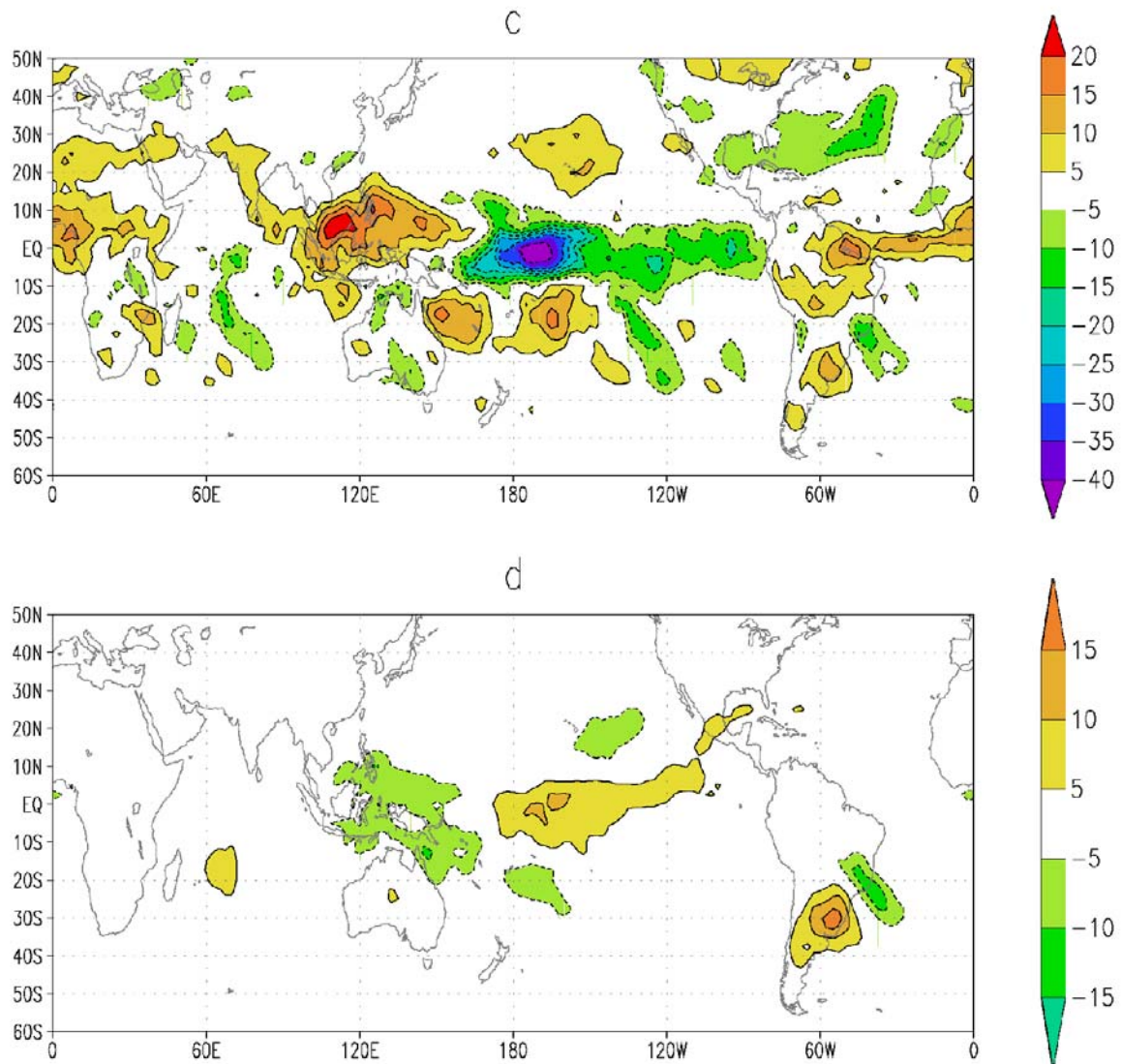


FIG.12. (Continuación)

Este tema es objeto de intenso estudio por otros investigadores (p. ej., Cazes y Pisciotano, 2000). Los compuestos globales de anomalías de altura de geopotencial en 200 hPa para episodios de 11 días de convección intensificada y reducida sobre SESA durante octubre-marzo son ilustrativos a este respecto (Fig. 13). Los compuestos de convección acentuada sobre SESA (Fig. 13a) se caracterizan por la alternancia de anomalías positivas y negativas que se extienden hacia el sudeste desde el norte de Australia hacia el Pacífico sudoriental llegando hasta 55°S – 115°W y luego hacia la zona subtropical del este de América del Sur. Cuando

predominan condiciones secas en SESA, el patrón global de anomalías en 200 hPa es esencialmente opuesto al descrito para episodios lluviosos (Fig. 13b).

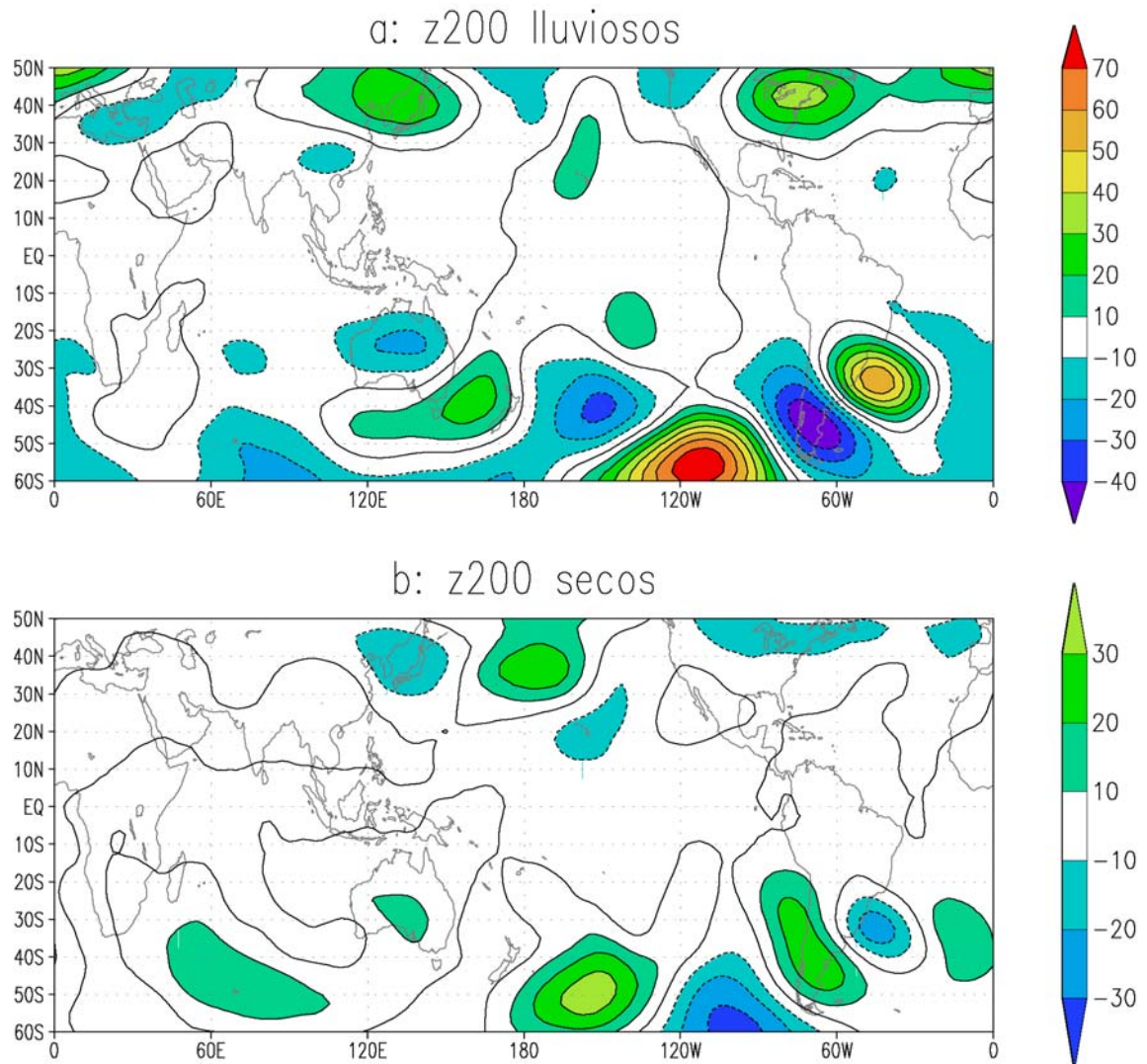


FIG. 13. Anomalías de altura de geopotencial en 200 hPa para compuestos sobre episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensa (a) y débil (c) sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93.

5. DISCUSIÓN

Los episodios lluviosos y secos en SESA se relacionan estrechamente con la existencia de un patrón dipolar en el campo de anomalías de nubosidad convectiva sobre el sector oriental de América del Sur tropical y subtropical. Este tiene un impacto significativo sobre la variabilidad atmosférica en un amplio rango de escalas, que va desde la sinóptica a la interanual, y quizá mayores. Las anomalías de circulación ligadas a este dipolo se vinculan en esta sección a los resultados de varios estudios previos sobre anomalías de circulación atmosférica en América del Sur (Casarin y Kousky 1986; Kalnay *et al.* 1986; Kousky y Kayano 1994; Nogués-Paegle y Mo 1997; Lenters y Cook 1999; Liebmann *et al.* 1999; Robertson y Mechoso 2000; Salio *et al.* 2000, y Li y Le Treut 1999).

La estructura dipolar de nubosidad convectiva en el este de América del Sur durante el verano austral fue presentada en primera instancia por Casarin y Kousky (1986), quienes detectaron correlaciones negativas significativas entre anomalías de RIE en períodos de 15 días sobre el sur de Brasil y sobre la ZCAS. Su “índice de seca” para el sur de Brasil, definido como la diferencia de anomalías de RIE entre ambas regiones durante octubre-marzo es similar al índice de dipolo de RIE definido en este trabajo, con la diferencia que para éste se seleccionó una región centrada sobre Uruguay como el núcleo sur del dipolo. Para el período común 1979-1985 sus episodios secos en el sur de Brasil coinciden en su gran mayoría con los episodios secos en SESA del presente estudio. Así, su patrón de anomalías de RIE para condiciones secas en el sur de Brasil es muy similar al que aquí se documenta para episodios de convección débil sobre SESA (Figs. 5b y 6b). Además, las anomalías de circulación ciclónica en niveles troposféricos medios y altos sobre SESA y el océano Atlántico adyacente durante episodios de convección debilitada sobre SESA (Fig. 9d y particularmente 10d) son también rasgos típicos descritos por estos autores para condiciones secas en el sur de Brasil (ver su Fig. 5b). También son relevantes para esta discusión los resultados de Aceituno y Montecinos (1997), que muestran que los patrones regionales de anomalías de RIE correspondientes a promedios de 5 días de convección intensificada (debilitada) sobre SESA exhiben signos opuestos sobre esta región y la ZCAS.

Kalnay *et al.* (1986) estudiaron las anomalías de circulación global asociadas a una fuerte onda estacionaria sobre el este de América del Sur durante enero de 1979, caracterizada por una anomalía de circulación ciclónica en 200 hPa sobre SESA y el océano Atlántico adyacente, y convección anormalmente fuerte (débil) sobre la ZCAS (SESA). Esta situación persistente, que estos autores asociaron a una intensa Zona de Convergencia del Pacífico Sur, tuvo todas las anomalías de circulación regional aquí descritas para episodios de nubosidad convectiva incrementada sobre la ZCAS y condiciones secas sobre SESA. De hecho, el ID de RIE tomó valores mayoritariamente positivos durante enero de 1979, con un valor promedio cercano a +1.0 (Tabla 4).

Kousky y Kayano (1994) identificaron modos principales de circulación para el sector de América del Sur (20°N-50°S, 10°-100°W), aplicando un análisis combinado de funciones ortogonales empíricas (FOE) a los valores de pentadas de anomalías de RIE y de anomalías del viento en 250 hPa (componentes zonal y meridional), en el período 1979-91. Los datos fueron filtrados para estudiar modos tanto en escalas de tiempo interanuales como intraestacionales, considerando el año entero. El dipolo en nubosidad convectiva y las anomalías asociadas de circulación en la alta tropósfera sobre el este de América del Sur presentados aquí, aparecen en su tercera componente combinado de FOE no rotadas de la serie de tiempo filtrada con pasabajo (usada para determinar los modos principales de variabilidad interanual). Además, ese modo sugiere una asociación entre nubosidad convectiva por encima de lo normal sobre SESA y el desarrollo de anomalías anticiclónicas en la alta tropósfera sobre esta región y el océano Atlántico adyacente, lo cual es confirmado por los resultados presentados aquí. Los autores relacionan este modo con desplazamientos en la posición de la ZCAS. Su estudio también reveló la existencia de modos principales de variabilidad intraestacional de RIE y vientos en 250 hPa que son similares a los aquí asociados con condiciones húmedas y secas sobre SESA.

Los patrones de anomalías de circulación descritos en la sección anterior para las dos fases del dipolo en nubosidad convectiva concuerdan con los presentados por Nogués-Paegle y Mo (1997), quienes aplicaron un análisis de FOE rotadas a las anomalías de pentadas de RIE filtradas, en la región 40°S-40°N, 180°-20°E,

durante veranos australes (15 noviembre - 15 marzo) desde 1974/75 a 1992/93. Específicamente, la diferencia entre patrones de altura en 200 hPa y de vientos en 850 hPa para ambas fases de la oscilación, presentada en su Fig. 9, muestran los mismos rasgos distintivos descritos en este estudio para episodios de nubosidad convectiva incrementada y reducida sobre SESA (Figs. 9 y 10). También mencionan el aporte de humedad desde los trópicos a SESA como un factor clave para la ocurrencia de convección y lluvia intensificadas en esta región.

Basados en un análisis de FOE aplicado a medias móviles de 5 días de altura de geopotencial en 200 hPa sobre América del Sur tropical y subtropical y los océanos Pacífico y Atlántico adyacentes, durante los veranos (DEF) desde 1985 hasta 1993, Lenters y Cook (1999) identificaron los 5 primeros modos de variabilidad, que explican el 77% de la varianza total. El patrón espacial de su tercera componente de FOE (su Fig. 4c), caracterizado por una anomalía de circulación anticiclónica alrededor de los 30°S sobre la costa este de América del Sur, es muy similar a los patrones de anomalía en 200 y 500 hPa descritos aquí para episodios lluviosos y secos en SESA (Figs. 9 y 10a). Ellos asocian este modo de circulación a cambios en la intensidad y posición de la ZCAS. También vale mencionar que los patrones de correlación entre esta componente de FOE y el viento, la humedad y la temperatura en 850 hPa son altamente coherentes con los patrones de anomalía en la baja tropósfera aquí descritos para episodios de convección fuerte o débil sobre SESA (Figs. 9c,f y 10c,f). Específicamente, los valores positivos de su tercera componente de FOE se asocian con: humedad sobre SESA (la ZCAS) por encima (debajo) de lo normal; anomalías de viento del norte (sur) sobre la parte subtropical del continente al este de los Andes, y anomalías de temperatura positivas (negativas) sobre SESA (la ZCAS).

Liebmann et al. (1999) identificaron patrones de anomalías de circulación durante DEF asociados a la variabilidad submensual de la intensidad de la ZCAS, haciendo regresiones de RIE filtrada con pasa-altos sobre la región 20°-30°S, 40°-30°W (sobre el eje de la ZCAS) vs. RIE y otros parámetros en una grilla global. Su Fig. 6 muestra un marcado dipolo en nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur, aunque el centro sur del dipolo se localiza algo más al norte que

el del presente estudio. Las anomalías de circulación ciclónica (anticiclónica) en la alta tropósfera documentadas en ese trabajo cuando la convección está por encima (debajo) de lo normal sobre la ZCAS (su Fig. 4c) son comparables a los descritos aquí para episodios de nubosidad convectiva deprimida (intensificada) sobre SESA (Figs. 9a,d y 10a,d). El contraste entre temperatura en superficie por encima de lo normal en la zona sur del continente y anomalías de temperatura negativas en latitudes más bajas a lo largo de la costa del Atlántico indicado en su Fig. 9c cuando la convección está intensificada sobre la ZCAS, es también similar al patrón de anomalías de temperatura aquí encontrado en 850 hPa cuando la nubosidad convectiva es débil sobre SESA (Figs. 9f y 10f).

Aplicando un análisis de FOE a los reanálisis mensuales de NCEP durante EFM en el período 1958-97, Robertson y Mechoso (2000) concluyeron que la variabilidad de la circulación interanual sobre el sur de América del Sur está dominada por un vórtice barotrópico equivalente centrado en la región entre la ZCAS y SESA, que muestra una rotación ciclónica cuando la ZCAS está intensificada. Esta estructura, que ellos interpretaron como una onda de Rossby estacionaria forzada localmente, es básicamente la misma que las indicadas en las Figs. 9 y 10, para episodios de convección intensificada y reducida sobre SESA durante la primavera y el verano.

Los episodios de convección intensificada sobre SESA son favorecidos por la advección de masas de aire relativamente cálidas y húmedas del NW (Figs. 9c y 10c). De hecho, la corriente en chorro (jet) de bajo nivel a lo largo del flanco este de los Andes centrales y el flujo asociado de aire cálido y húmedo del NW hacia las planicies de América del Sur subtropical están también estrechamente ligados a las anomalías de circulación regionales durante períodos lluviosos en SESA (ver por ejemplo Nogués-Paegle y Mo, 1997). En un estudio de caso, Salio *et al.* (2000) analizaron la frecuencia del jet de bajo nivel durante dos meses dispares en cuanto a las anomalías de lluvias. Durante enero de 1985 la ZCAS estuvo anormalmente fuerte y se observó un déficit de lluvia en SESA (el ID de RIE fue +1.02), mientras en enero de 1988 la ZCAS estuvo relativamente débil y prevalecieron anomalías positivas de lluvia en una porción subtropical del continente que incluye a SESA (el ID de RIE fue -0.80). El incremento de la

frecuencia de ocurrencias del jet de bajo nivel durante este último mes es consistente con las condiciones típicas descritas en este estudio para la fase negativa del dipolo, es decir flujo de bajo nivel troposférico del NW intensificado a lo largo del lado este de los Andes (Fig. 10c).

Los patrones regionales y de gran escala de las anomalías de circulación durante eventos lluviosos en SESA muestran marcadas similitudes con los asociados a episodios de intenso transporte de humedad en dirección sur hacia América del Sur subtropical, como los descritos por Li y Le Treut (1999). Específicamente, ellos mostraron que estos episodios durante DEF coinciden con una ZCAS débil y convección intensificada sobre SESA. Adicionalmente, la estructura tipo onda tropical-extratropical que documentan para el campo de anomalías de altura en 300 hPa durante eventos de intenso transporte de humedad hacia el sur es muy similar a las aquí descritas para los campos de anomalías de alturas de 500 y 200 hPa durante episodios de lluvia en SESA (Figs. 9a,b, 10a,b y 13a). Vinculado a este asunto, varios estudios han mostrado que anomalías de circulación regional similares a las aquí descritas para las dos fases del dipolo en nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur durante el verano austral, son parte de una estructura tipo-onda de gran escala en el Hemisferio Sur, como las presentadas en la Fig. 13 (Nogués-Paegle y Mo 1997; Liebmann et al. 1999; Li y Le Treut 1999; y Robertson y Mechoso 2000).

También son relevantes para este tema los resultados de Kiladis y Weickmann (1992), Grimm y Silva Dias (1995), y Cazes y Pisciotano (2000) centrados en el impacto de la convección tropical intensificada sobre la circulación extratropical.

La posible influencia de la oscilación de Madden-Julian (OMJ) sobre el funcionamiento del dipolo en nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur no fue encarado en este estudio. Sin embargo, varios estudios mencionan este asunto, particularmente en relación con variaciones en la intensidad y posición de la ZCAS (Casarin y Kousky 1986; Kousky y Cavalcanti 1988; Grimm y Silva Dias 1995; Nogués-Paegle y Mo 1997). Son particularmente relevantes a esta discusión los patrones globales de circulación en la alta tropósfera asociados a períodos de convección intensificada sobre los dos centros de acción de las

fluctuaciones de RIE de la OMJ (Kiladis y Weickmann, 1992). Los mismos están caracterizados por anomalías tipo onda en 200 hPa en la región del Pacífico sur extratropical y sobre el este de América del Sur. Estos autores muestran que la convección intensificada en uno de los centros, ubicado en la región ecuatorial próxima a los 90°E, está asociada con alturas en 200 hPa por encima (debajo) del promedio sobre la ZCAS (SESA), mientras ocurren anomalías de altura opuestas cuando se observa convección intensificada en el otro centro localizado en la región ecuatorial alrededor de los 150°E. También son interesantes para esta discusión los compuestos de RIE presentados por Ferranti *et al.* (1990) para las fases extremas de la OMJ. Ellos muestran que la ZCAS tiende a estar anormalmente débil cuando el núcleo de convección intensa está ubicado en la banda ecuatorial de 110°E a 150°E. Por otra parte, la ZCAS tiende a estar reforzada durante la fase de la OMJ caracterizada por convección suprimida o débil sobre esta banda.

La oscilación en nubosidad convectiva y lluvia descrita aquí y en anteriores estudios sugieren la existencia de una estructura similar en los regímenes hidrológicos sobre el este de América del Sur. Este contraste en la respuesta hidrológica está parcialmente documentado por Robertson y Mechoso (1998), en la escala de tiempo interdecadal. Una selección cuidadosa de cuencas dentro de las regiones de la ZCAS y SESA debería dar una señal más clara del dipolo en los caudales de los ríos en las escalas de tiempo interanual e intraestacional.

6. CONCLUSIONES

La ocurrencia de periodos lluviosos y secos en SESA durante el semestre de verano (Oct-Mar) está fuertemente condicionado por las fases de un dipolo dominante el campo de anomalías de nubosidad convectiva sobre la región este de América del Sur (10°S - 40°S). Una de las fases de este dipolo, ya descrito en varios estudios anteriores, se caracteriza por convección y precipitación intensificadas a lo largo de la ZCAS, junto con convección y lluvias por debajo del promedio sobre el sector sudeste del continente (SESA), que incluye al sur del Brasil, Uruguay, y las planicies del nordeste y centro de Argentina. Condiciones opuestas a éstas caracterizan a la otra fase del dipolo, destacándose lluvia intensificada en SESA y una ZCAS debilitada.

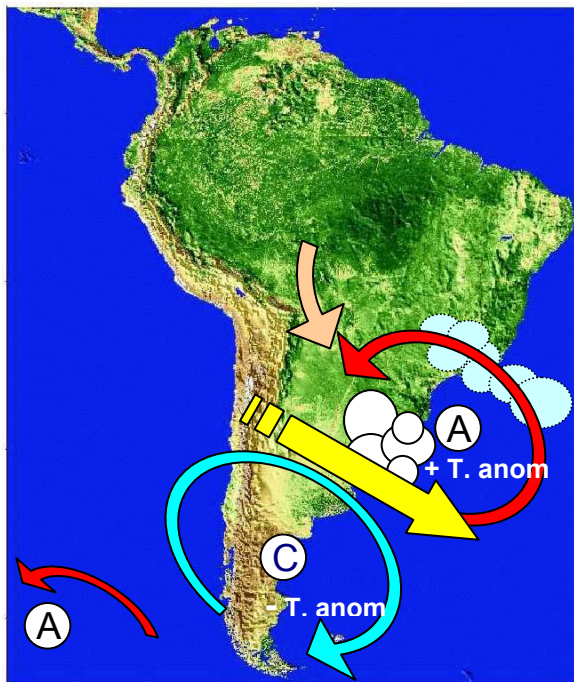
Las principales anomalías de circulación regional asociadas a la ocurrencia de nubosidad convectiva intensificada y reducida sobre SESA basadas en el análisis de compuestos de 11 días se indican en la Fig. 14, y se detallan a continuación:

6.1 Convección intensificada sobre SESA

- Convección debilitada sobre la ZCAS.
- Anomalía de circulación anticiclónica de núcleo cálido en la tropósfera media y alta, centrada sobre el Atlántico aproximadamente en 34°S – 45°W , que se extiende sobre el América del Sur oriental subtropical, aunque afectando un área más amplia en verano.
- El patrón anterior es parte de una estructura tipo-onda cuasi-barotrópica mucho mayor, que incluye centros alternados de anomalías de altura y temperatura negativas y positivas localizados en la parte sur del continente (negativas) y más aguas arriba, alrededor de 55°S - 110°W (positivas) y de 40°S - 150°W (negativas).

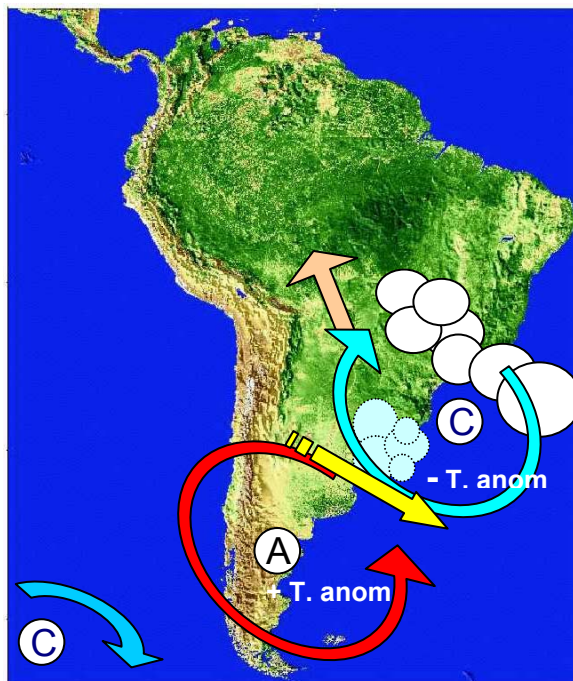
FIG. 14. Esquemas para las anomalías de circulación que caracterizan a ambas fases del dipolo en nubosidad convectiva sobre el este de América del Sur durante octubre-marzo: a) nubosidad convectiva intensificada sobre SESA y una ZCAS débil; b) nubosidad convectiva reducida sobre SESA y una ZCAS intensa. Las letras A y C representan anomalías de circulación anticiclónicas y ciclónicas, respectivamente. Los signos + y – indican anomalías positivas y negativas de temperatura. La intensidad relativa de la corriente en chorro subtropical se representa con flechas de diferentes tamaños. La flecha al este de los Andes centrales indica la dirección de la anomalía del viento de bajo nivel

ANOMALIAS DE CIRCULACION DURANTE PERIODOS LLUVIOSOS Y SECOS EN EL SUDESTE DE AMERICA DEL SUR DURANTE EL VERANO AUSTRAL (OCTUBRE - MARZO)



Períodos con convección intensificada sobre SESA

- ZCAS debilitada
- anomalía de circulación anticiclónica de núcleo cálido sobre el este de América del Sur subtropical.
- anomalía de circulación ciclónica de núcleo frío sobre el sur de América del Sur
- baja del Chaco y advección de aire cálido y húmedo desde la cuenca amazónica intensificadas
- corriente en chorro subtropical intensificada sobre el este de A. S.



Períodos con convección debilitada sobre SESA

- ZCAS intensa
- anomalía de circulación ciclónica de núcleo frío sobre el este de América del Sur subtropical.
- anomalía de circulación anticiclónica de núcleo cálido sobre el sur de América del Sur
- baja del Chaco debilitada y advección reducida de aire cálido y húmedo desde la cuenca amazónica
- corriente en chorro subtropical debilitada sobre el este de A. S.

- Baroclinicidad intensificada a lo largo de la costa este de América del Sur asociada a la ocurrencia de un jet subtropical más intenso que el climatológico.
- La baja del Chaco intensificada en el noroeste de Argentina, y provocando un flujo incrementado de aire cálido y húmedo del noroeste hacia SESA. Esta anomalía contribuye a la ocurrencia de episodios más frecuentes de jet de bajo nivel a lo largo del flanco oriental de los Andes centrales.

6.2 Convección debilitada sobre SESA

Los patrones de anomalía durante episodios de convección reducida sobre SESA son marcadamente opuestos a los descritos más arriba, particularmente en referencia al patrón de anomalía tipo-onda de gran escala. Otros rasgos específicos son:

- Convección intensificada sobre la ZCAS.
- Anomalía de circulación ciclónica de núcleo frío en la media y alta tropósfera, centrada sobre el Atlántico aproximadamente en 30°S –45°W. La extensión de este patrón es mayor y más intensa durante el verano sobre SESA y sobre el océano Atlántico adyacente.
- Anomalías de circulación anticiclónica de núcleo cálido cuasi-barotrópica centradas en el sur de América del Sur. Durante la primavera este patrón es considerablemente mayor, extendiéndose desde el Pacífico subtropical hasta el Atlántico extratropical.
- Baroclinicidad reducida a lo largo de la costa este de América del Sur entre 30°S y 50°S, asociada un jet subtropical debilitado.
- La baja del Chaco más débil que lo normal en el noroeste de Argentina favorece la ocurrencia de anomalías de viento de bajo nivel del sudeste en América del Sur subtropical al este de los Andes, consistente con advección de aire frío hacia los trópicos.

El funcionamiento del dipolo en nubosidad convectiva se analizó para condiciones El Niño y no-El Niño, concluyendo que su estructura espacial permanece casi incambiada.

Los resultados presentados aquí indican que las anomalías climáticas intraestacionales e interanuales y quizás también las de escalas temporales mayores están, en gran medida, condicionadas por las anomalías de circulación atmosférica recurrentes de menor escala temporal, ligadas al funcionamiento de una estructura dipolar en el desarrollo de nubosidad convectiva, que presenta tendencias opuestas de desarrollos sobre la ZCAS y SESA. Al mismo tiempo, los cambios en la frecuencia y amplitud de la oscilación del dipolo de RIE, podrían estar modulados por factores atmosféricos y oceánicos de gran escala, como ENOS. Este dipolo parece ser uno de los factores clave de la dinámica del clima en América del Sur durante la primavera y el verano, representando un modo intrínseco de variabilidad atmosférica.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 505-524.

Aceituno, P., y A. Montecinos, 1997: Patterns of convective cloudiness in South America during austral summer from OLR pentads. Pp. 328-329 in Preprints: 5th Int. Conf. on S. Hemisphere Meteorology and Oceanography. Pretoria, South Africa. 7-11 April 1997, AMS.

Barros, V., M. González, B. Liebmann, y I. Camilloni, 2000: Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southeastern South America. *Theor. Appl. Climatol.*, **67**, 123-133.

Berbery, E. H., y E. Collini, 2000: Springtime precipitation and water vapor flux convergence over Southeastern South America. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1328-1346.

Casarin, D. P., y V. E. Kousky, 1986: Anomalias de precipitacao no sul do Brasil e variacoes na circulacoes atmosférica. *Rev. Bra. Meteor.*, **1**, 83-90.

Castañeda, M. E. y V. R. Barros, 1994: Long-term trends in rainfall along southern South America eastward from the Andes. *Meteorologica* (Argentina), **19**, 23-32 (in spanish).

Cazes, G. y G. Pisciotano, 2000: Climate variability in Southeastern South America related to ENSO: A numerical study. pp. 186-187 in Preprints: 6th Int. Conf. on S. Hemisphere Meteorology and Oceanography, Santiago-Chile, AMS, 423 pp.

Díaz, A. F., C. D. Studzinski, C. R. Mechoso, 1998: Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. *J. Climate*, **11**, 251-271.

Díaz, A. F., 2000: Simultaneous relationships between SST anomalies in the southwestern Atlantic ocean and precipitation in a basin in Uruguay. Pp. 370-371 in Preprints: 6th Int. Conf. on S. Hemisphere Meteorology and Oceanography. AMS, 423 pp.

Ferranti, L., T. N. Palmer, F. Molteni, y E. Klinker, 1990: Tropical-extratropical interaction associated with the 30-60 day oscillation and its impact on medium and extended range prediction. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2177-2199.

Gan, M. A., y V. Rao, 1991: Surface cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1923-1302.

Garreaud, R. D. y J. M. Wallace, 1998: Summertime incursions of midlatitude air into subtropical South America. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2713-2733.

Genta, J. L., G. Perez-Iribarren y C. R. Mechoso, 1998: A recent increasing trend in the streamflow of rivers in southeastern South America. *J. of Climate*, **11**, 2558-2862.

Gibson, R., P. Kallberg, y S. Uppala, 1996: The ECMWF reanalysis (ERA) project. *ECMWF Newsletter*, **73**, 7-17.

Grimm, A. M., y P. L. Silva Dias, 1995: Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 3538-3555.

Grimm, A. M., S. E. Ferraz, y J. Gomes, 1998: Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, **11**, 2863-2880.

Grimm, A. M., V. R. Barros y M. E. Doyle, 2000: Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, **13**: 35-58.

Kalnay E., K. C. Mo, y J. Paegle, 1986: Large amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: Observations and mechanistic experiments to determine their origin. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 252-275.

Kalnay, E., y coautores, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471.

Kiladis G. y H. Diaz, 1989: Global climate anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, **2**, 1069-1090.

Kiladis, G. N., y K. M. Weickmann, 1992: Circulation anomalies associated to tropical convection during northern winter. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 1900-1923.

Kousky, V. E., M. T. Kagano, y I. F. Cavalcanti, 1984: A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, **36a**, 490-504.

Kousky, V. E., y I. F. A. Cavalcanti, 1988: Precipitation and atmospheric circulation anomaly patterns in the South American sector. *Rev. Bras. de Meteor.*, **3**, 199-206.

Kousky, V. E., y C. F. Ropelewski, 1989: Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis in the South American region. *Rev. Bras. Meteor.*, **4**(2), 351-363.

Kousky, V. E., y M. T. Kayano, 1994: Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South American sector. *J. Climate*, **7**, 1131-1143.

Krepper, C. M., B. Scian, y J. Pierini, 1989: Time and space variability of rainfall in central-east Argentina. *J. Climate*, **2**, 39-47.

Lenters, J. D., y K. H. Cook, 1999: Summertime precipitation variability over South America: Role of the large scale circulation. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 409-431.

Li, Z. X., y H. Le Treut, 1999: Transient behavior of the meridional moisture transport across South America and its relation to the atmospheric circulation patterns. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 1409-1412.

Liebmann, B., y C. A. Smith, 1996: Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 1275-1277.

Liebmann, B., G. Kiladis, J. Marengo, T. Ambrizzi, y J.D. Glick, 1999: Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic convergence zone. *J. Climate*, **11**, 2898-2909.

Mechoso, C. R., y G. Pérez-Iribarren, 1992: Streamflow in southeastern South America and the Southern Oscillation. *J. Climate*, **5**, 1535-1539.

Minetti, J. L., y W. M. Vargas, 1997: Trends and jumps in the annual precipitation in South America south of the 15°S. *Atmósfera*, **11**, 205-221.

Montecinos, A., A. Díaz, y P. Aceituno, 2000: Seasonal diagnostic and predictability of rainfall in subtropical South America based on tropical Pacific. *J. Climate*, **13**, 746-758.

Nogués-Paegle, J., y K. C. Mo, 1997: Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 279-291.

Pisciottano, G., A. Díaz, G. Cazes, y C. R. Mechoso, 1994: El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *J. Climate*, **7**, 1286-1302.

Renwick, J. A., y M. J. Revell, 1999: Blocking over the South Pacific and Rossby wave propagation. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2233-2247.

Robertson, A. W., y C. R. Mechoso, 1998: Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. *J. Climate*, **11**, 2570-2581.

Robertson, A. W., y C. R. Mechoso, 2000: Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic convergence zone. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2947-2957.

Ropelewski, C., y M. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606-1626.

Ropelewski, C., y M. Halpert, 1989: Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, **9**, 2, 268-284.

Ropelewski, C., y M. Halpert, 1996: Quantifying Southern Oscillation - precipitation relationships. *J. Climate*, **9**, 1043-1059.

Salio, M. Nicolini, y C. Saulo, 2000: Low level circulation characteristics during two extreme precipitation regime over South America. Pp. 334-335 in Preprints: 6th Conf. on S. Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3-7 April 2000, Santiago-Chile. Amer. Meteor. Soc., 423 pp.

Sinclair, M. R., 1996: A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 245-263.

8. ANEXO - FIGURAS SUPLEMENTARIAS

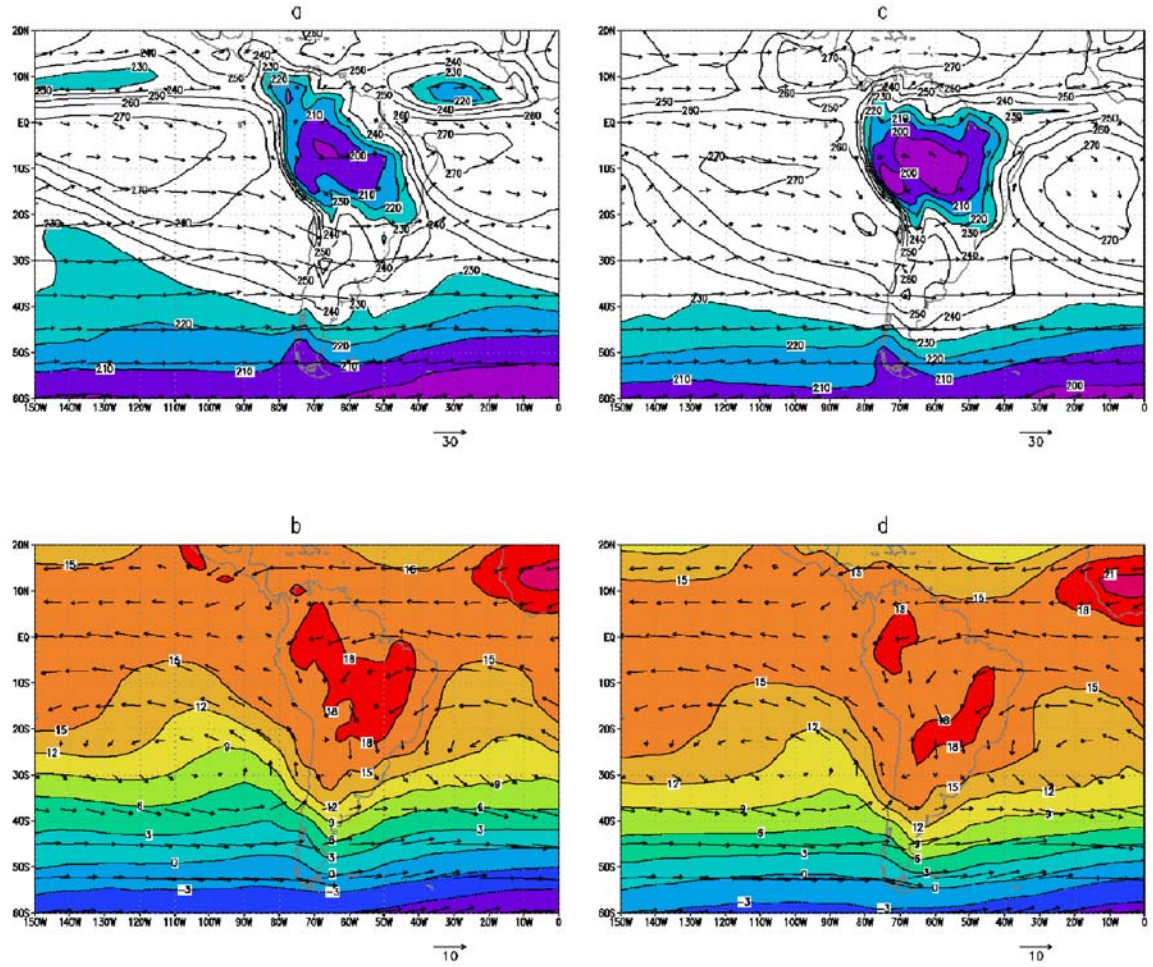


FIG. A1. Campos de RIE, vientos climatológicos en 200 hPa y 850 hPa y temperaturas en 850 hPa durante la primavera (OND) y verano (EFM) australes, 1979-93: a) vientos en 200 hPa y RIE, OND; b) vientos y temperatura en 850 hPa, OND; c) vientos en 200 hPa y RIE, EFM; d) vientos y temperatura en 850 hPa, EFM. Las regiones sombreadas en los paneles superiores indican RIE por debajo de 230 Wm^{-2} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en ms^{-1} .

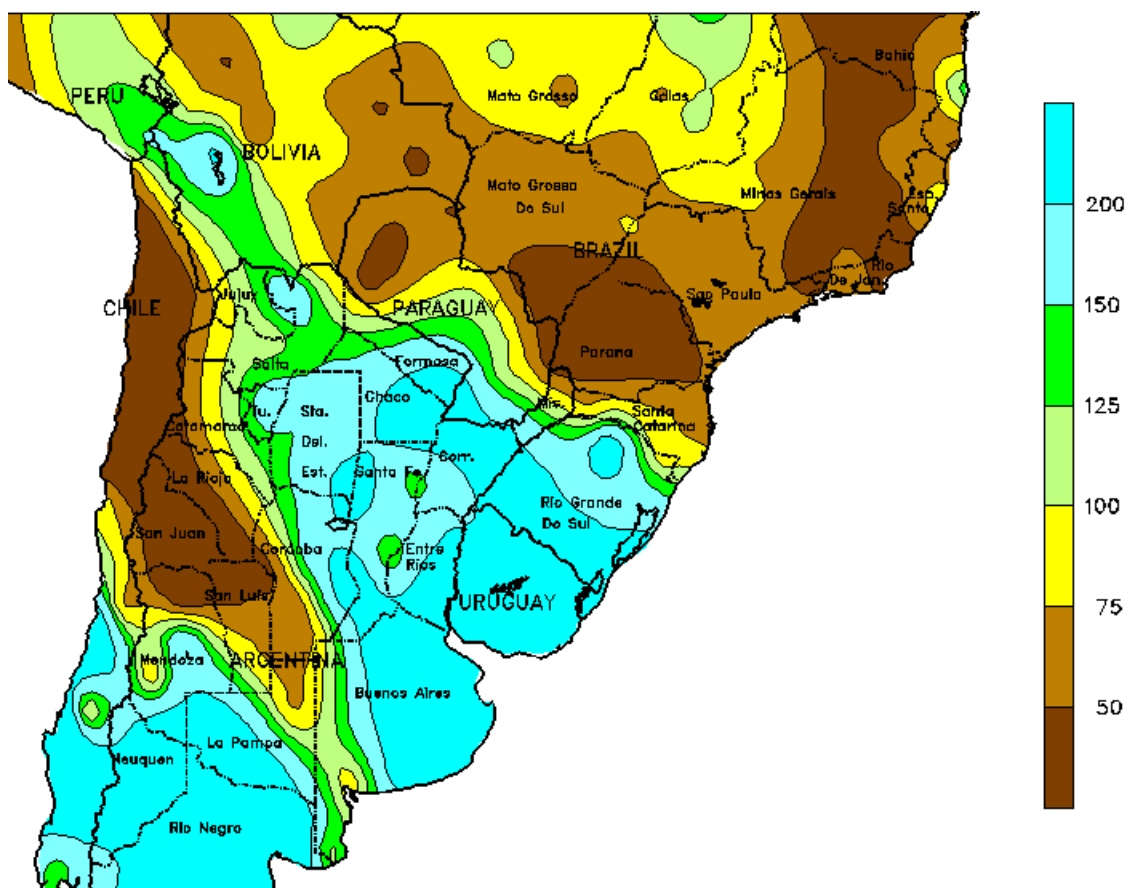


FIG. A2. Precipitación para Marzo de 2002, expresadas como porcentaje de la preipitación media del período base 1979-1995.(Fuente: NCEP-NOAA)

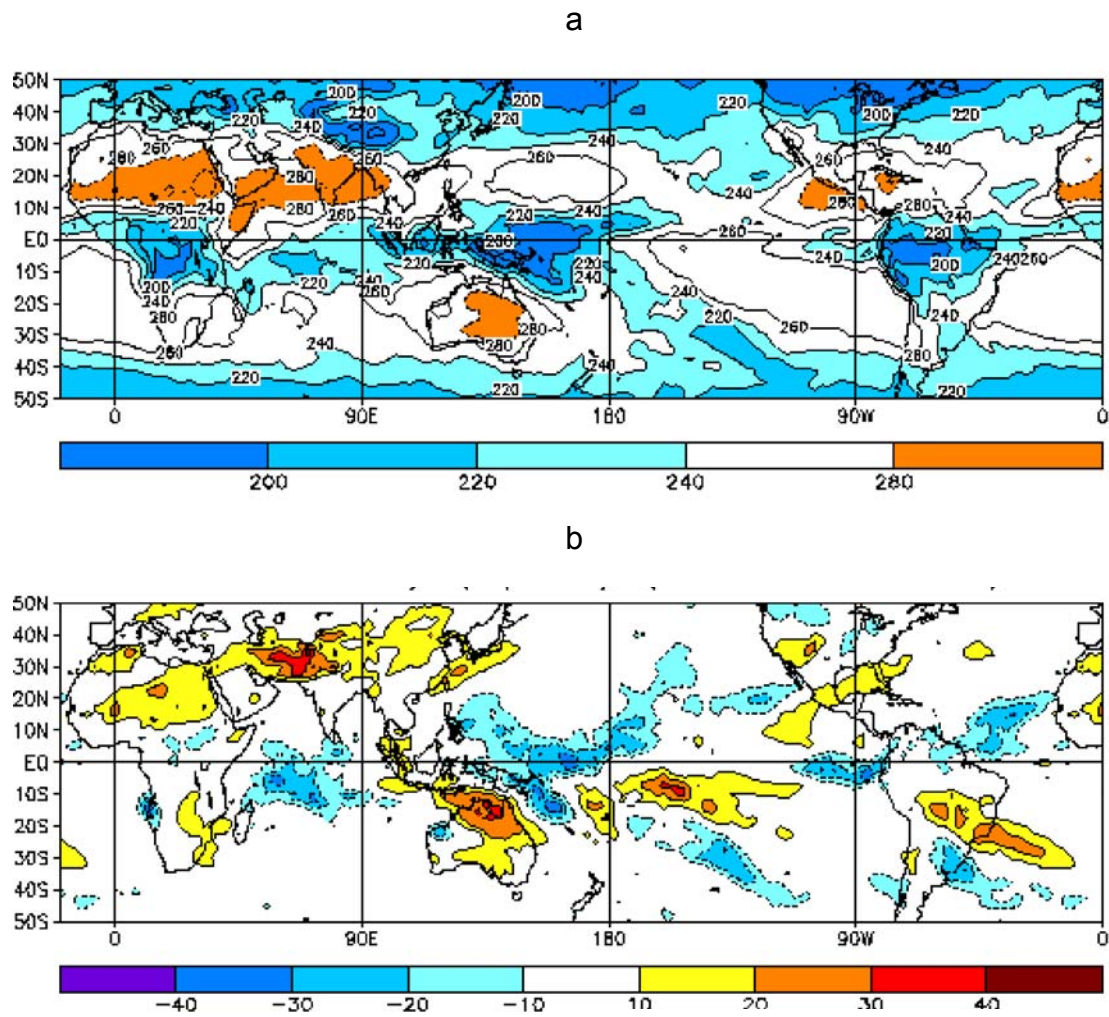


Fig. A3. Campo (a) y anomalías (b) de radiación infrarroja emergente (RIE) en marzo de 2002, expresados en Wm^{-2} . Nótese la marcada estructura dipolar de anomalías de RIE en el este de América del Sur subtropical, y la anomalía de RIE en el norte de Australia, en fase con la de ZCAS (Fuente NCEP-NOAA)

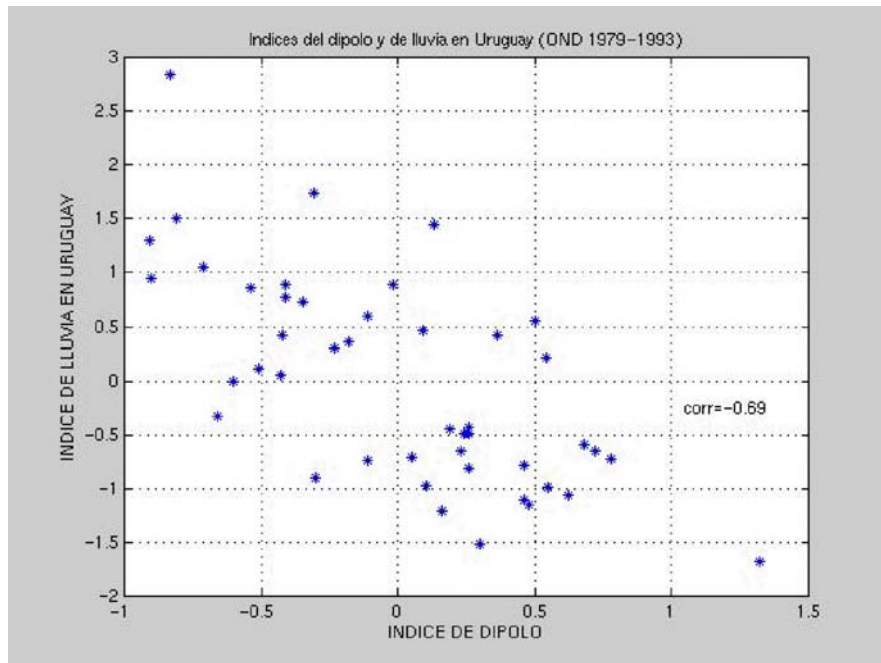


FIG. A4. Valores mensuales del índice de dipolo (ID) y de un índice de precipitaciones en Uruguay para los trimestres de primavera (octubre-diciembre) en 1979-1993.

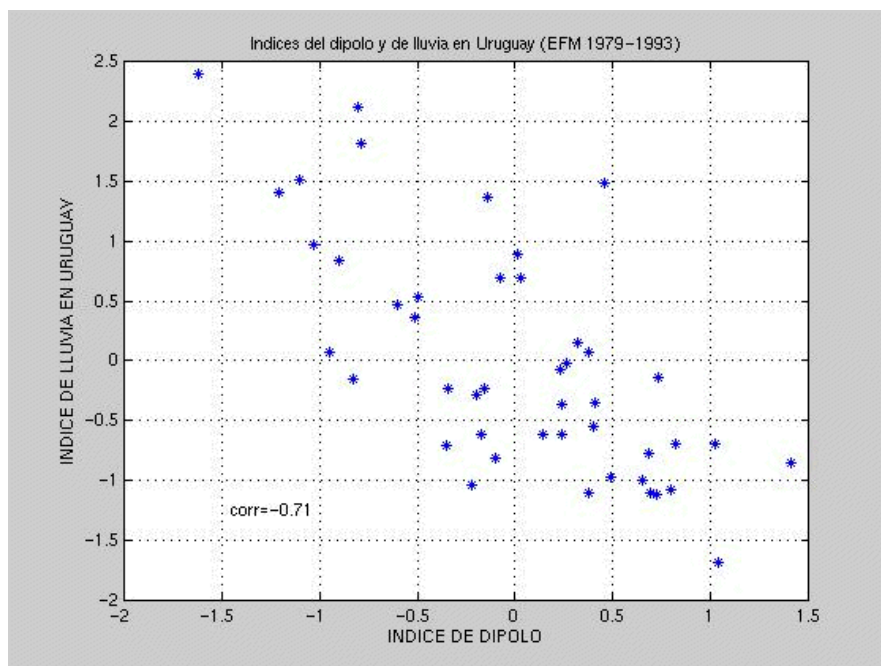


FIG A5. Análoga a A4, pero para enero-marzo.

a

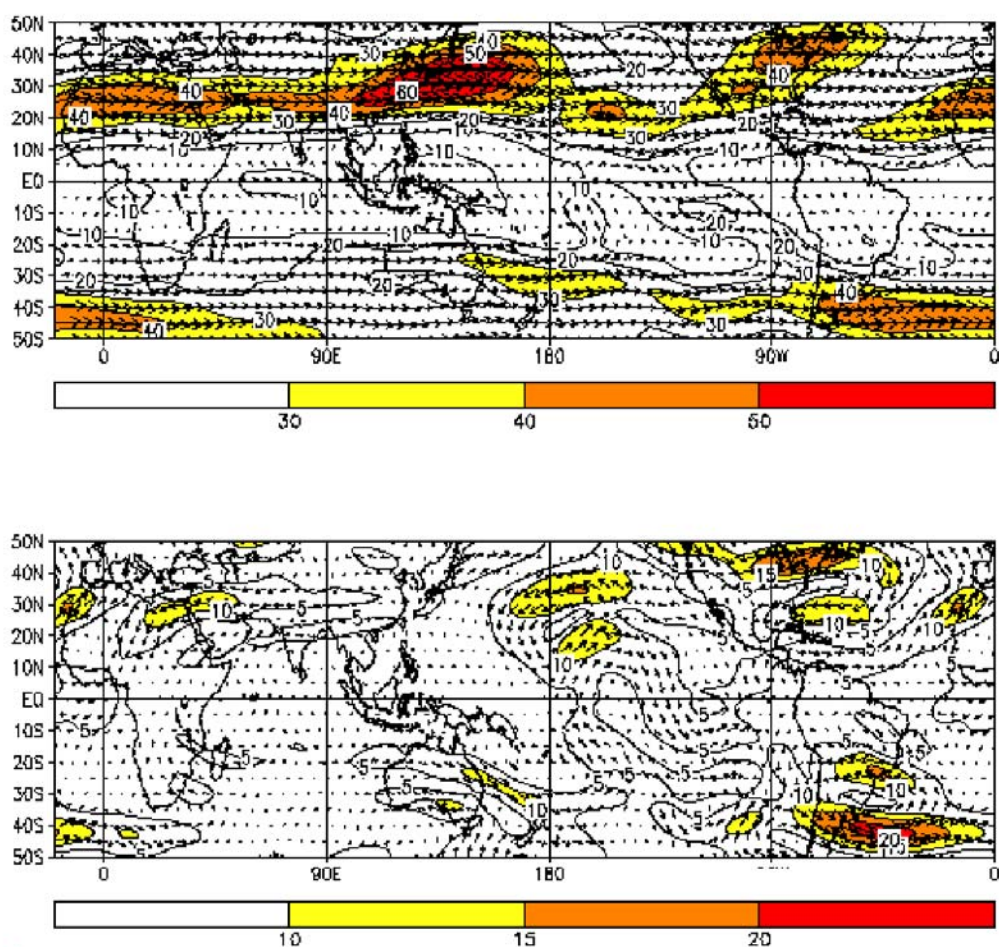
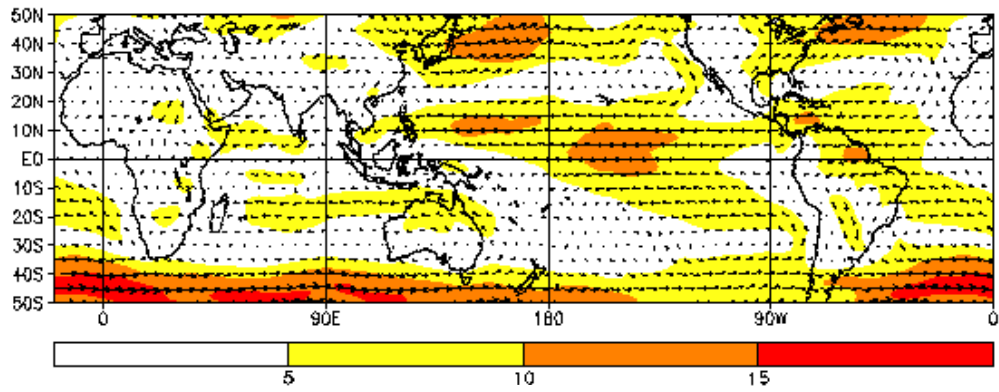


FIG. A6. Campo del valor medio (a) y de anomalías (b) de vientos a 200 hPa, durante marzo de 2002, que fue anormalmente lluvioso en SESA. Nótese la fuerte anomalía anticiclónica sobre SESA y la intensificación de la corriente en chorro. La magnitud del viento se expresa en ms^{-1} (Fuente NCEP-NOAA).

a



b

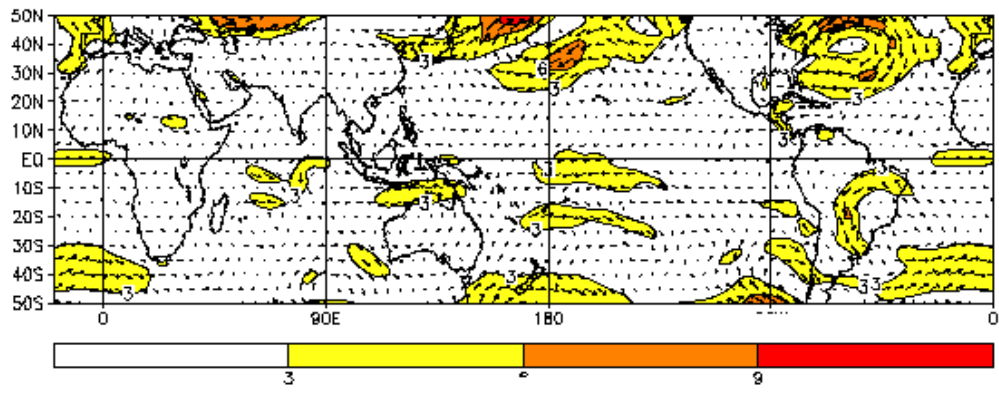


FIG. A7. Análoga a la FIG. A6, pero para el viento a 850 hPa. Nótese la circulación anómala anticiclónica en la región entre la ZCAS y SESA que favorece una fuerte advección de aire cálido y húmedo desde el norte hacia SESA.

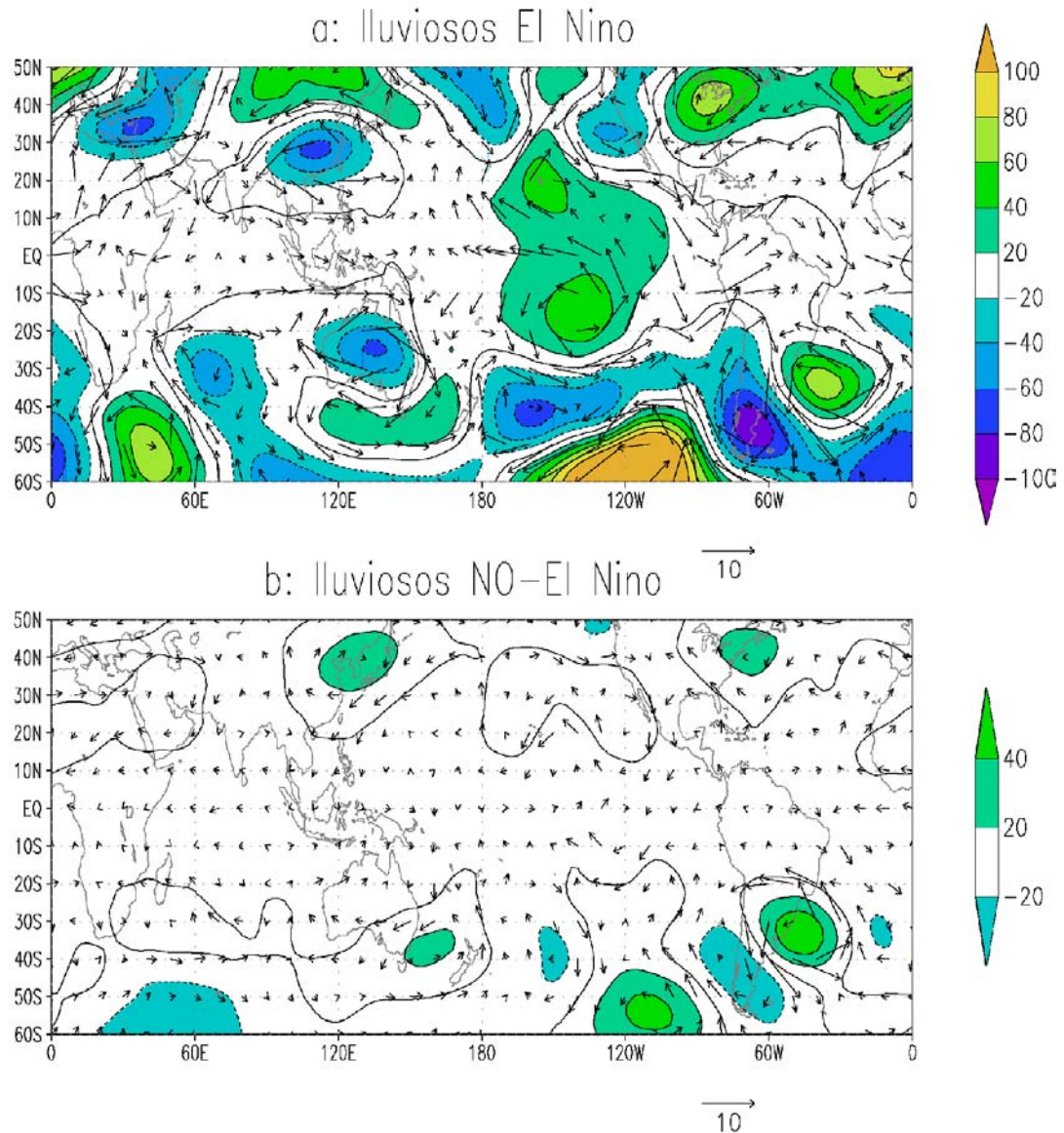


FIG. A8. Patrones de anomalía de altura de geopotencial y vientos en 200 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensificada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son m y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.

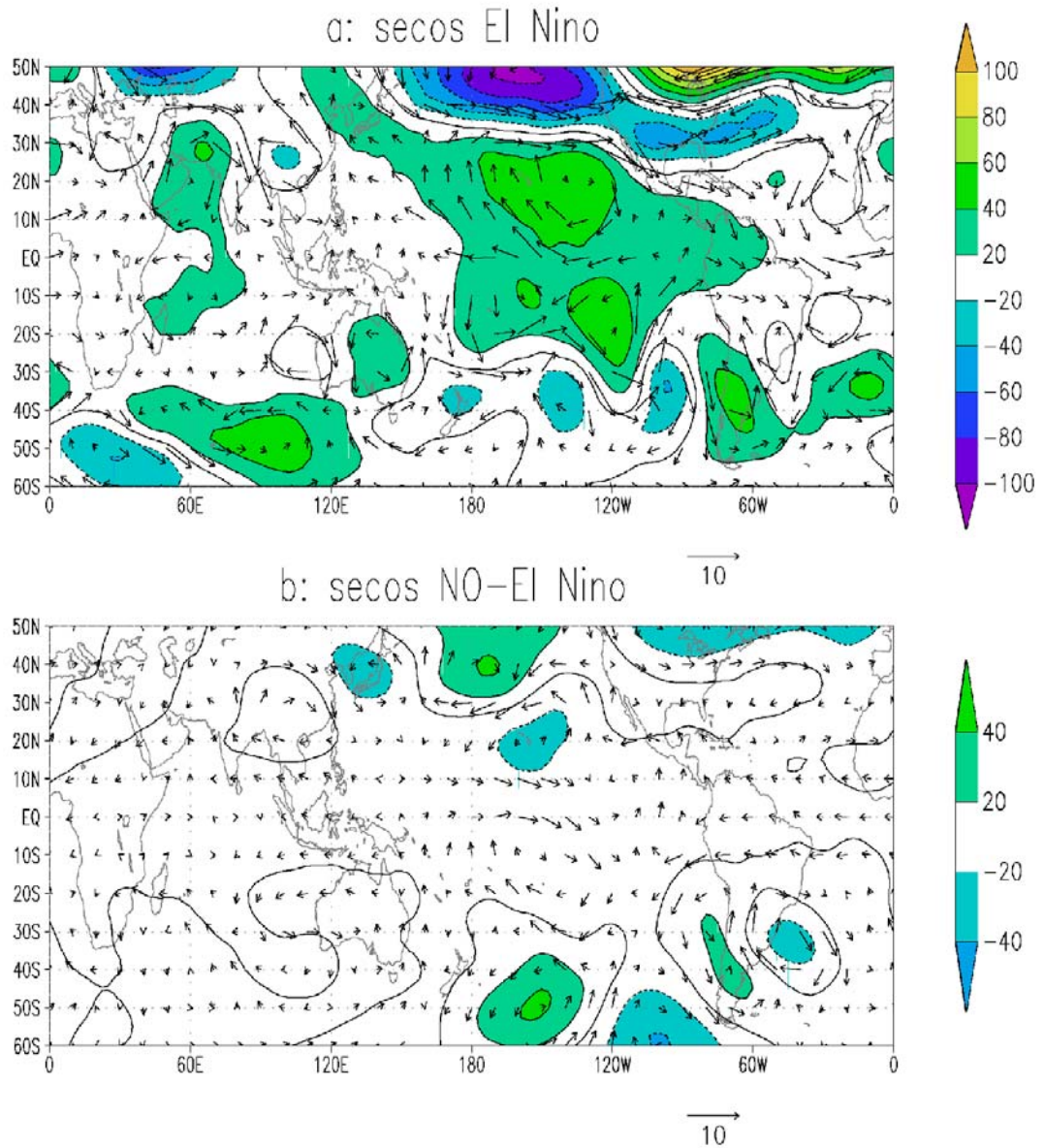


FIG. A9. Patrones de anomalía de altura de geopotencial y vientos en 200 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva debilitada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son m y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.

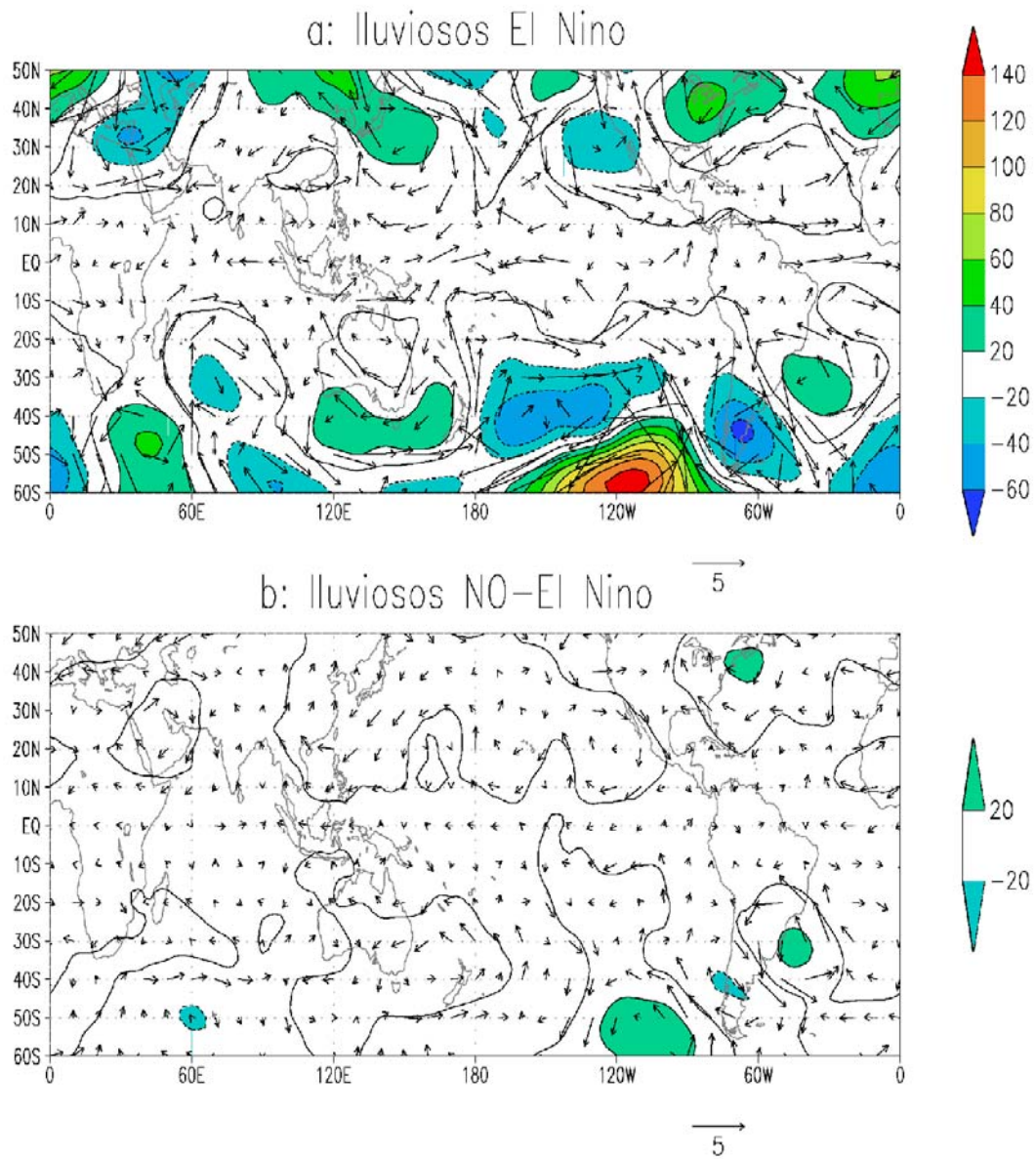


FIG. A10. Patrones de anomalía de altura de geopotencial y vientos en 500 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensificada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son m y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.

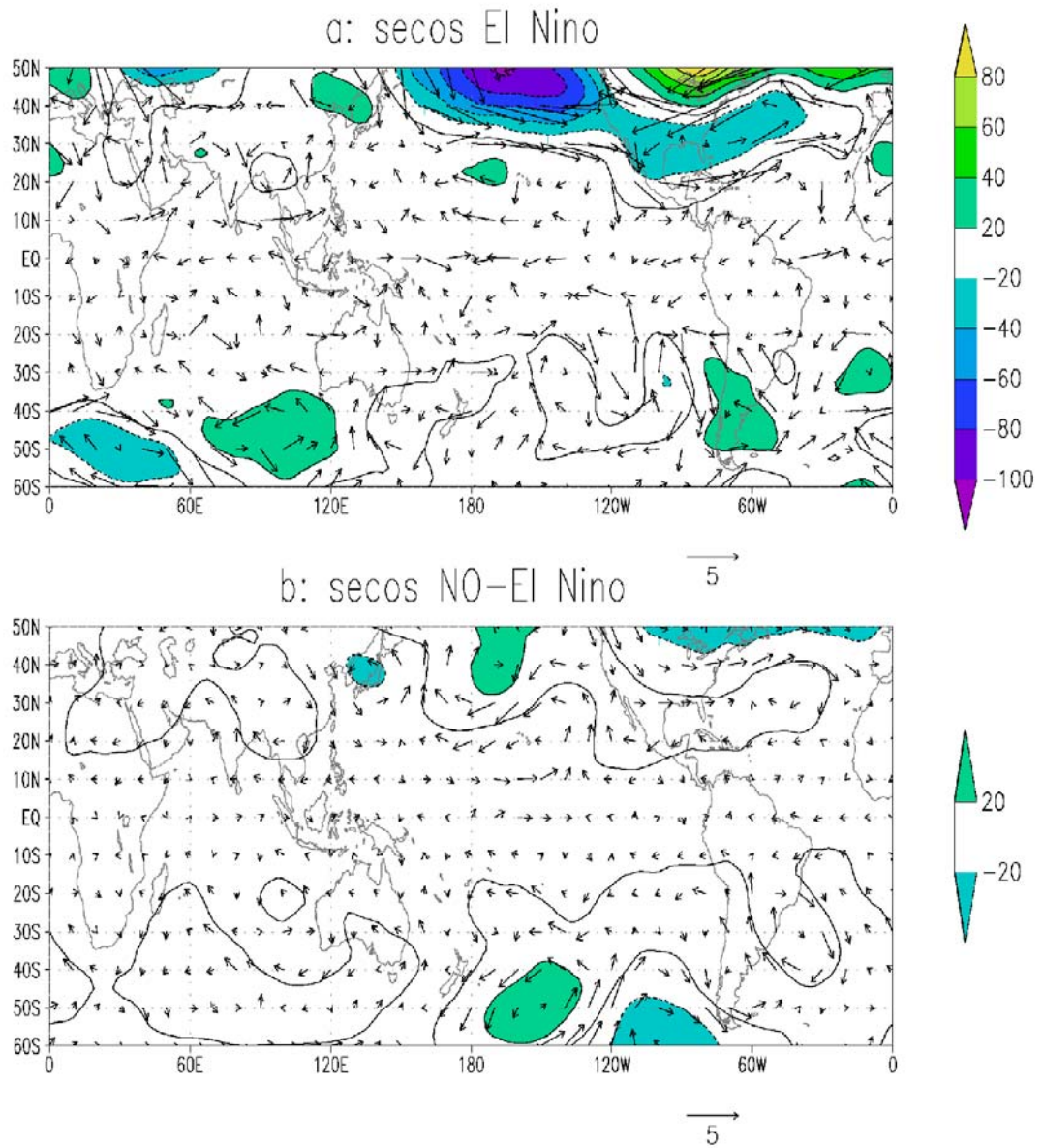


FIG. A11. Patrones de anomalía de altura de geopotencial y vientos en 500 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva debilitada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son m y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.

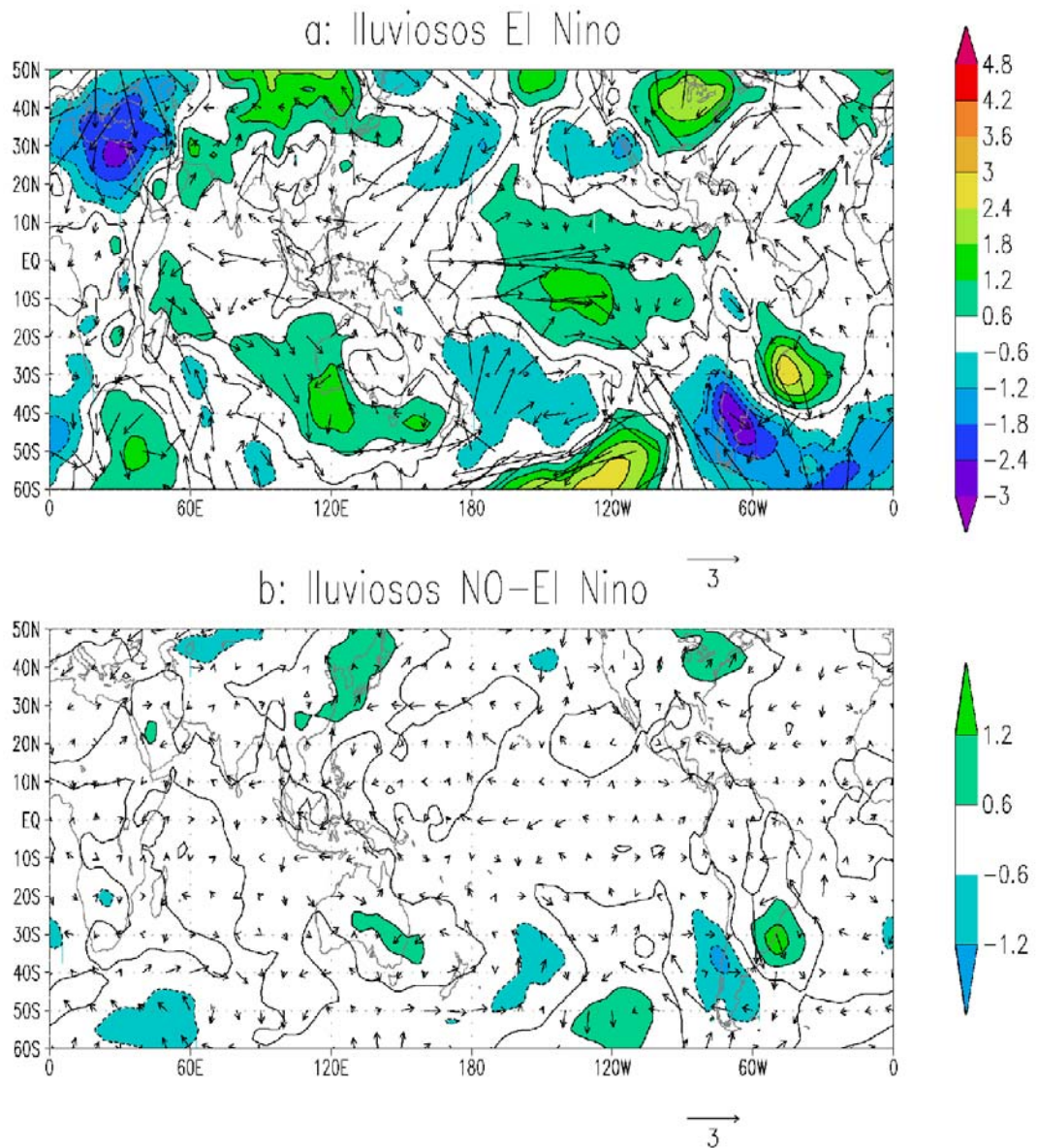


FIG. A12. Patrones de anomalía de temperatura y vientos en 850 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva intensificada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son $^{\circ}\text{C}$ y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.

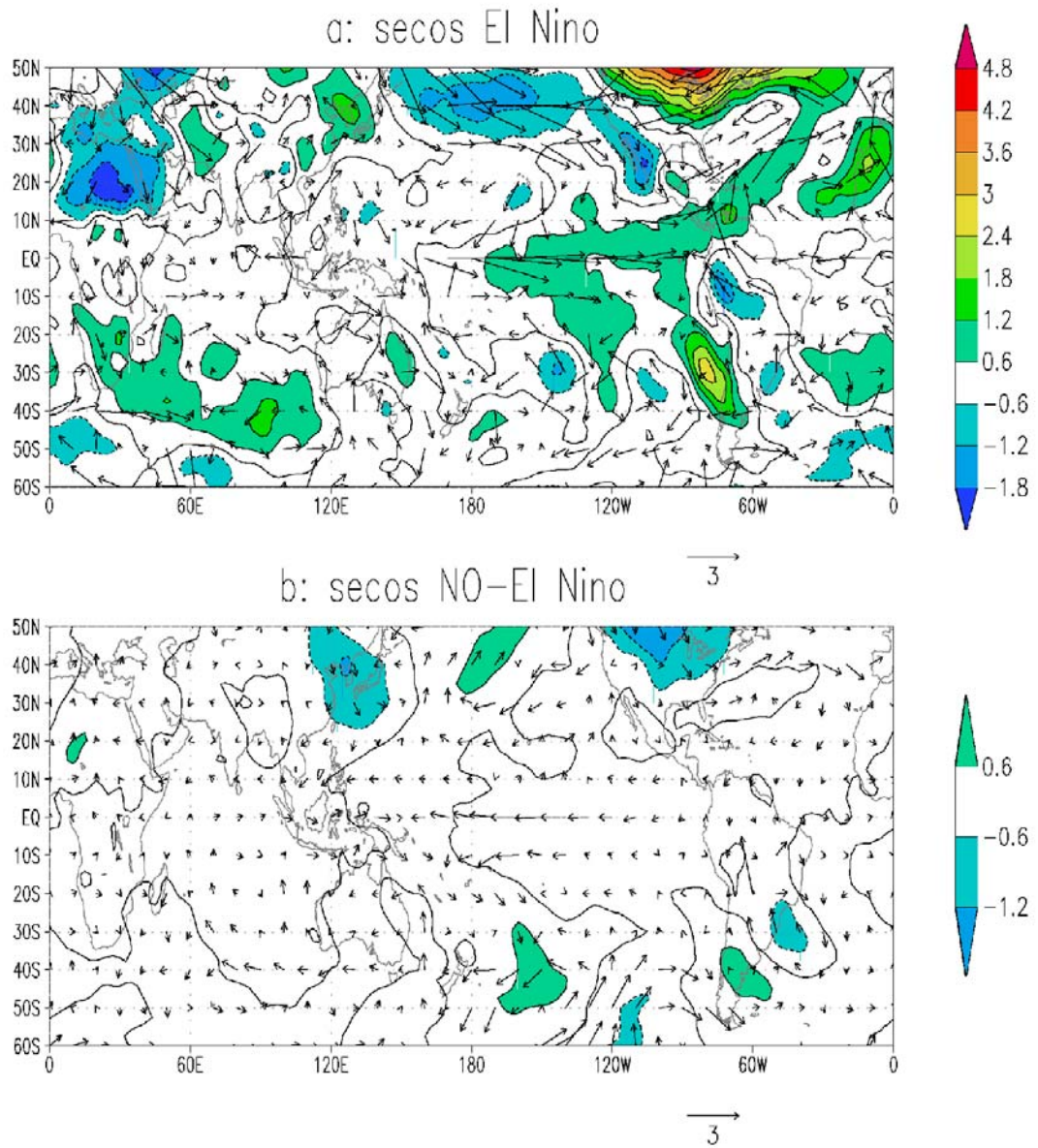


FIG. A13. Patrones de anomalía de temperatura y vientos en 850 hPa durante episodios de 11 días de nubosidad convectiva debilitada sobre SESA durante octubre-marzo 1979-93. Los paneles superiores muestran compuestos para eventos El Niño (1982-83, 1986-87 y 1991-92). Los paneles inferiores exhiben los compuestos para los demás años. Las unidades son $^{\circ}\text{C}$ y ms^{-1} . Se incluye una escala para la velocidad del viento en cada panel.