

Tesis de Posgrado

Factores que determinan el régimen de la precipitación en Argentina subtropical

Gonzalez, Marcela Hebe

1997

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Gonzalez, Marcela Hebe. (1997). Factores que determinan el régimen de la precipitación en Argentina subtropical. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2956_Gonzalez.pdf

Cita tipo Chicago:

Gonzalez, Marcela Hebe. "Factores que determinan el régimen de la precipitación en Argentina subtropical". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1997. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_2956_Gonzalez.pdf

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA ATMOSFERA

***FACTORES QUE DETERMINAN EL REGIMEN DE LA
PRECIPITACION EN ARGENTINA SUBTROPICAL***

DOCTORANDA:

LIC. MARCELA HEBE GONZALEZ

DIRECTOR:

DR. VICENTE RICARDO BARROS

LUGAR DE TRABAJO:

***DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES***

***A mi querido CARLI, por su amor incondicional sin el cual todo lo demás
perdería sentido***

***A Federico y Mariela por haberles robado una buena parte de su
irrecuperable tiempo***

***A mis padres por su apoyo durante mi carrera y fundamentalmente porque
me enseñaron a valorar lo que hago***

Al Dr. Barros por haber confiado en mi y en mi trabajo

y

a DIOS por haberme dado la vida para cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias de la Atmósfera de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires por cedermme el espacio físico y el equipamiento necesario.

A la Universidad de Buenos Aires por darme la posibilidad de acceder a las becas de investigación de iniciación y perfeccionamiento durante el período 1988-1992.

Al Servicio Meteorológico Nacional y en particular, a la Lic. Mónica Marino por facilitarnos el acceso a las cartas sinópticas utilizadas.

Al Dr. Mario Nuñez y al Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera por habernos facilitado los datos de radiación de onda larga utilizados.

A Dennis Joseph and Joey Comeaux de Data Support Section de NCAR (National Center of Atmospheric Research) por sus indicaciones para facilitar el acceso y la lectura de los datos de OLR.

A John Janowiak del Climate Prediction Center (NOAA) y a Brant Liebmann del Climatic Diagnosis Center (CDC) por los datos de OLR que fueron cedidos gentilmente.

A la Lic. Adriana Fernández por habernos facilitado los datos de viento en altura.

Al Dr. Héctor Panarello por facilitamos los datos de los isótopos y bibliografía sobre el tema utilizados para la realización de este trabajo.

A Graciela Catuogno y Claudia Campetella que me brindaron su amistad y me acompañaron en los buenos y malos momentos.

A mis compañeras de grupo: Inés Camilloni, Elizabeth Castañeda y Moira Doyle por su enorme ayuda profesional y por la amistad que encontré en ellas.

A todos mis compañeros del Departamento de Ciencias de la Atmósfera que generaron un ambiente agradable para la realización de este trabajo.

A la Dra. Inés Velasco con quien dí los primeros pasos en la investigación científica.

A mi director, Dr. Vicente Barros, por su dedicación, por la enorme cantidad de conocimientos obtenidos a través suyo y fundamentalmente por contagiarme su entusiasmo por la investigación.

INDICE

	pag
RESUMEN	1
INTRODUCCION	4
<u>PRIMERA PARTE: Estudio del contenido de isótopos en la precipitación como posibles indicadores del origen del vapor de agua en Argentina subtropical</u>	7
1. Antecedentes y análisis de las variables	7
2. Datos utilizados	9
3. Estudio de los ciclos anuales del oxígeno 18, deuterio y tritio.	10
4. Relación entre los contenidos de oxígeno 18, deuterio y tritio en la precipitación y el posible origen de la misma	24
5. Conclusiones Parciales	38
<u>SEGUNDA PARTE: Los campos medios de precipitación en Argentina subtropical y de la convección tropical</u>	40
1. Los datos utilizados	40
2. El ciclo anual de precipitación en el período 1959-1991.	43
2.1. Análisis de la varianza de la precipitación.	44
2.2. Análisis de la varianza de la presión	50
2.3 Relación entre los gradientes de presión y la precipitación	54
3. El ciclo anual de precipitación en el período 1975-1991.	56
3.1 Análisis de los campos espaciales de la onda anual de precipitación.	57
3.2. Relación entre los autovectores del ciclo anual de la lluvia y algunos índices	63
4. El ciclo anual de radiación saliente de onda larga (OLR)	65
4.1. Los campos medios	65
4.2. El onset y el fin de la convección en el hemisferio sur.	67
4.3. Análisis del campo climatológico de OLR	69
5. Relación entre los autovectores del campo medio de OLR en la zona tropical y los de precipitación media en Argentina subtropical	73
6. Conclusiones Parciales	75

TERCERA PARTE: El onset de la convección y el comienzo de la lluvia de primavera en Argentina subtropical	77
1. La correlación interanual entre las anomalías de OLR en el norte de Brasil y las anomalías de precipitación en Argentina subtropical	81
1.1. Mapas de correlación del período estival (septiembre-abril)	81
1.2. Mapas de correlación para los meses de inicio de la época de lluvias	83
1.3. Mapas de correlación con desfase 10 y 20 días en septiembre	87
1.4. Correlaciones mensuales para los meses de inicio de la estación lluviosa	91
2. Relación entre el área abarcada por la convección y las anomalías de precipitación en Argentina subtropical	95
3. Relación entre las anomalías de precipitación en Argentina subtropical y la anomalía del valor medio de onset de la convección en Brasil	99
3.1. Correlación entre las anomalías de precipitación en Argentina subtropical y el onset de la convección	99
3.2. Estratificación de casos de adelanto o atraso convectivo	103
3.3. Relación entre las anomalías de onset de la convección y algunas otras variables.	128
4. Conclusiones parciales	135
<u>DISCUSION GENERAL</u>	137
<u>CONCLUSIONES</u>	140
<u>PROYECTO FUTURO</u>	142
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	143
<u>GLOSARIO</u>	146

RESUMEN

Se estudió el contenido isotópico del agua de lluvia (tritio, deuterio y oxígeno 18) con el fin de determinar el posible origen del vapor que genera las lluvias en Argentina subtropical obteniendo como resultado la existencia de una gran proporción de vapor proveniente de zonas continentales y en particular de los trópicos. Existen evidencias de la influencia que existe entre el contenido de vapor de la atmósfera tropical y las lluvias en Argentina subtropical y por ello se estudió el comportamiento de las variables precipitación en Argentina subtropical y de la convección que ingresa al hemisferio sur durante la primavera en la selva brasilera.

Para realizar este estudio se utilizaron datos de radiación de onda larga (OLR) obtenidos a partir de las mediciones radiométricas de los satélites de órbita polar NOAA, en un reticulado de 2.5° de latitud x 2.5° de longitud sobre la región tropical de América, promediados en 5 días y reportes de lluvia acumulada cada 10 días en 32 estaciones de Argentina subtropical, para el periodo 1975-91.

El ciclo anual de precipitación presenta un mínimo en invierno en toda la región pero resulta ser muy marcado en el noroeste y menos definido en el este. Los campos medios de precipitación fueron analizados utilizando el método de componentes principales. El primer autovector explica el 59% de la varianza y tiene poca variación a lo largo del año y el segundo, explicando el 19% de la varianza, representa la lluvia de verano con máxima variabilidad en el noroeste del país. La misma metodología ha sido utilizada para analizar el campo medio de OLR en los trópicos. El primer autovector explica el 42% de la varianza está asociado al campo medio mientras que el segundo explica el 29% de la varianza y representa el desplazamiento zonal de la convergencia intertropical (CIT) durante el año.

Se determinó aproximadamente una fecha climatológica para el fin de la sequía invernal en cada una de las estaciones, esto es de importante valor agronómico pues en general, al terminar el invierno, los suelos han gastado las reservas de agua acumulada y las lluvias resultan fundamentales para el progreso de los cultivos.

Con el fin de estudiar la forma en que la entrada de la convección al hemisferio sur puede modificar el comienzo de la precipitación se han analizado distintas alternativas en el mes de septiembre. Se estudió la relación entre las anomalías de OLR y de precipitación en primavera. Se obtuvieron correlaciones negativas y altamente significativas en septiembre aún cuando los datos de OLR se desfazaron 10 y 20 días antes de los de lluvias. Correlaciones positivas y altas se encontraron entre el área abarcada por la convección con valores de OLR inferiores a 220 w/m² y la lluvia de septiembre en el centro y norte de Argentina, especialmente cuando los campos de OLR fueron adelantados 20 días respecto de los de precipitación. Esta variable también fue correlacionada con la anomalía de la fecha de onset de la convección promediada entre 0° y 15°S y entre 45° y 75°O y se obtuvieron buenos resultados. El análisis de los años en que un

adelanto en el ingreso de la convección fue observado, mostró anomalías positivas de lluvia en el centro y este de Argentina y un adelanto en la fecha de fin de la sequía invernal mientras que en los años con un retraso en la fecha de ingreso de la convección, se observó el comportamiento opuesto.

PALABRAS CLAVES

lluvia, radiación de onda larga, convección, campos medios, variabilidad interanual, anomalías, correlación, sequía invernal, isótopos.

ABSTRACT

The isotopic content in water precipitation (tritium, deuterium and oxygen-18) was studied to determinate the possible origin of water vapor which generates rainfall in subtropical Argentina and the results showed that a great proportion of the water vapor comes from continental regions, specially from the tropics. There is some evidence about the influence of water vapor content over tropical South America on subtropical Argentina rainfall and so the behavior of rainfall in subtropical Argentina and the onset of Summer monsoon convection over South America in Spring were studied.

Outgoing longwave radiation (OLR) measurements obtained from the scanning radiometer aboard the polar orbiting NOAA operational satellites, averaged on a 2.5° latitude-longitude array in the tropical region and averaged on five days, and rainfall measurements of 32 selected Argentine stations, accumulated during 10 days for the period 1975-91, were used to perform this study.

The mean annual cycle of the rainfall has a minimum all over the region. It is very pronounced in the northwestern part and less defined in the east of the country. The mean rainfall has been analyzed using principal component analysis. The first eigenvector explains the 59% of the variance and it has little variability during the year and the second, explaining the 19% of the variance, represents the Summer rainfall with maximum variability in the northwest part of the country. The same methodology has been used to analyze the mean annual cycle of OLR in the tropics. The first eigenvector explains the 42% of the variance and is associated to the mean field and the second explains the 29% of the variance and represents the zonal displacement of the intertropical convection zone (ITCZ) during the year.

An approach of a climatological date of the end of the Winter drought was determined in each one of the stations. It has a great agronomic value because

generally at the end of Winter the soil is depleted of water and rainfall is essential for the seeding to grow.

In order to study how the onset of Summer monsoon could influence the beginning of rainfall, some analysis have been done in September. The relation between OLR and rainfall anomalies in Spring, when the ITCZ enters the Southern Hemisphere, was studied. Negative and highly significative correlation was obtained in September, even though the OLR data were considered 10 and 20 days before the rainfall ones. High and positive correlation was found between the tropical area with OLR values less than 220 w/m^2 , as a measurement of the convective area, and the rainfall in September in central and northern regions of Argentina, specially when the OLR fields were advanced 20 days from the rainfall ones. This variable was also correlated with the onset monsoon date anomaly averaged in the area between 0° and 15°S and between 45° and 75°W and good results were obtained. A later analysis of the years when the convection was advanced from the climatological value, exhibited positive rainfall anomalies in the central and eastern regions of Argentina and an advanced date of the end of the Winter drought and years when the convection was delayed, showed the opposite behavior.

KEY WORDS

rainfall, longwave radiation, convection, annual cycle, interannual variability, anomalies, Winter drought, isotopes.

INTRODUCCION

El mecanismo de formación de la precipitación requiere ascenso de aire y suficiente cantidad de vapor de agua. En Argentina subtropical la humedad que genera las lluvias, parece provenir de dos fuentes principales: el océano Atlántico y la selva tropical brasilera ya que la cordillera de Los Andes inhibe el ingreso de humedad desde el Pacífico. El anticiclón del Atlántico es un sistema de presión semipermanente que cambia su ubicación a lo largo del año alcanzando su posición más austral durante el verano del hemisferio sur. El recorrido oceánico del aire inducido por el anticiclón ingresa vapor al continente lo mismo que el viento procedente del norte, que ha tenido un amplio recorrido sobre la selva amazónica (Wang y Paegle, 1996). El ingreso de la convergencia intertropical (CIT) al centro del continente sudamericano durante la primavera parece facilitar la entrada del aire tropical húmedo a la Argentina subtropical y por lo tanto podría tener incidencia en la fecha de ruptura de la sequía invernal que se produce en el noroeste de Argentina subtropical y del mínimo relativo de invierno observado en el este de esta región.

La agricultura es una de las actividades más importantes en una amplia zona en Argentina subtropical. En particular, la producción de trigo, que actualmente supera los 15M tons, representa una parte sustancial de las exportaciones. Los cultivos, sembrados en el relativamente lluvioso otoño, generalmente agotan las reservas de agua del suelo durante el seco invierno. Por ello, las lluvias que se producen al comienzo de la primavera son, en muchas ocasiones, indispensables para que los cultivos prosperen. Por lo tanto, el entendimiento de la precipitación de primavera en Argentina subtropical y de los posibles mecanismos que podrían darle origen, resulta de relevante importancia. Actualmente no existen muchos estudios que describan el origen de las masas de aire, durante el año. Una posibilidad es la utilización de una técnica basada en el contenido de isótopos, como son el oxígeno 18, el deuterio y el tritio, en aguas de precipitación. Ellos parecen ser buenos indicadores del origen del vapor y por lo tanto pueden ser relacionados con la precipitación que se produce en Argentina subtropical. Estos parámetros han sido medidos durante alrededor de 7 años en la Argentina. Alberó y Panarello (1980) estudiaron el contenido de tritio en aguas de precipitación y pudieron agrupar las estaciones según la latitud. También determinaron la variación del contenido de isótopos estables (oxígeno 18 y deuterio) con la temperatura media mensual y con la cantidad de precipitación. Salati et al. (1978) estudiaron el contenido de oxígeno 18 y de deuterio de la lluvia en la cuenca del Amazonas y utilizaron dos modelos teóricos de fraccionamiento isotópico para determinar la proporción de vapor con origen en el Atlántico y la obtenida por evapotranspiración y consecuente reciclado en la propia cuenca, en

cada uno de los meses del año . El primero sólo considera al océano Atlántico como fuente de vapor y supone que las lluvias son originadas por un flujo de aire desde el océano. En el segundo, se supone la existencia de dos fuentes de vapor generadoras de lluvia: el océano Atlántico y la evapotranspiración. Estas metodologías ayudan a dar luz sobre el ciclo anual de la lluvia, entre otros recursos.

El ciclo anual de precipitación en la región sur de Sudamérica ha sido estudiado por Prohaska (1976), quién elaboró una climatología de la onda anual en diferentes zonas. Penalba (1995) estudió la precipitación en la provincia de Buenos Aires a través del análisis armónico y obtuvo que la suma de las ondas anual y semianual representan el 90% de la varianza del ciclo anual de la precipitación. Comparó sus resultados con el análisis por componentes principales realizado por Salles y Compagnucci (1992) a los campos diarios de presión y concluyó que la primera armónica del campo de precipitación se asocia al calentamiento mientras que la segunda a la advección de humedad. La variabilidad interanual del comienzo de la estación lluviosa en la zona tropical de Sudamérica fue estudiada por Horel et al. (1989) pero los mecanismos que la causan no han sido totalmente entendidos todavía. Algunos años la convección parece tener una mayor relación con la circulación de gran escala que otros.

El continente sudamericano, debido a características de tipo orográficas como es la cordillera de los Andes, presenta interacciones muy marcadas entre trópicos y subtropicos. El clima de Brasil depende de la penetración de los frentes fríos de latitudes medias en las latitudes bajas. En verano, estos frentes se propagan en menor medida hacia el norte pero, aún así, es posible que la lluvia en la región amazónica esté más controlada por ellos que por la disponibilidad de humedad (Marengo, 1992, Kousky, 1979). Por otra parte, existen indicios de que la predictabilidad climática en los trópicos es mayor que en otras regiones. En términos de la predictabilidad climática esta situación parece favorecer a Argentina pues la variabilidad climática en los trópicos está más entendida que en regiones extratropicales. Concretamente en el noreste de Brasil ya hay un sistema de predicción climática que resultó exitoso algunos años. En uno de los trabajos en este área, Ward y Folland (1991) utilizaron dos técnicas estadísticas para pronosticar la lluvia en el nordeste de Brasil utilizando los autovectores de la temperatura de la superficie del mar y obtuvieron que el 50% de la varianza de la lluvia en la estación húmeda podía predecirse correctamente.

La experiencia sinóptica demuestra que el contenido de vapor en el aire de la zona tropical de Sudamérica y las lluvias en Argentina subtropical están relacionados. El mayor problema para estudiar este hecho es la baja densidad espacial y la difícil disponibilidad de datos de humedad y lluvia en la zona central de Brasil. Por ello se han utilizado datos de radiación de onda larga saliente (OLR), obtenida con satélites de órbita polar, que resultaron muy efectivos para completar la información deficiente de precipitación y humedad. Ellos proveen información en forma continua sobre áreas extendidas y sobre océanos donde las mediciones tradicionales son escasas. Esta variable permite una identificación eficiente de la convección generada por la CIT y ha sido relacionada con la

precipitación tropical (Arkin y Meisner, 1987, Arkin y Ardanuy, 1989, Morrissey y Graham, 1996). Su variabilidad anual e interanual fue ampliamente estudiada. Heddinghaus y Krueger (1981) analizaron el ciclo anual de OLR en todo el planeta con el método de componentes principales y obtuvieron que la primera componente principal representa el desplazamiento de la nubosidad entre ambos hemisferios en verano e invierno mientras que la segunda representa el modo de variación en otoño y primavera. Mitchell y Wallace (1992) estudiaron el ciclo anual de la convección ecuatorial y observaron diferentes estructuras de OLR en el equinoccio de primavera y en el de otoño, relacionadas con las diferencias en la temperatura de la superficie del mar. Hastenrath (1984) estudió la variabilidad interanual de la lluvia en la zona tropical continental de América y África y obtuvo que las anomalías de precipitación estaban asociadas con anomalías en los flujos de gran escala correspondientes a cambios en la alternancia de las estaciones seca y lluviosa. Lau y Chan (1983) utilizaron cuatro años de datos de OLR en el Pacífico ecuatorial central para establecer la existencia de teleconexiones entre diferentes partes del globo. Observaron una teleconexión tropical basada en una correlación positiva entre el Pacífico ecuatorial central y el este de África y negativa entre el Pacífico ecuatorial central y la zona marítima de Australia y el noreste de Brasil. Otros autores han estudiado la variabilidad diaria que presentan los datos de OLR (Schmetz y Liu, 1988) y la variabilidad espacial de la misma (Smith y Rutan, 1994). Algunos autores han usado esta variable para estudiar aspectos climatológicos en Sudamérica. Liebmann y Hartmann (1982) analizaron el ciclo de la convección sobre América. Kousky (1988) realizó una climatología de OLR a nivel pentádico (cinco días) y determinó la fecha climatológica de comienzo y fin de la estación lluviosa en el centro de Brasil. Aceituno (1988) realizó el mismo estudio climatológico en Sudamérica a nivel bimestral y relacionó las anomalías de OLR con la fase negativa de la Oscilación del Sur.

En este trabajo se estudia el ciclo anual de la precipitación en Argentina subtropical. Se utilizaron técnicas no tradicionales, basadas en el contenido de isótopos en el agua de lluvia, para determinar en algunos meses del año y en algunas estaciones el probable origen del vapor que genera la precipitación media. Se relacionó el ciclo anual de lluvia en Argentina subtropical con el ciclo anual de OLR en la región tropical de Sudamérica y se estudió la relación entre las anomalías de ambas variables, con especial énfasis en la relación entre el ingreso de la convección al hemisferio sur (monzón americano) y el fin del mínimo relativo invernal de lluvia en Argentina subtropical.

PRIMERA PARTE: Estudio del contenido de isótopos en la precipitación como posibles indicadores del origen del vapor de agua en Argentina subtropical

1. Antecedentes y análisis de las variables

El contenido de tritio y de isótopos estables en el agua de lluvia ha sido estudiado con el fin de detectar el posible origen del vapor de agua que da lugar a la precipitación (Schotterer et al., 1996). En particular algunos estudios han sido realizados en la cuenca del Amazonas, donde a través de esta metodología se ha podido determinar la proporción de vapor con origen en el Atlántico y la obtenida por evapotranspiración y consecuente reciclado en la propia cuenca (Salati et al., 1978). En Argentina se ha realizado una recopilación y análisis de datos y se obtuvieron características isotópicas del agua de lluvia en el sector sudamericano (Albero y Panarello, 1980). Los isótopos de tritio (^3H), deuterio (^2H) y oxígeno 18 (^{18}O) son componentes raras de la molécula de agua. Una molécula normal de agua es $^1\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ (H_2O) mientras que una molécula de agua modificada isotópicamente con deuterio es $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$, con tritio es $^3\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ y con oxígeno 18 es $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$. Las moléculas de agua modificadas isotópicamente son más pesadas que las normales y la presión de vapor de saturación es sensiblemente más baja que la del agua normal. La fuente más grande de vapor en la atmósfera son los océanos tropicales, el transporte hacia el polo de este vapor está acompañado por lluvias y por lo tanto de una liberación de agua con determinado contenido isotópico. El contenido de isótopos (oxígeno 18, tritio y deuterio) en el agua de lluvia están aparentemente relacionados con la procedencia de las masas de vapor y con las condiciones ambientales que ese vapor experimenta desde su formación. La International Atomic Energy Agency (IAEA) en cooperación con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) creó en 1961 una red de medición de los mismos.

El tritio es un isótopo radiactivo cuyo nivel en la atmósfera es muy bajo. Sus valores naturales aumentaron varios órdenes de magnitud cuando fueron liberados a la atmósfera en la fase de prueba de las bombas de hidrógeno, alcanzando su valor máximo en 1963. A partir de ese momento su nivel decreció debido al lavado propio de la atmósfera y a la admisión de humedad desde los océanos, hasta que en la actualidad prácticamente se han vuelto a alcanzar los niveles naturales.

Los isótopos estables son el deuterio y el oxígeno 18. Como las moléculas de agua que contienen isótopos estables son más pesadas que las que no los contienen, al producirse la evaporación desde los océanos hacia la atmósfera lo hacen preferentemente las moléculas normales y en menor medida las enriquecidas isotópicamente. Por lo tanto al producirse evaporación, los océanos quedan con una proporción mayor de isótopos en relación con la que tenían antes de producirse la misma. Al revés, el agua con isótopos estables condensa antes que el agua normal al formarse gotas en una nube, la lluvia se ve isotópicamente enriquecida mientras que la nube es "vacuada" de isótopos a medida que la lluvia cae al suelo desde ella.

La red mide los cocientes:

deuterio/hidrógeno
oxígeno 18/oxígeno 16
tritio/hidrógeno

los dos primeros con un espectrómetro de masa y el tercero por decaimiento radiactivo. Estas mediciones de los isótopos están expresadas por convención como

partes por mil y son relativizadas con el desvío de los valores de la estación Viena tomada como referencia, respecto de la media standard del agua oceánica:

$$\delta = (R_{\text{muestra}}/R_{\text{standard}} - 1) * 1000$$

donde R indica desvío respecto del agua oceánica y Rstandard se refiere al valor de ese desvío en la estación de referencia:

$$\begin{aligned} R_{\text{muestra}} &= R_{\text{medido}} - R_{\text{agua oceánica}} \\ R_{\text{standard}} &= R_{\text{medido en Viena}} - R_{\text{agua oceánica}} \end{aligned}$$

Estos valores referentes medios del agua oceánica son:

$$\begin{aligned} \text{Ragua oceánica (deuterio)} &= \delta D = \text{deuterio/hidrógeno} = 156 \cdot 10^{-6} \\ \text{Ragua oceánica (oxígeno 18)} &= \delta^{18}\text{O} = \text{oxígeno 18/oxígeno 16} = 2005 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

Un valor negativo de la medición del isótopo indica un empobrecimiento del isótopo en cuestión respecto de la cantidad que posee la estación de referencia.

La relación tritio/hidrógeno es mucho menor y en general se expresa en unidades tritio ($1 \text{ UT} = 10^{-18}$).

En adelante se utiliza la notación: O18 para $\delta^{18}\text{O}$, DEU para el δD y TRI para la relación tritio/hidrógeno.

Es importante mencionar algunas características que se han observado respecto del contenido de estos isótopos (Rozanski et al., 1993):

- * las nubes convectivas producen precipitación con mayor contenido de oxígeno 18 que las estratiformes de igual base o tope
- * las características isotópicas varían mucho de evento en evento y aún dentro de un mismo evento de lluvia
- * se observa un mayor empobrecimiento de O18 cuanto más continental es la masa de aire debido a la falta de humedad. Si una masa de aire ingresa desde el mar hacia el continente se empobrece de isótopos. Este efecto es menos evidente en Sudamérica que en Europa debido a que la presencia de la selva amazónica aporta humedad por evapotranspiración.
- * se observa un mayor empobrecimiento de O18 a mayores alturas con una disminución que varía entre 0.15 y 0.30 ‰ también debido a la falta de humedad.
- * se observa un mayor empobrecimiento de O18 a menores temperaturas en latitudes medias y altas, la cantidad de moléculas de agua isotópicamente enriquecidas que cambian de fase depende de la temperatura
- * en latitudes bajas el contenido isotópico no depende tanto de la temperatura como sí de la precipitación: existe un mayor empobrecimiento en la estación lluviosa. Cuanto mayor es la cantidad de lluvia, menor es la proporción de isótopos que hay en ella

* en zonas continentales la diferencia entre el contenido isotópico de invierno y de verano es mayor que en zonas oceánicas

* en estaciones tropicales continentales se observa la influencia del desplazamiento de la CIT: mayor empobrecimiento de O18 en el período de mayor precipitación

* existe una relación lineal entre el contenido de O18 y de DEU: si se consideran las medias anuales de todas las estaciones del mundo en que se realizó la medición de isótopos, se determinó una recta típica conocida como GMWL (Global Meteoric Water Line) dada por:

$$\text{DEU} = 8 \text{ O18} + 10$$

Si la regresión se hace en base a los valores medios mensuales, el valor de la pendiente resulta levemente más bajo.

* Para una estación en particular, el valor de la ordenada al origen de la regresión lineal entre O18 y DEU, depende del origen del vapor de agua que genera la lluvia. Por ello se define el exceso de deuterio:

$$d = \text{DEU} - 8 \text{ O18}$$

que parece ser un buen indicador del origen del vapor. Por ejemplo: cuando la masa de aire proviene de una zona como la selva amazónica donde el vapor es generado en la selva y la lluvia es reevaporada en ella, resulta un valor mayor de d. Aún en estaciones que reciben vapor de una sola fuente se observan distintos comportamientos estacionales de d. Por ejemplo, en algunas estaciones de Europa como Viena o Valencia este parámetro tiene un mínimo en verano y un máximo en invierno.

* la distribución estadística de O18 es simétrica en zonas marinas, tiene asimetría negativa en latitudes medias continentales y es bimodal en zonas monzónicas.

Se estudiarán las características del contenido de isótopos en la precipitación de Argentina subtropical para relacionarlo con la procedencia del vapor de agua.

2. Datos Utilizados

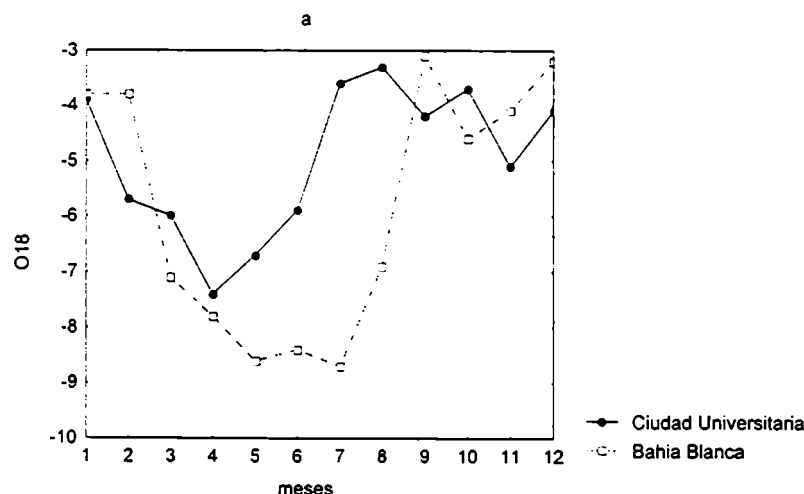
Se utilizaron mediciones de O18, DEU, TRI, precipitación y temperatura en 7 estaciones argentinas que integran la red de medición que se detalla en la TABLA I. El período con datos es corto pero es el único registro con que se cuenta y de acuerdo con los fines perseguidos por esta parte del trabajo, resultan suficientes, como se verá más adelante, para dar alguna idea en ciertos casos, del origen del vapor de agua. Las conclusiones deben considerarse con sumo cuidado pues dado el pequeño tamaño de la muestra, los resultados obtenidos pueden no ser estables.

TABLA I: Estaciones utilizadas para el estudio de los contenidos de isótopos estables en la precipitación.

ESTACION	UBICACION	PERIODO DE REGISTRO
Ciudad Universitaria (Bs.As)	34°38'S 58°28'O	79-92
Bahia Blanca (Bs.As)	38°47'S 62°16'O	83-88
Corrientes (Corrientes)	27°28'S 58°50'O	82-87
Los Perales (Jujuy)	24°11'S 65°19'O	82-88
Mendoza (Mendoza)	32°53'S 68°51'O	82-88
Salta (Salta)	24°47'S 65°24'O	82-87
La Suela (Córdoba)	30°35'S 64°35'O	82-87

3. Estudio de los ciclos anuales de oxígeno 18, tritio y deuterio

Las figuras 1a, 1b, 1c y 1d muestran las ondas anuales de O18 para las distintas estaciones, las figuras 2a, 2b, 2c y 2d para el DEU y las figuras 3a, 3b, 3c y 3d para el TRI. En ellas puede observarse que en estaciones ubicadas en latitudes más altas (Bahía Blanca, La Suela y Mendoza) se insinúa una onda anual de los isótopos estables (DEU y O18) con mínimos en invierno y máximos en primavera y verano mientras que en estaciones ubicadas a más bajas latitudes (Los Perales y Salta) los mínimos se producen en la estación lluviosa (verano), predominando la relación del contenido isotópico con la cantidad de precipitación más que con la temperatura. En Ciudad Universitaria el máximo se registra en invierno y primavera y el mínimo en otoño. El tritio, en cambio, no muestra un comportamiento que de origen a ninguna conclusión.



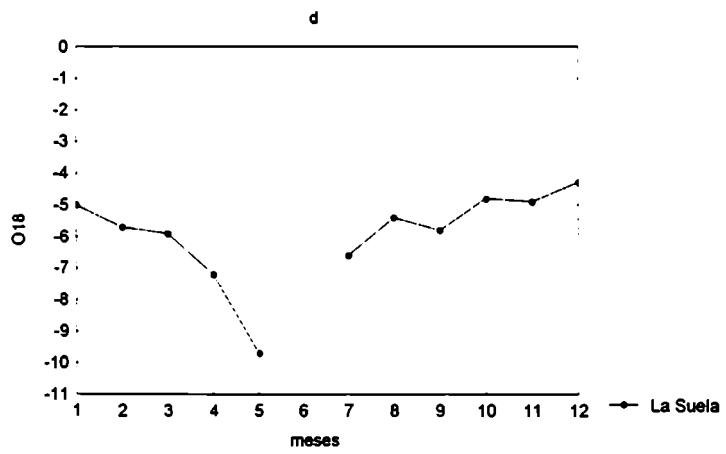
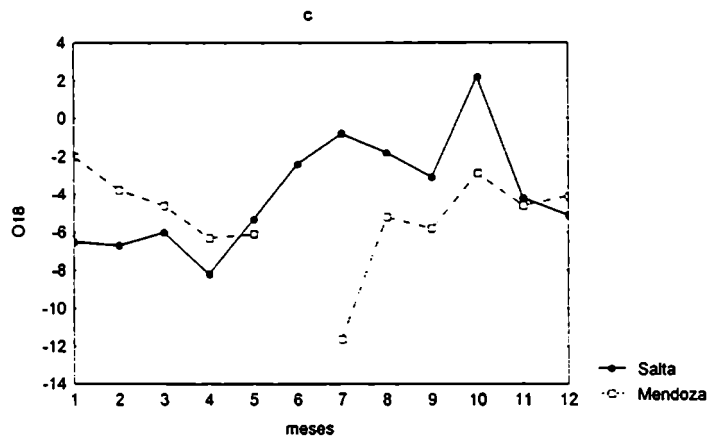
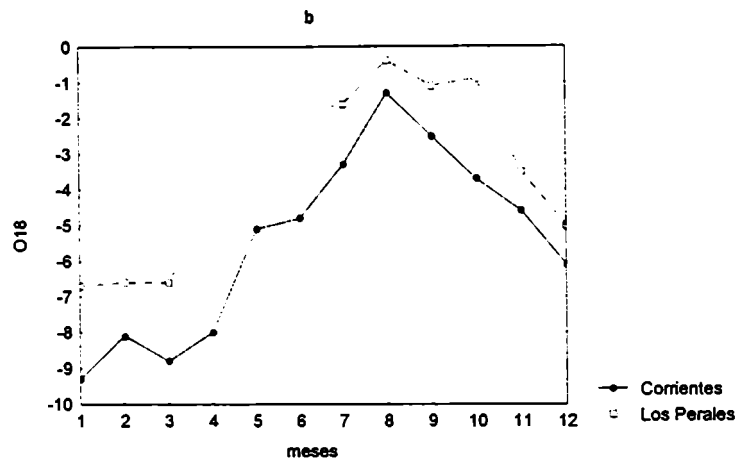
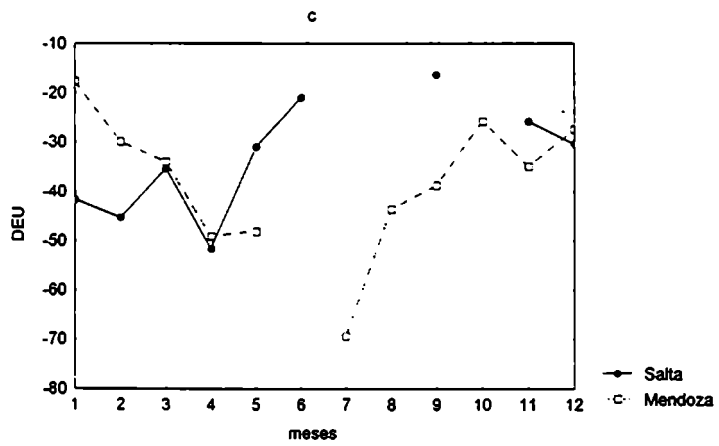
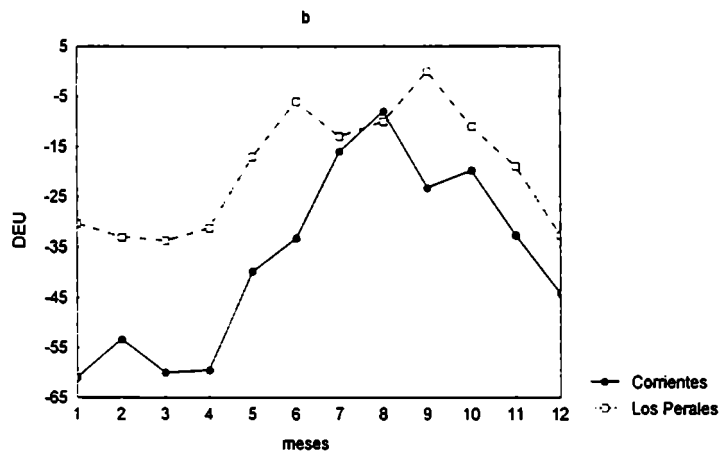
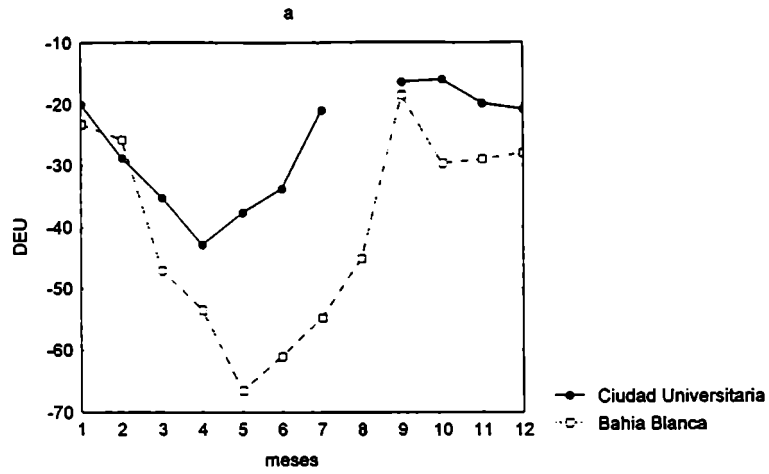


Figura 1: Onda anual de O18 en diferentes estaciones



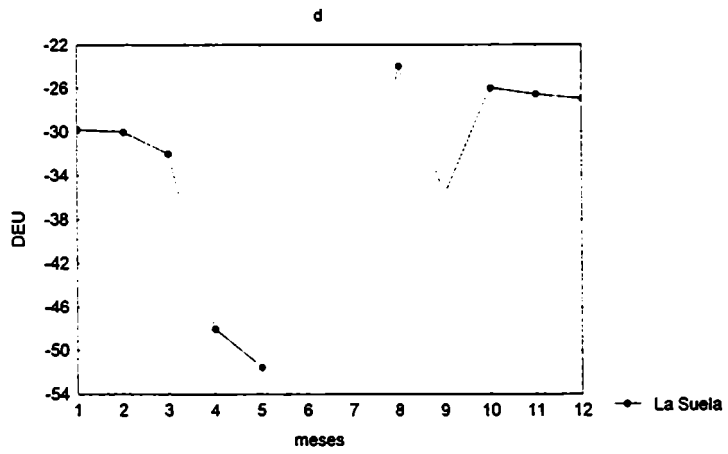
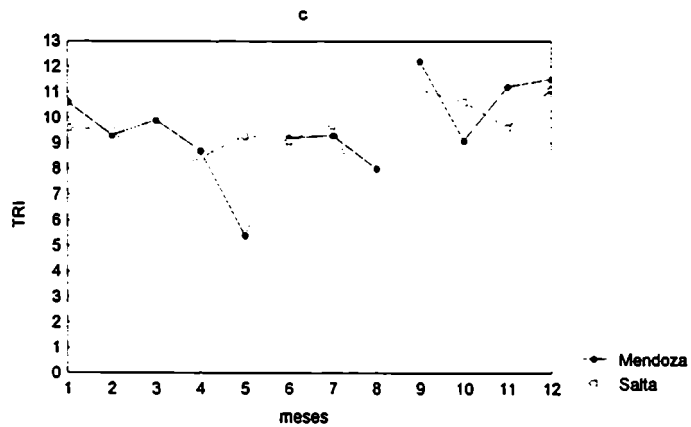
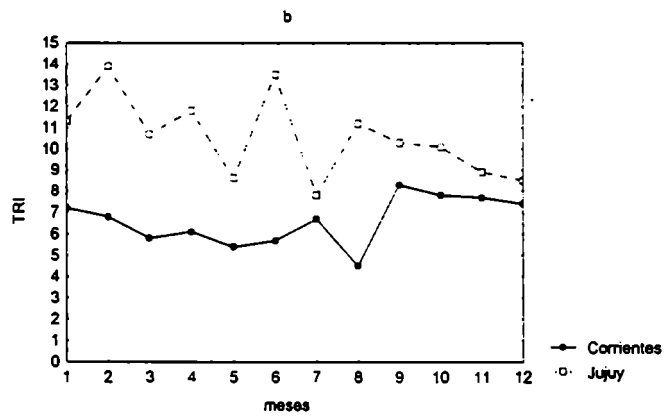
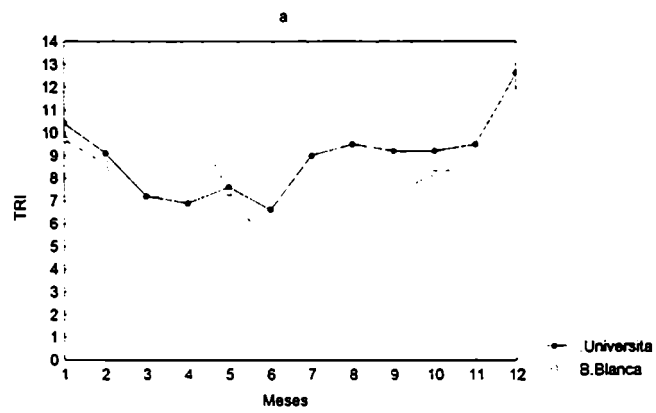


Figura 2: Onda anual de DEU en diferentes estaciones



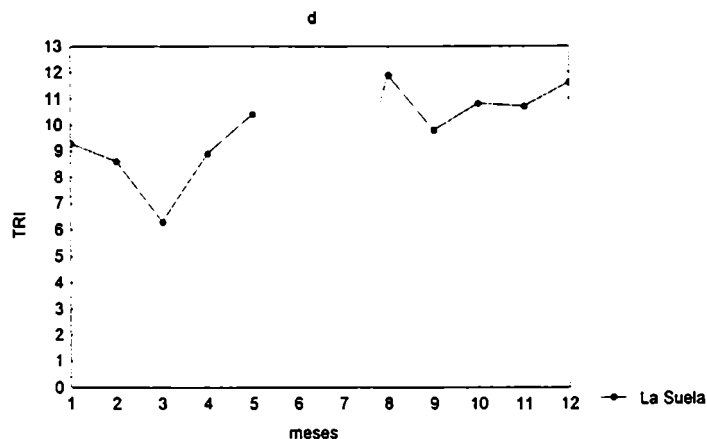
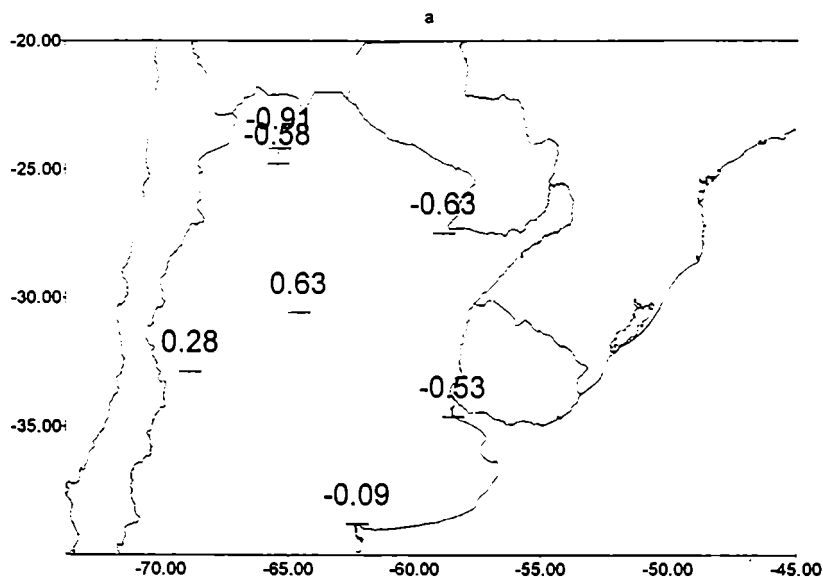


Figura 3: Onda anual de TRI en diferentes estaciones

Se correlacionaron los valores mensuales de cada uno de los isótopos con los valores registrados de precipitación acumulada en el mes (figuras 4a, 4b y 4c). En el caso del O18 se observan valores negativos de correlación (a mayor cantidad de precipitación mayor empobrecimiento de O18) en el norte y este que son significativos con el 95% de confianza, en Jujuy y Corrientes. Las correlaciones entre el contenido de DEU y la precipitación mensual presentan el mismo comportamiento que el O18 con valores negativos y significativos con el 95% de confianza en el norte: Jujuy, Salta y Corrientes. En el caso del TRI no se observaron correlaciones significativas.



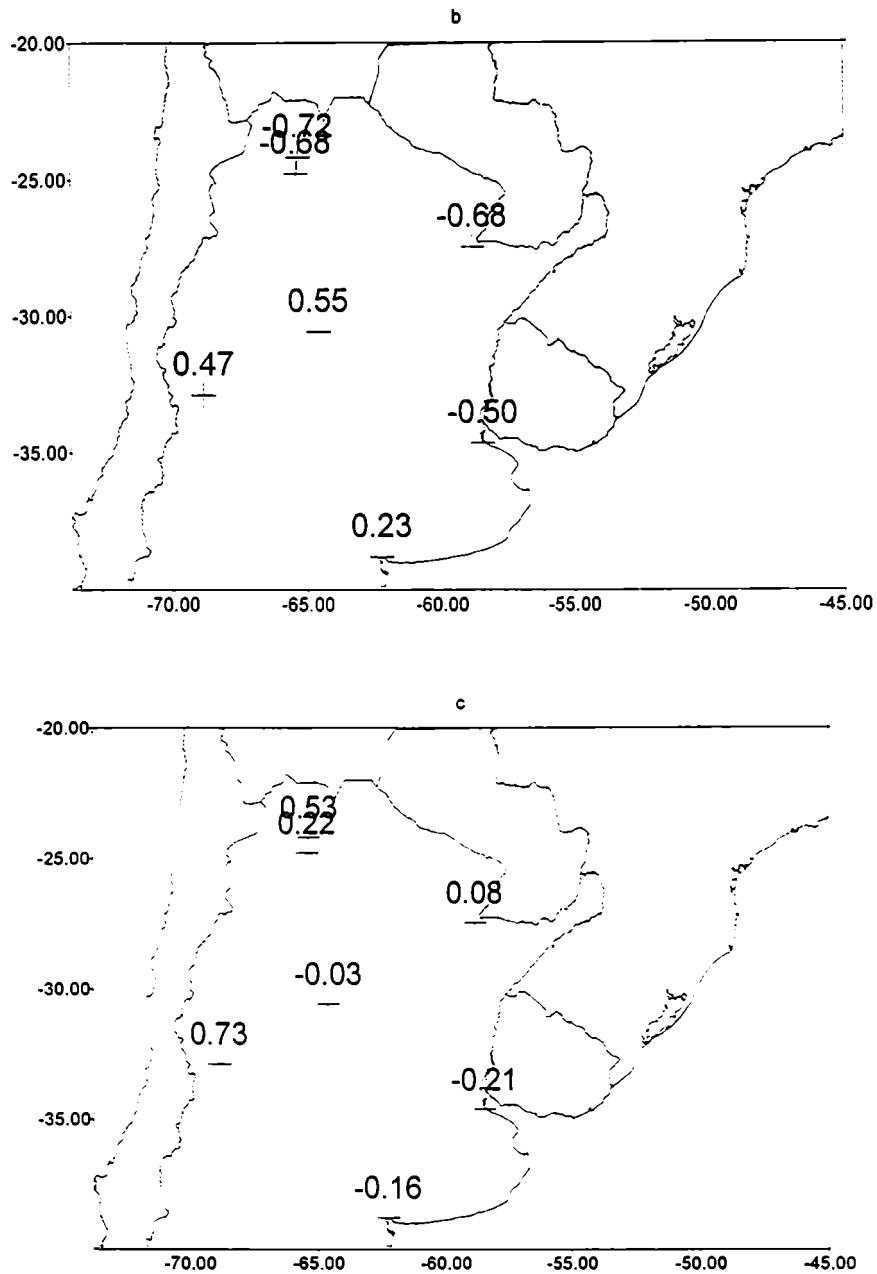


Figura 4: Correlación entre los contenidos de O18 (a), DEU (b) y TRI (c) y la precipitación mensual acumulada.

Análogamente se correlacionaron los contenidos de O18, DEU y TRI con la temperatura media mensual registrada (figuras 5a, 5b y 5c). En el caso del O18 y del DEU se observan correlaciones positivas (mayor empobrecimiento a menores temperaturas) en las estaciones de latitudes medias, al sur del área de estudio. Las correlaciones resultaron significativas con el 95% de confianza en Bahía Blanca y Mendoza. Esto marca el predominio de la relación entre contenido isotópico y temperatura para estas latitudes. Las correlaciones no resultaron significativas en el caso del TRI.

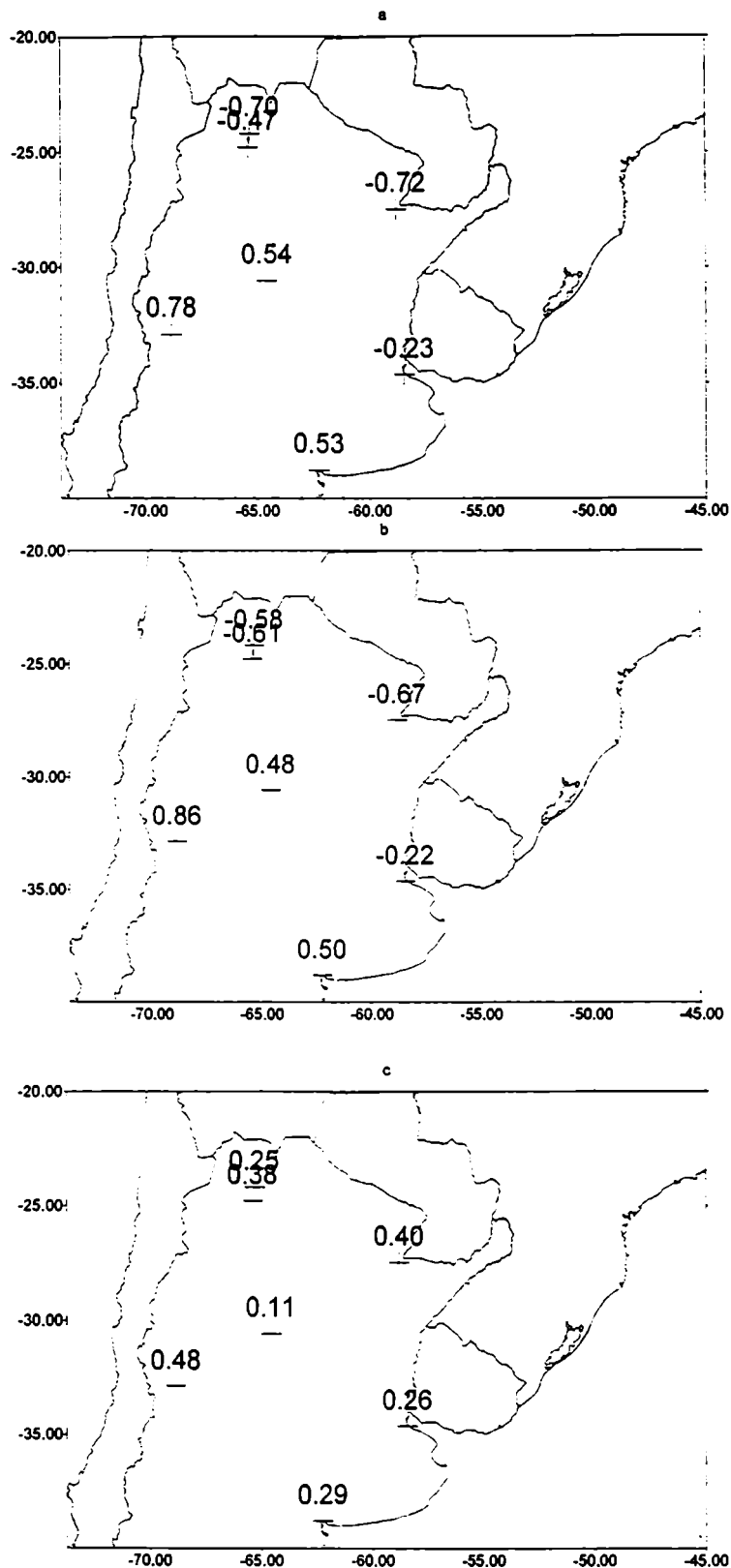
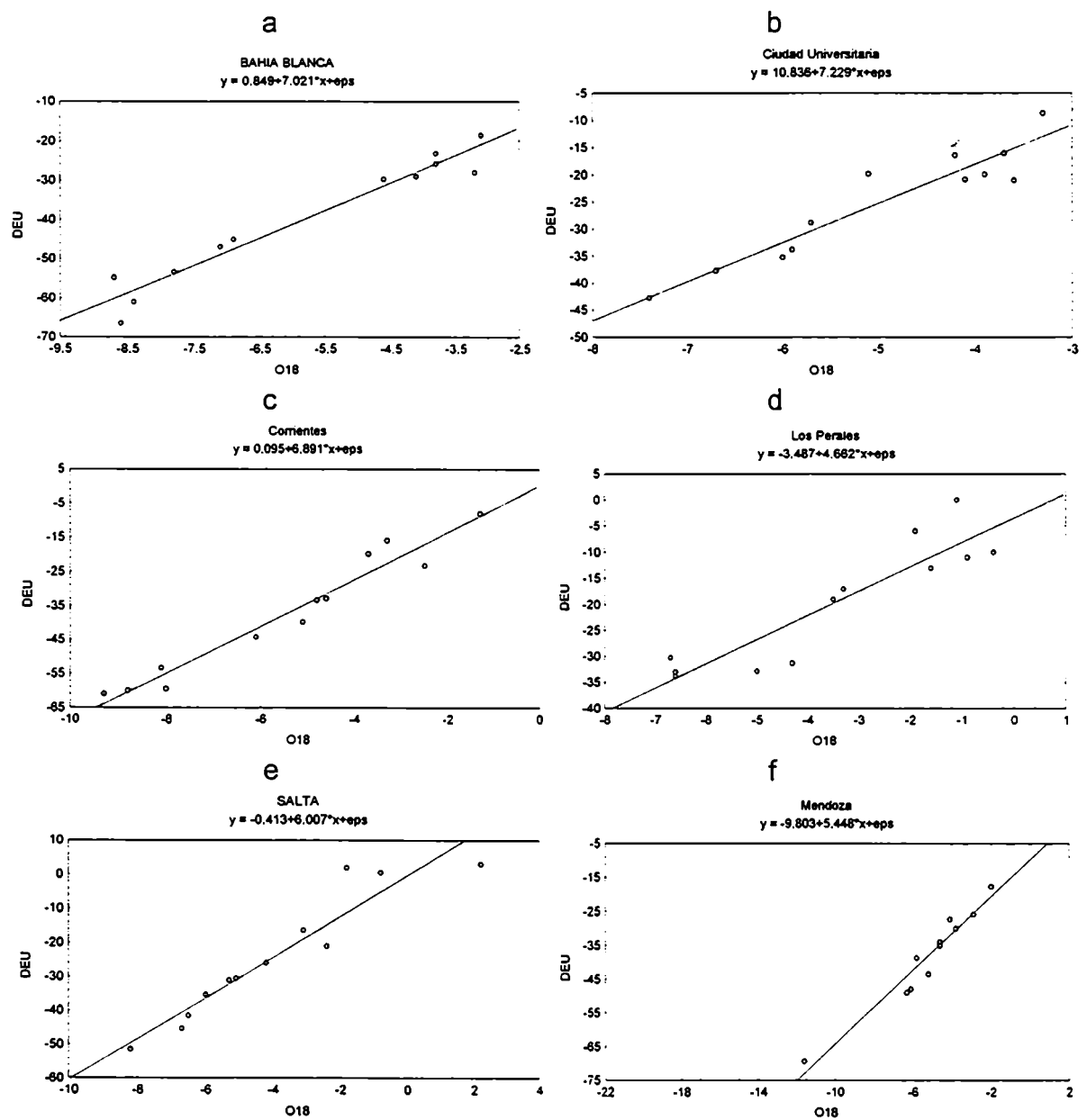


Figura 5: Correlación entre los contenidos de O18 (a), DEU (b) y TRI (c) y la temperatura media mensual.

Se analizó la relación existente entre los contenidos medios mensuales de O18 y de DEU en la precipitación. En todos los casos el ajuste a una recta es bueno (figuras 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f y 6g). Las pendientes obtenidas para las distintas estaciones fueron:

Ciudad Universitaria: 7.2
 Bahía Blanca: 7.0
 Corrientes: 6.9
 Los Perales: 4.6
 Salta: 6.0
 Mendoza: 5.4
 La Suela: 5.7

Se observa una disminución de la pendiente hacia el oeste y valores de las mismas menores que 8 que es el valor obtenido al construir la GMWL.



g

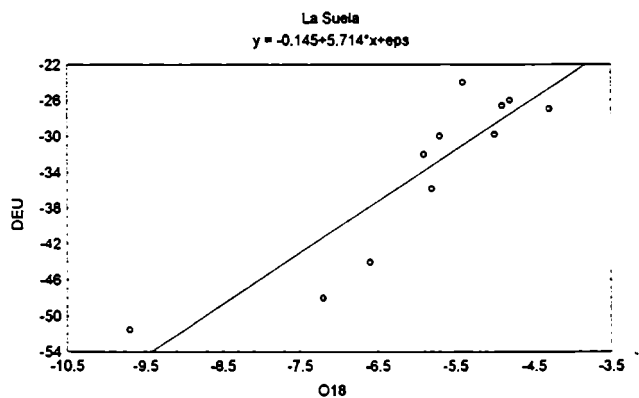
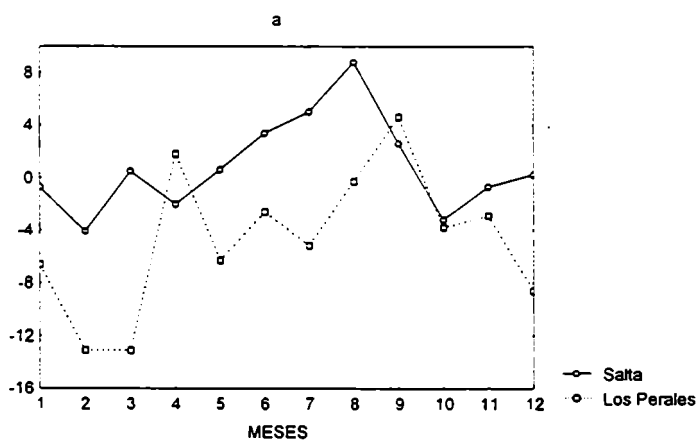


Figura 6: Relación entre el DEU y el O18 para las distintas estaciones.

Según la definición de exceso de deuterio (d) y en función de las pendientes calculadas para cada una de las estaciones utilizadas resulta:

$$d = DEU - \text{pendiente} * O18$$

La figura 7 muestra la onda anual de d en cada una de las estaciones de medición. Sólo en algunas estaciones se insinúa una onda anual con mínimos en invierno y máximos en verano (Ciudad Universitaria y Bahía Blanca) y al revés en el noroeste (Salta y Los Perales). El comportamiento individual se detallará más adelante, al presentarse los campos espaciales de esta variable.



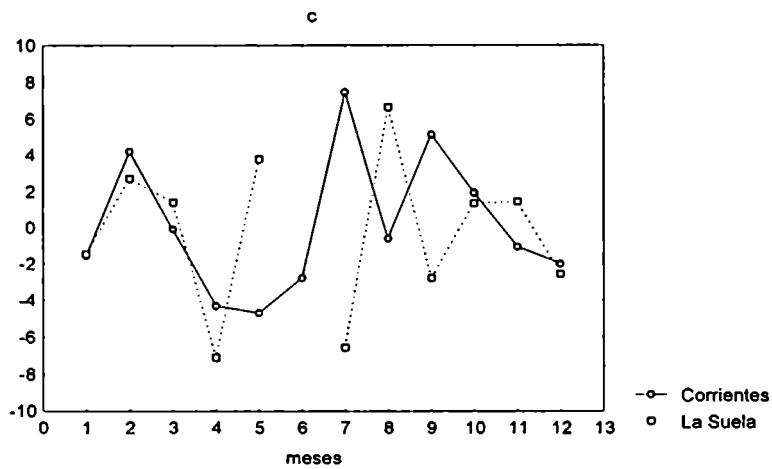
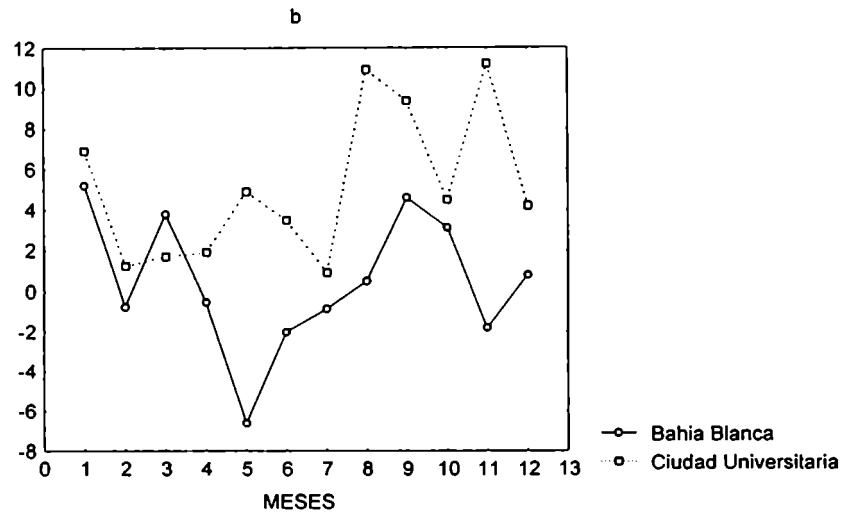
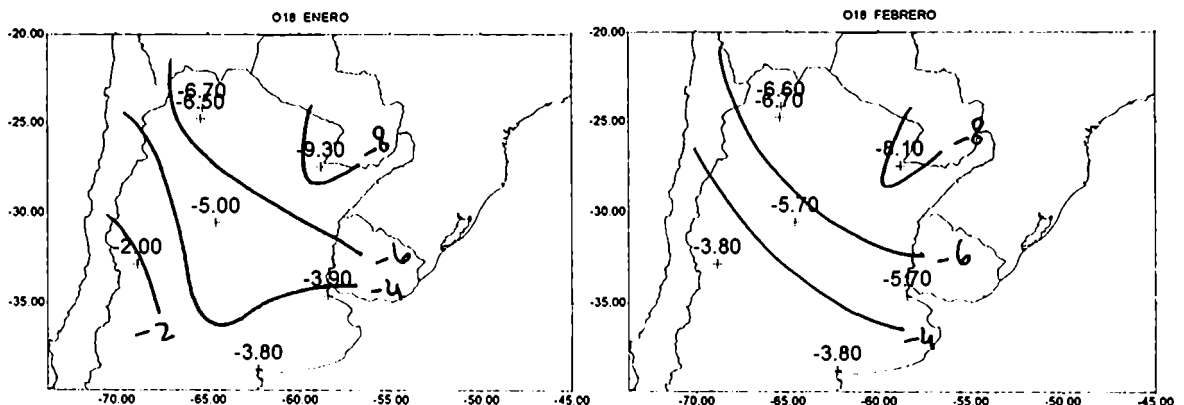
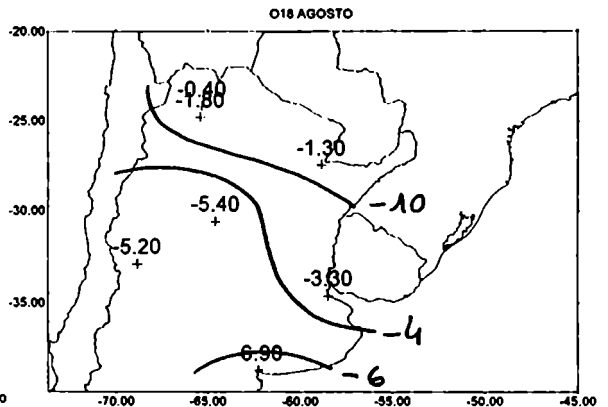
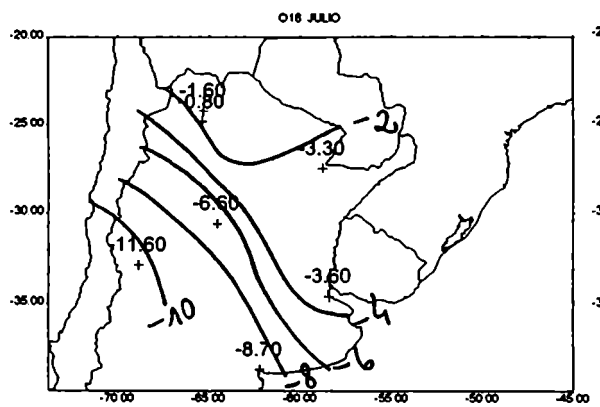
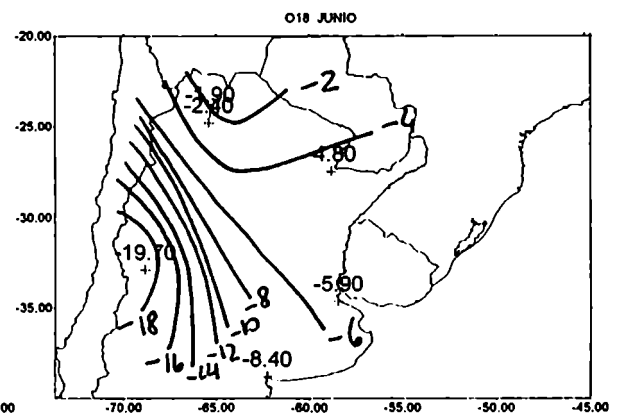
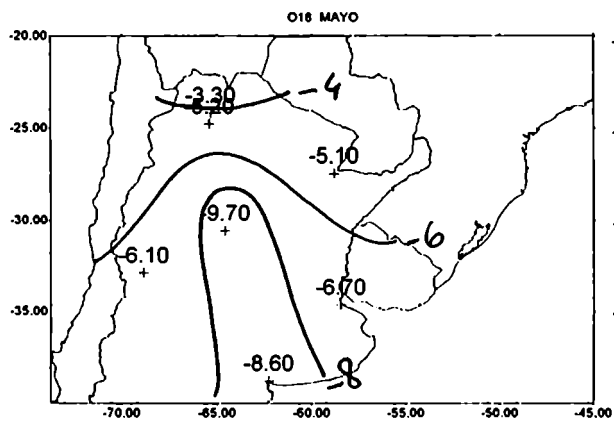
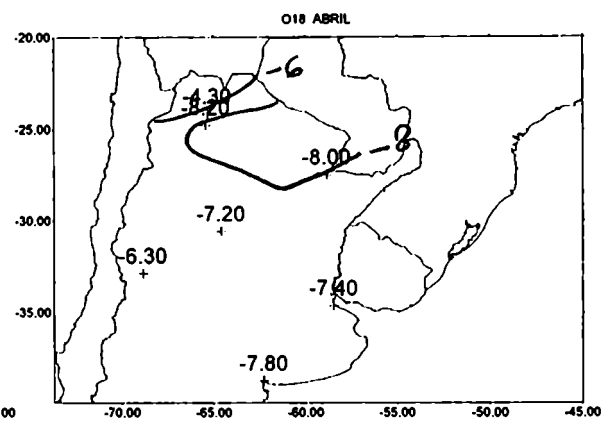
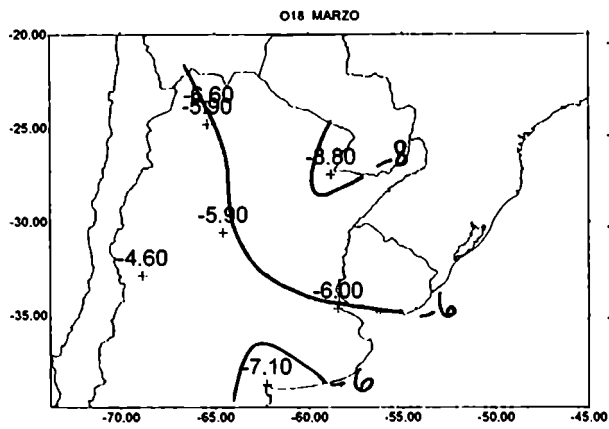


Figura 7: Evolución anual del exceso de deuterio

Se construyeron los campos medios mensuales de contenido de O18 (figura 8) en el agua de la precipitación acumulada media mensual para poder visualizar espacialmente su comportamiento. Se observa un mayor empobrecimiento de O18 en el noreste en verano (entre diciembre y marzo) y un menor empobrecimiento en el norte desde abril hasta noviembre. Nuevamente puede observarse que en latitudes bajas existe una marcada dependencia con la precipitación: mayores empobrecimientos en la época de lluvia. En cambio, en latitudes medias se observa la dependencia con la temperatura: mayor empobrecimiento en invierno.





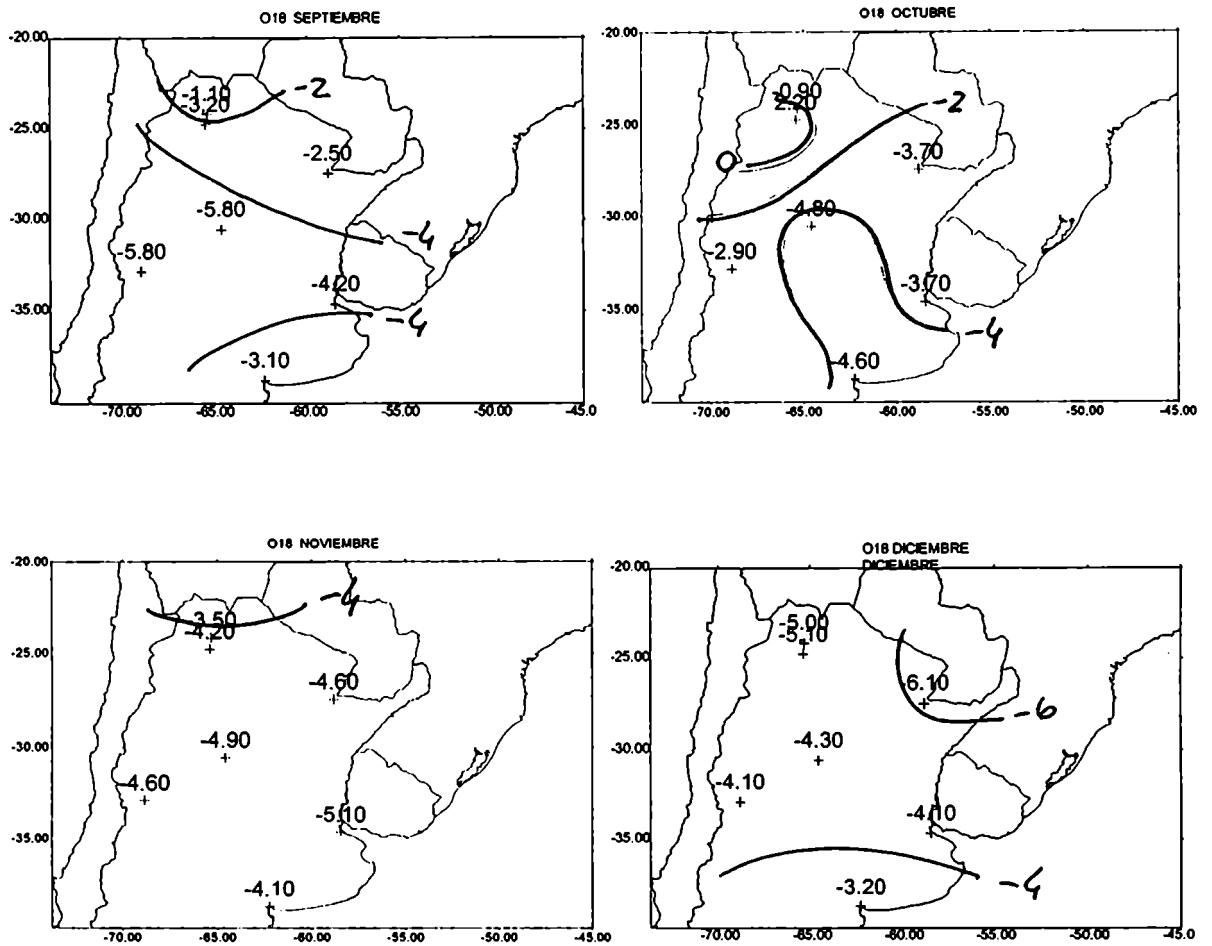
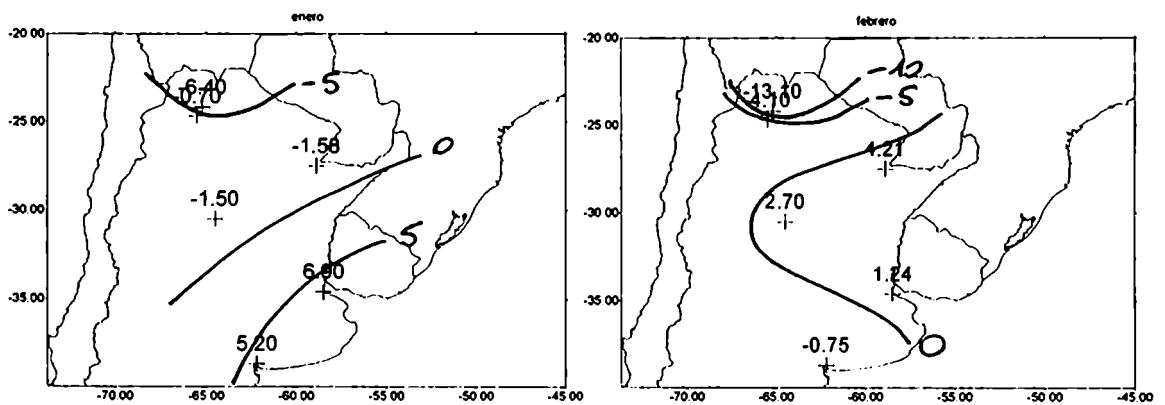
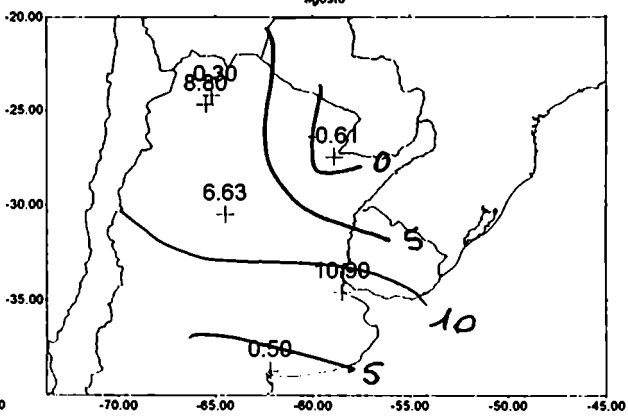
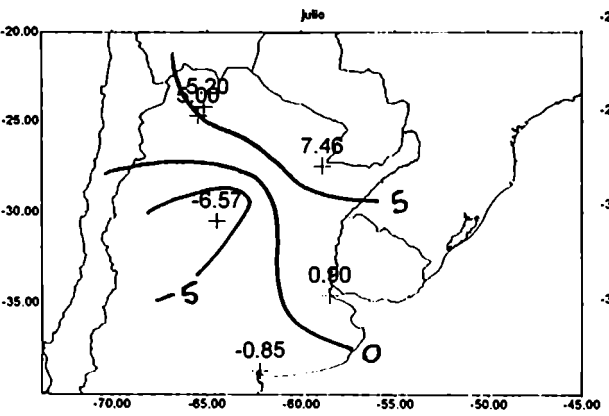
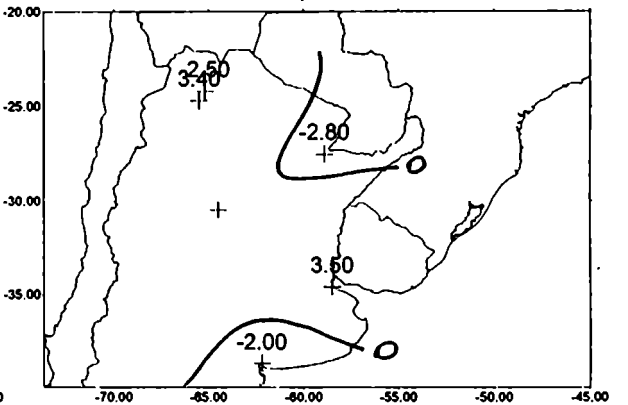
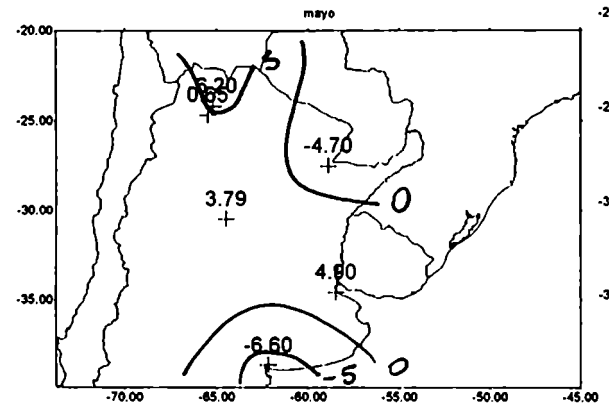
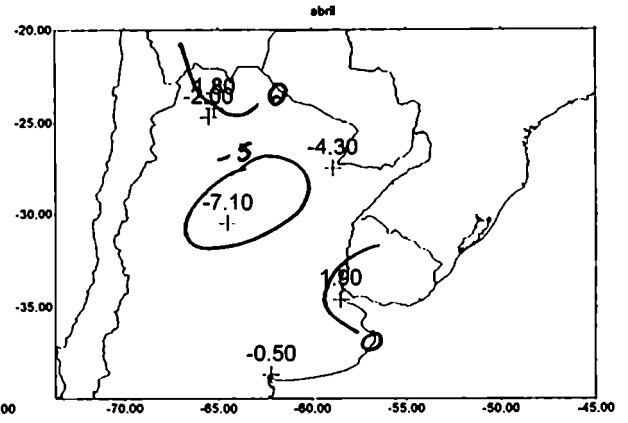
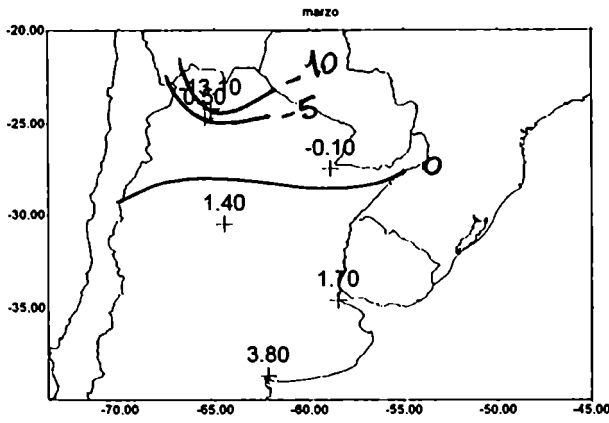


Figura 8: Campos medios mensuales de contenido de O18 en la precipitación.

La figura 9 muestra los campos medios mensuales de exceso de deuterio.





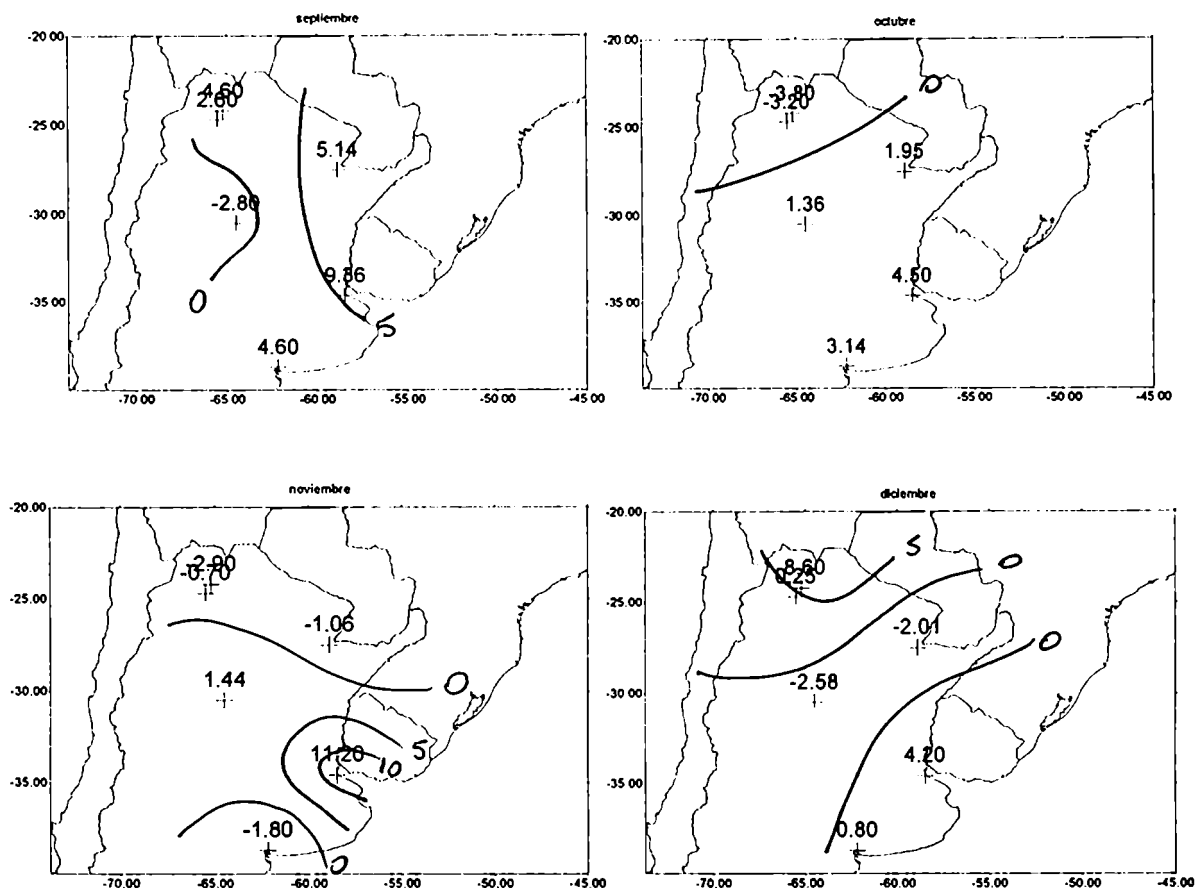


Figura 9: Campos medios mensuales de d .

Tanto en la figura 7 como en la figura 9, que son dos formas diferentes de observar el comportamiento de d (desde el punto de vista temporal y espacial) pueden observarse respuestas diversas. En las latitudes medias, Ciudad Universitaria y Bahía Blanca tienden a tener máximos positivos a fines del invierno o entrando en primavera (septiembre y agosto respectivamente) y en enero, mientras que el comportamiento de las mínimos difiere en ambas estaciones. En el noroeste los máximos, positivos, también se dan en la misma época (agosto en Salta y septiembre en Los Perales) y los mínimos se observan en verano (febrero en Salta y febrero y marzo en Los Perales). En Corriente también se observa una tendencia a producir máximos en primavera (septiembre) aunque existe uno aún mayor en julio y mínimos en mayo. En La Suela el máximo se da en agosto y el mínimo en abril. Si bien no se ha podido encontrar una explicación general para la posición de estos extremos, es conveniente tener claro cómo la variable d evoluciona en cada una de las estaciones. Los campos medios y la evolución durante el año de estas variables se construyeron con el fin de conocer el comportamiento medio de las mismas y para validar la escasa información disponible. En lo sucesivo se utilizarán estas variables (oxígeno 18 y exceso de deuterio) para dilucidar si son representativas del origen de la humedad del aire.

4. Relación entre los contenidos de O18, DEU y TRI en la precipitación y el posible origen de la misma.

Se utilizaron datos de precipitación diaria en estaciones meteorológicas cercanas a las estaciones de la red de medición de isótopos, para detectar casos (entendiéndose por "caso" a la precipitación acumulada en una estación en particular y en un mes determinado) en que la mayor proporción de la lluvia mensual acumulada provenga de pocos (uno o dos) eventos de lluvia. Para estos casos se utilizaron datos de viento en 850 Hpa en las estaciones argentinas que realizan radiosondeos (Salta, Resistencia, Córdoba, Mendoza, Ezeiza, Santa Rosa, Neuquén y Comandante Espora), cartas analizadas de superficie, datos de lluvia cuatriddiurna y tiempo pasado para detectar si en los eventos en que se produjo lluvia, la masa de aire tuvo origen atlántico o continental. Para el período 1985-1987 no se cuenta con los datos de viento consistidos por lo cual sólo se consideraron los "casos" del período 1982-1983, los cuales resultan suficientes para el análisis. Es importante notar que una gran proporción de casos continentales son situaciones donde el aire proviene de la región tropical. Para ello en cada una de las situaciones se calculó la trayectoria de la masa de aire de la siguiente forma:

1. se determinó la hora de inicio de la lluvia
2. se definió una velocidad de traslado de la masa de aire como el promedio entre el viento en 850 Hpa y el viento en superficie (o el viento geostrófico calculado con las cartas sinópticas de superficie, en el caso de no contar con la información de viento real)
3. para determinar la dirección con que se trasladó la masa de aire, se utilizaron los valores del viento en 850 Hpa y viento en superficie. Se le asignó un mayor peso (0.75) al viento en 850 Hpa y menor peso (0.25) al viento en superficie, para disminuir el error que podría producir la fricción, sobre todo en zonas con orografía marcada
4. con estos elementos se estimó la posición de la masa de aire 24 horas antes de producida la lluvia
5. el método se iteró las veces necesarias para establecer si la masa de aire tuvo origen continental o atlántico.

Esta metodología pudo aplicarse siempre que los datos estuvieran disponibles. Este hecho unido al corto período de registro de medición de isótopos y a que como su medición es mensual debieron elegirse situaciones donde en todo el mes la lluvia fuera predominantemente de un solo evento, hizo que sólo 29 casos pudieran ser clasificados.

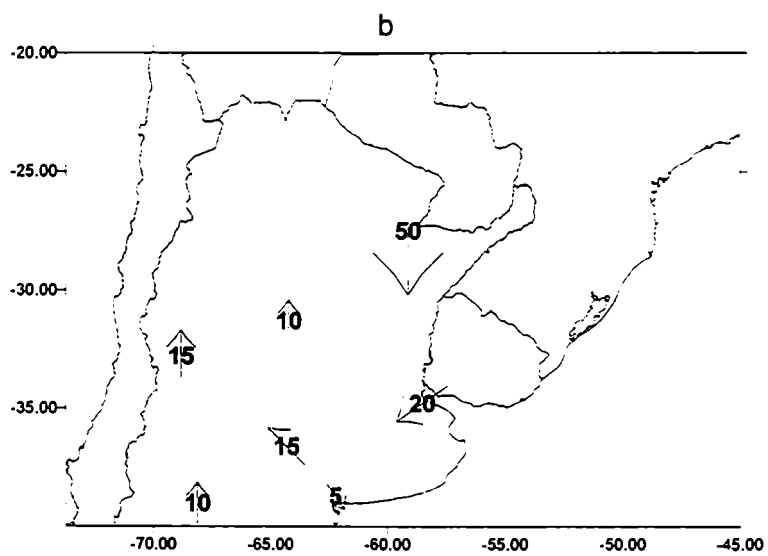
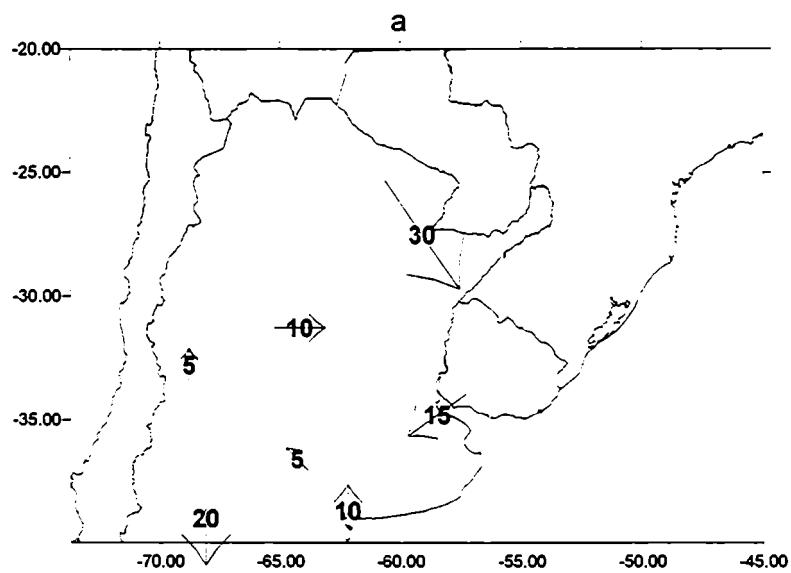
La TABLA II muestra las situaciones donde se pudo establecer el origen de la masa de aire precipitante.

TABLA II: Situaciones que resultaron clasificadas como Continentales (C) o Atlánticas (A).

ESTACION	FECHA	CLASIFICACION	
Bahía Blanca	septiembre 1983	A	
	enero 1983	A	
	febrero 1983	A	
	diciembre 1983	A	
	marzo 1984	A	
	mayo 1983	A	
Ezeiza	agosto 1983	A	
	enero 1983	A	
	marzo 1983	A	
	septiembre 1983	A	
	marzo 1984	A	
	abril 1984	A	
	septiembre 1984	A	
	diciembre 1984	A	
Jujuy	abril 1983	C	
	noviembre 1982	C	
	General Paz (Corrientes)	marzo 1982	A
		abril 1982	C
		marzo 1983	C
marzo 1984		C	
Salta	abril 1984	C	
	diciembre 1982	C	
	Villa María (Córdoba)	mayo 1983	C
		julio 1983	A
		agosto 1983	C
enero 1984		A	
	abril 1984	A	
	septiembre 1984	A	
	octubre 1984	C	

A modo de ejemplo se presentan dos situaciones que posteriormente resultaron clasificadas, una como atlántica y otra como continental (tropical). La primera corresponde a agosto de 1983 en Bahía Blanca donde se registraron 20 mm de precipitación que correspondieron únicamente al episodio de lluvia acumulada entre las 9 HOA del 27 y las 9 HOA del 29 de agosto. La lluvia se inició aproximadamente a las 20 HOA del 27 de agosto. El campo de vientos en 850 Hpa más cercano a esa hora es el de las 00 GMT del 28. La velocidad de traslado de la masa de aire fue de 6m/s desde el este. La figura 10 muestra el campo de vientos en 850 Hpa los días 27 y 28 y la trayectoria calculada para la masa de aire. Puede observarse como a las 00 GMT del 27 la masa de aire estaba en el océano Atlántico, es aire originado en el anticiclón. Ese día se constató una velocidad de traslado de 5 m/s del sudeste que indica aún más fehacientemente la procedencia atlántica del aire. Los días anteriores también tuvieron recorrido atlántico por lo cual

es probable que el origen del vapor sea oceánico. La situación se clasificó como Atlántica y se la relacionó con los valores de los isótopos estables medidos en Bahía Blanca (estación de medición de isótopos) para ese mes donde se registró una precipitación de 22.7 mm.



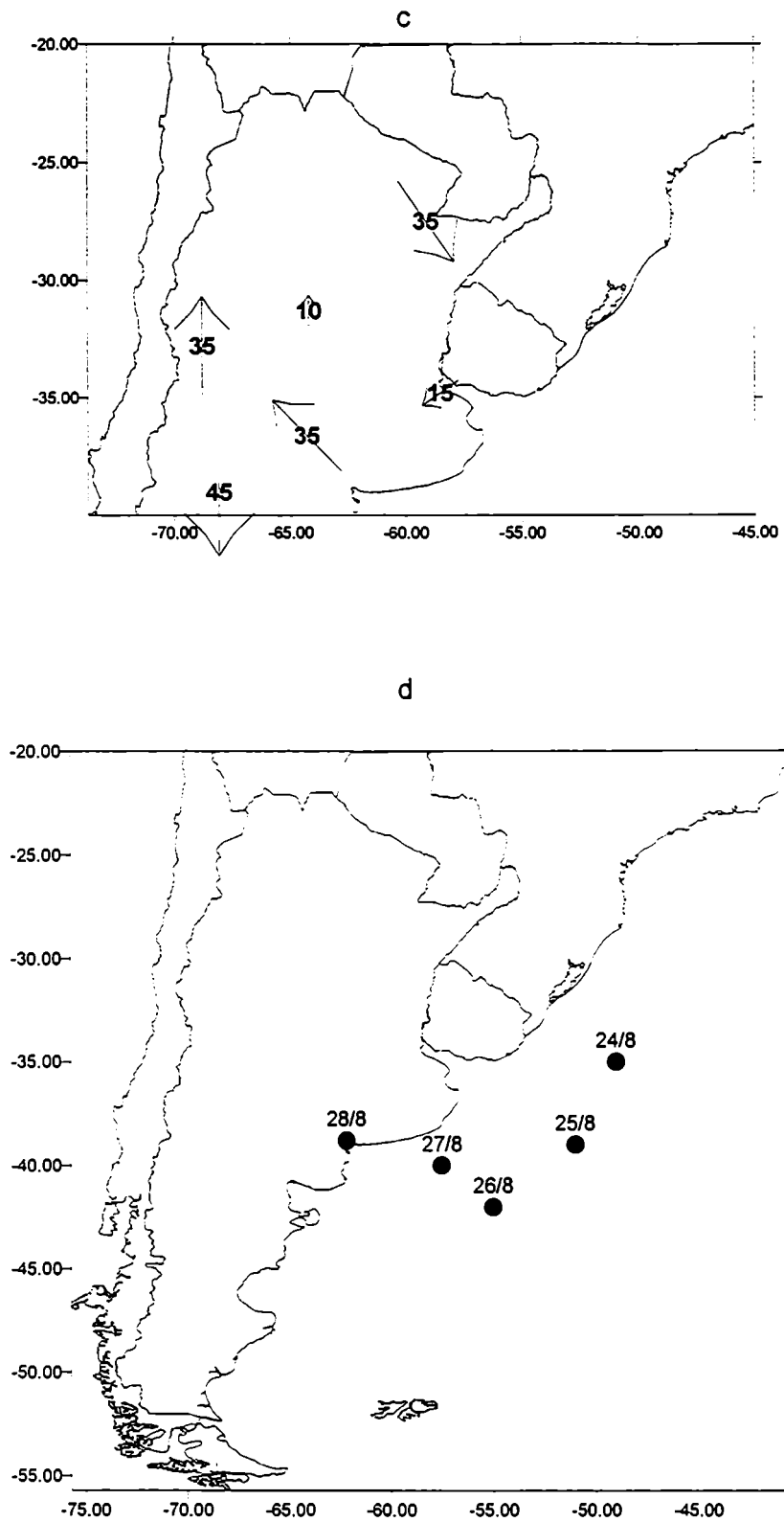
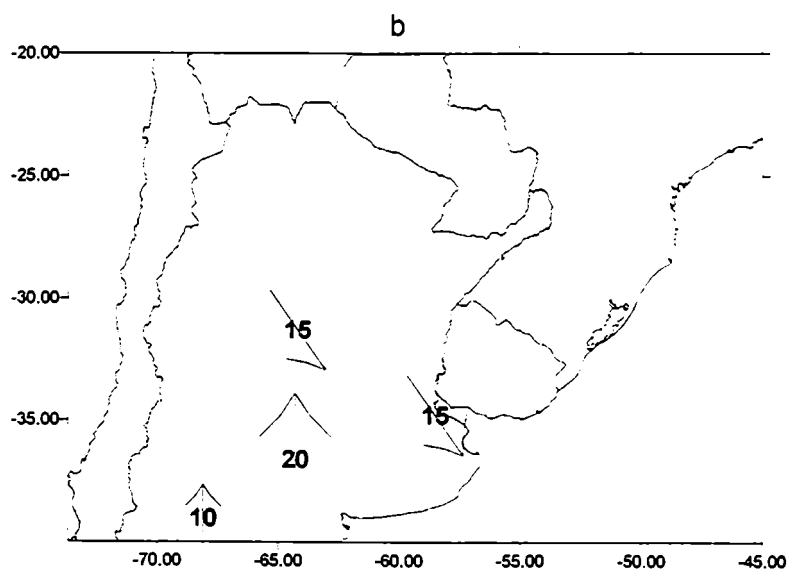
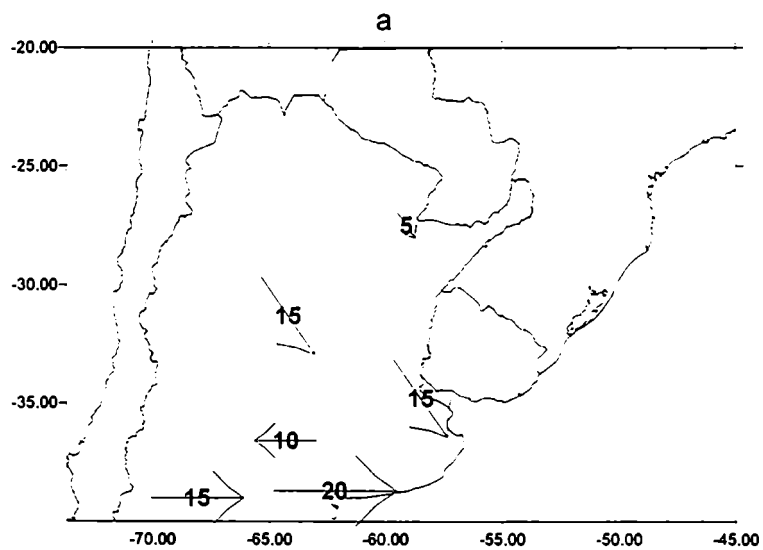


Figura 10: Situación correspondiente a un episodio de lluvia en Bahía Blanca en agosto de 1983, el campo de vientos en 850 Hpa a las 12 GMT el 26/8 (a), el 27/8 (b), el 28/8 (c) y la trayectoria de la masa de aire desde el 24 hasta el 28 de agosto (d). En los campos de viento aparece indicada la dirección discretizada en una de las 8 direcciones principales y la intensidad en nudos.

La segunda situación corresponde a abril de 1984 en General Paz (figura 11) donde se registraron 51 mm de precipitación acumulada entre las 9 Hoas del 16 y las 9 Hoas del 17. La lluvia comenzó a las 14 Hoas del 16 de abril. En la carta de superficie de las 12 GMT del 16 de abril se registraba viento del noreste de 5m/s y en 850 Hpa el viento era del noroeste de 22.m/s. La velocidad de traslado de la masa de aire fue de 13 m/s desde el norte. A las 12 GMT del 15 de abril la masa de aire estaba en el norte de Paraguay. Allí la existencia de viento en superficie de 3 m/s del norte indica la procedencia tropical del aire.



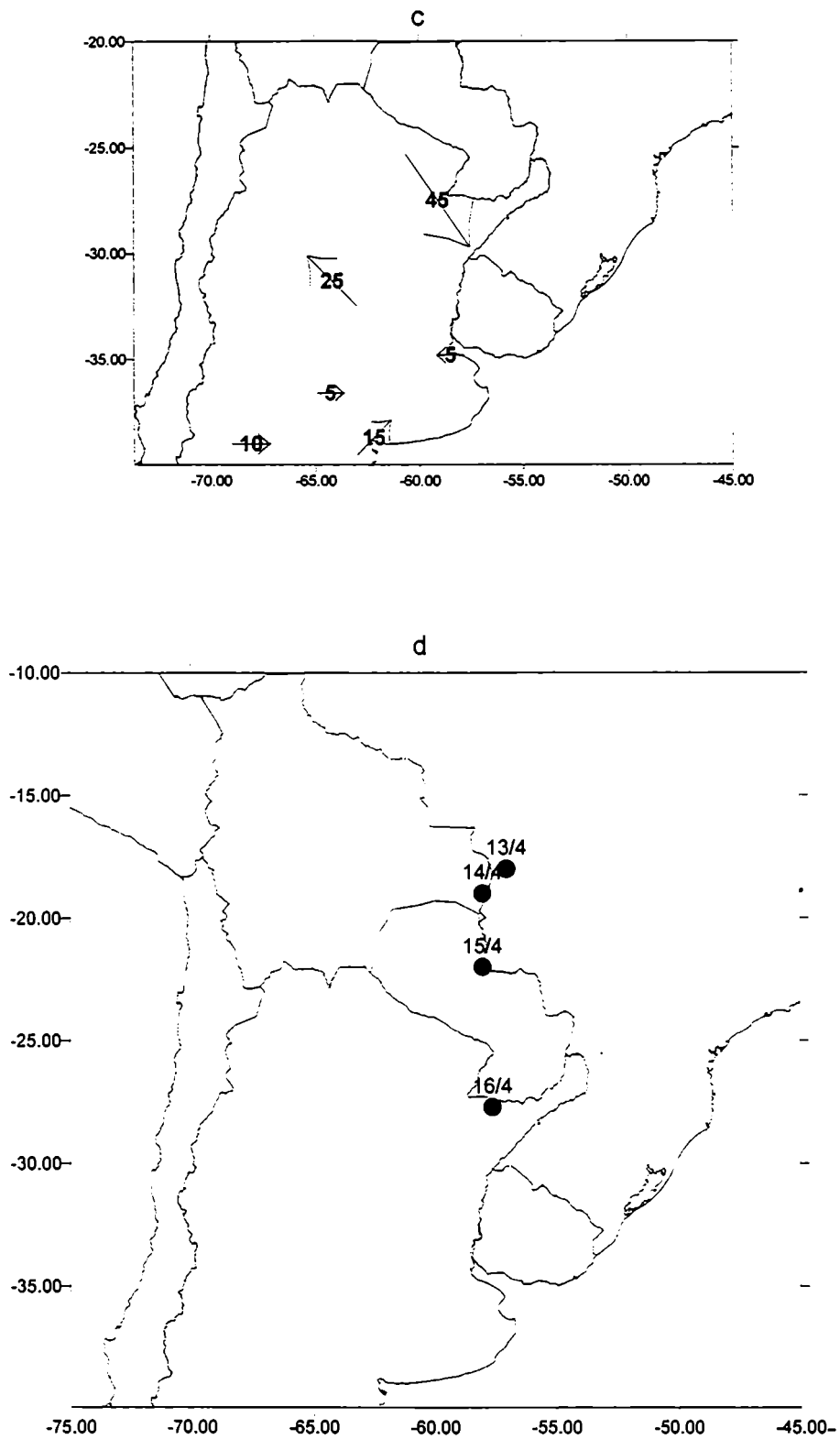
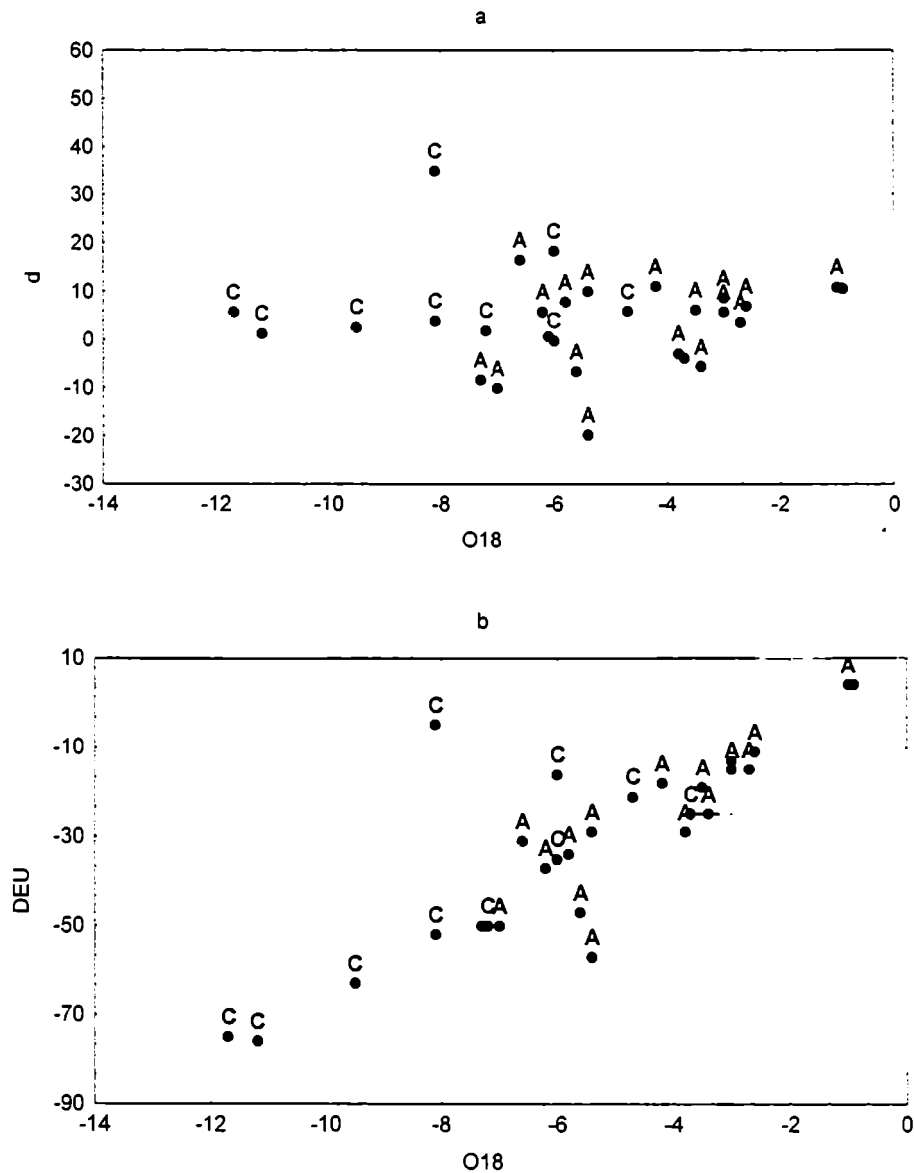


Figura 11: Situación correspondiente a un episodio de lluvia en General Paz en abril de 1984, campo de vientos en 850 Hpa a las 12 GMT el 14/4 (a), el 15/4 (b), el 16/4 (c) y la trayectoria de la masa de aire desde el 13 hasta el 16 de abril (d). En los campos de viento aparece indicada la dirección discretizada en una de las 8 direcciones principales y la intensidad en nudos.

Para todas las situaciones se calculó el exceso de deuterio (d) según la expresión detallada anteriormente utilizando la pendiente obtenida en la estación de medición de isótopos más cercana, donde los valores de DEU y O18 fueron considerados.

La figura 12 muestra el comportamiento de las distintas variables (d, DEU y TRI) en función del contenido de O18 para las situaciones clasificadas y puede observarse a simple vista que las variables d y O18 son las que mejor discriminan los dos grupos: Atlántico (A) y Continental (C).



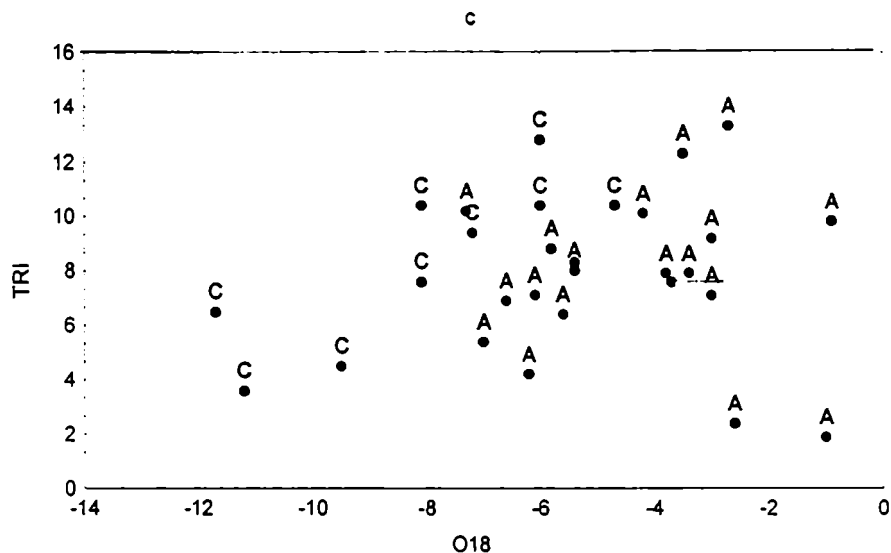
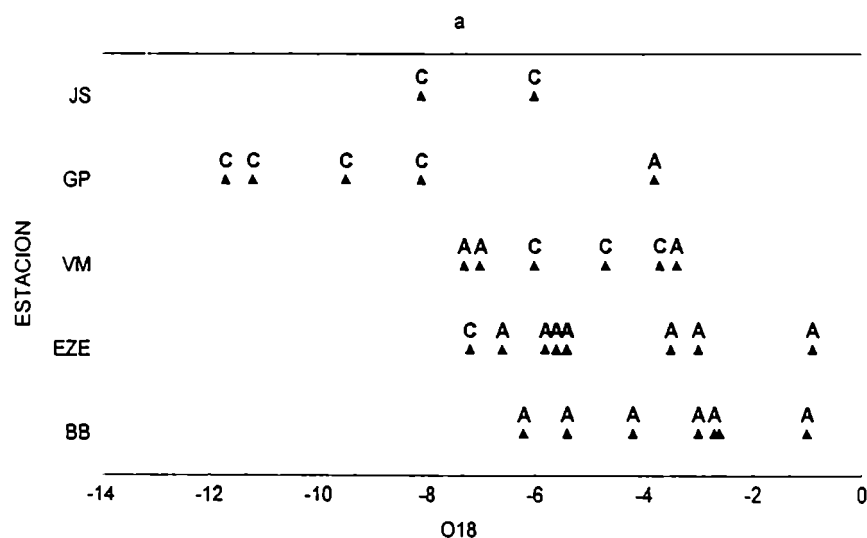


Figura 12: Gráficos de exceso de deuterio (a), deuterio (b) y tritio (c) en función del contenido de O18 para todas las situaciones clasificadas

Con el fin de asegurar que d y O18 son las variables que mejor separan los grupos se graficaron todas las variables para cada estación separadamente (figura 13). Las estaciones están ordenadas por latitud: BB es Bahía Blanca, EZE es Ezeiza, VM es Villa María, GP es General Paz y JS son Salta y Jujuy. Puede observarse que el O18 (figura 13a) discrimina en todas las estaciones: todos los valores menores que -8 corresponden a situaciones continentales y todos los mayores que -4 (salvo un caso) corresponden a situaciones atlánticas, la franja entre -4 y -8 presenta ambas situaciones lo que lleva a pensar que es necesaria otra variable además del O18 para discriminar los dos grupos. El exceso de deuterio (figura 13b) muestra que en latitudes bajas (Salta, Jujuy, General Paz y Villa María) los valores positivos de d responden (salvo en un solo caso) a situaciones continentales y los negativos (también salvo en un caso) corresponden a situaciones atlánticas. Esta discriminación no se observa en latitudes medias (Ezeiza y Bahía Blanca) donde si bien hay un predominio casi absoluto de situaciones atlánticas, éstas no necesariamente registran valores negativos de d. Tanto el deuterio como el tritio (figuras 13c y d) no discriminan en ninguna latitud.



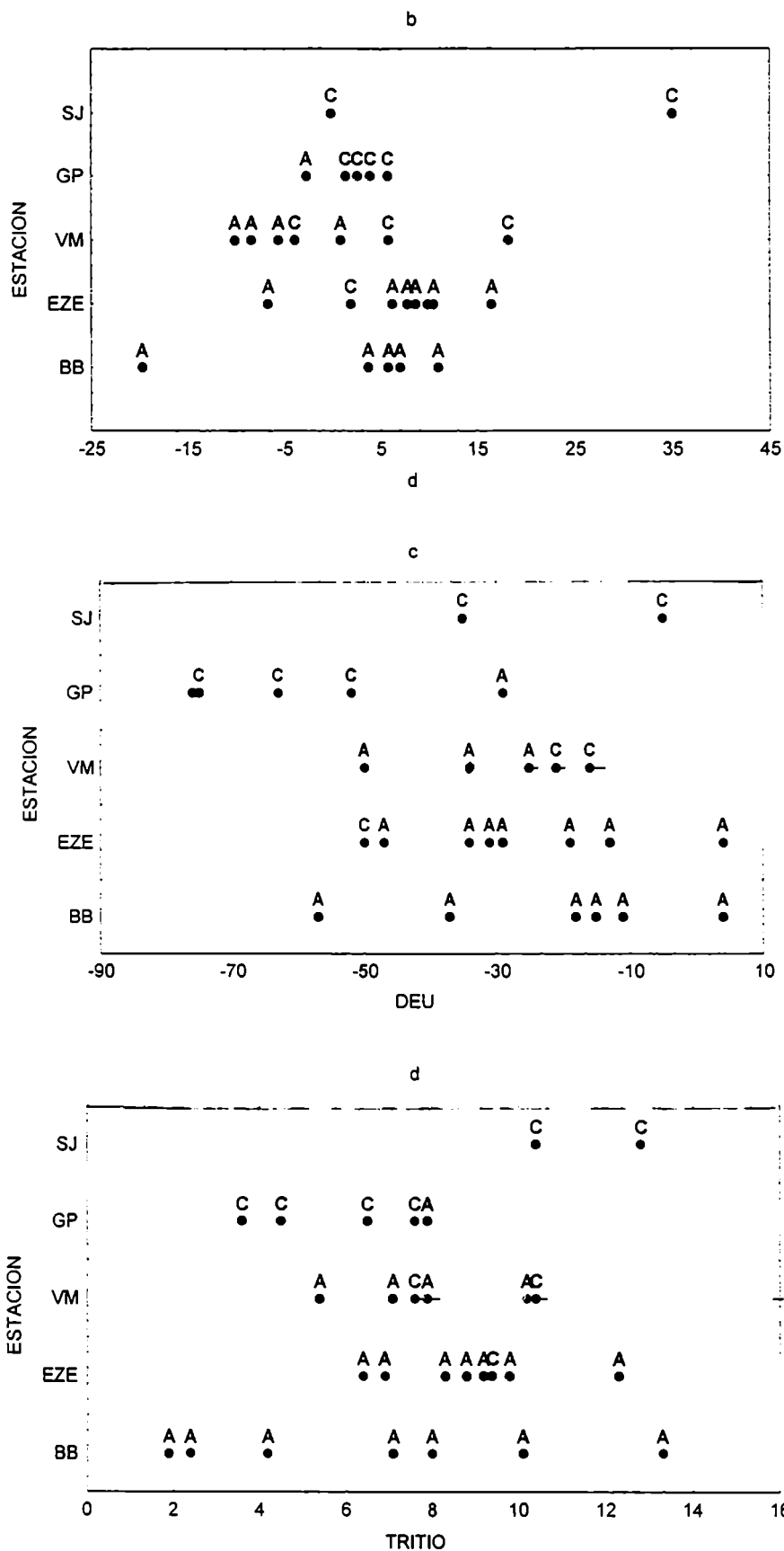


Figura 13: O18 (a), exceso de deuterio (b), DEU (c) y TRI (d) en cada estación por separado para todas las situaciones clasificadas. BB indica Bahía Blanca, EZE, Ezeiza, VM, Villa María, GP, General Paz y SJ, Salta y Jujuy.

Dados los resultados anteriores, se utilizaron O18 y d como variables independientes para realizar un análisis discriminante lineal entre los grupos A y C (figura 14). La recta que mejor discrimina ambos grupos es:

$$d = 11.32 * O18 + 73.32$$

De los 19 casos clasificados inicialmente como A, 15 fueron clasificados como A por el método discriminante, resultando un 79% de casos A clasificados igualmente por ambos métodos. De los 10 casos clasificados como C, 7 fueron clasificados como C por el método discriminante, lo que totaliza un 70% de casos clasificados de igual forma por ambos métodos. Se obtuvo un coeficiente Wilks' Lambda de 0.6 (0 indica perfecto y 1 indica nada de discriminación) que corresponde a un estadístico de Fisher (Davis, 1973): $F(2,26)=8.35$, lo que verifica que la discriminación resulta significativamente buena con un 95% de confianza.

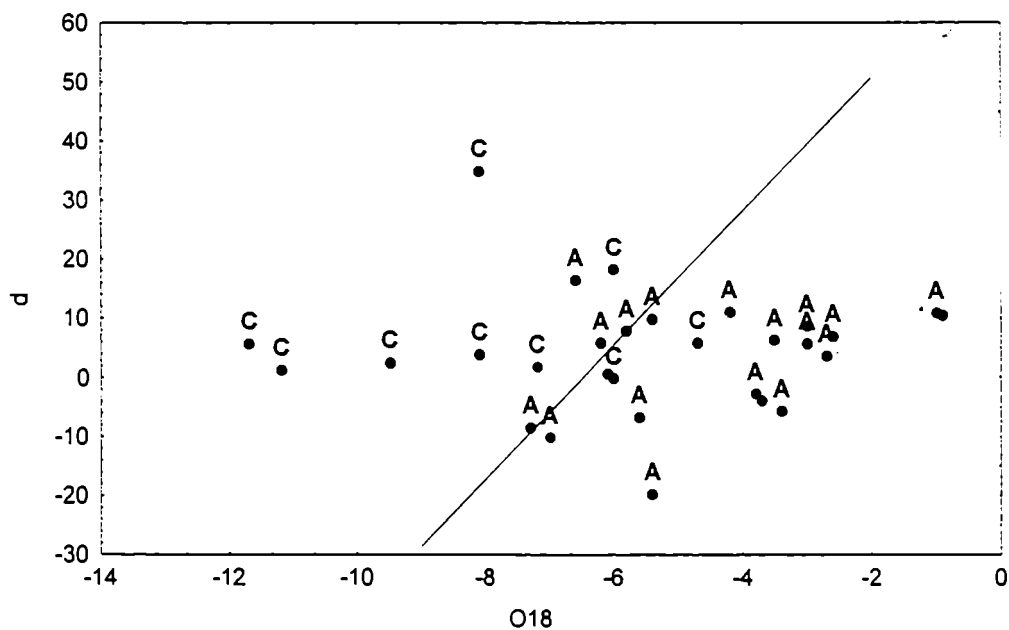


Figura 14: Recta discriminante de los grupos A (origen Atlántico) y C (origen Continental).

Como mecanismo para determinar un nivel de confianza con el cual pueda asegurarse que una situación con valores fijos de d y de O18 pertenece a uno de los 2 grupos (A o C) se construyeron las elipses que envuelven los elementos de cada grupo de forma tal que la probabilidad de que un valor interior a la elipse pertenezca a ese grupo es del 90% (figura 15). La existencia de una zona de intersección entre ambas elipses indica que para los pares (O18, d) interiores a la intersección representan situaciones donde el contenido isotópico no es suficiente para establecer la procedencia del vapor o bien donde la precipitación se produce con vapor proveniente de ambos sectores (Atlántico y Continental) sin la prevalencia de ninguno de los dos. El eje focal de las elipses está de acuerdo al signo de la

correlación de ambas variables (O18 y d) dentro del grupo. Se asumió que ambas variables dentro de cada grupo son normales, suposición que se cumple aproximadamente bien según muestra la figura 16.

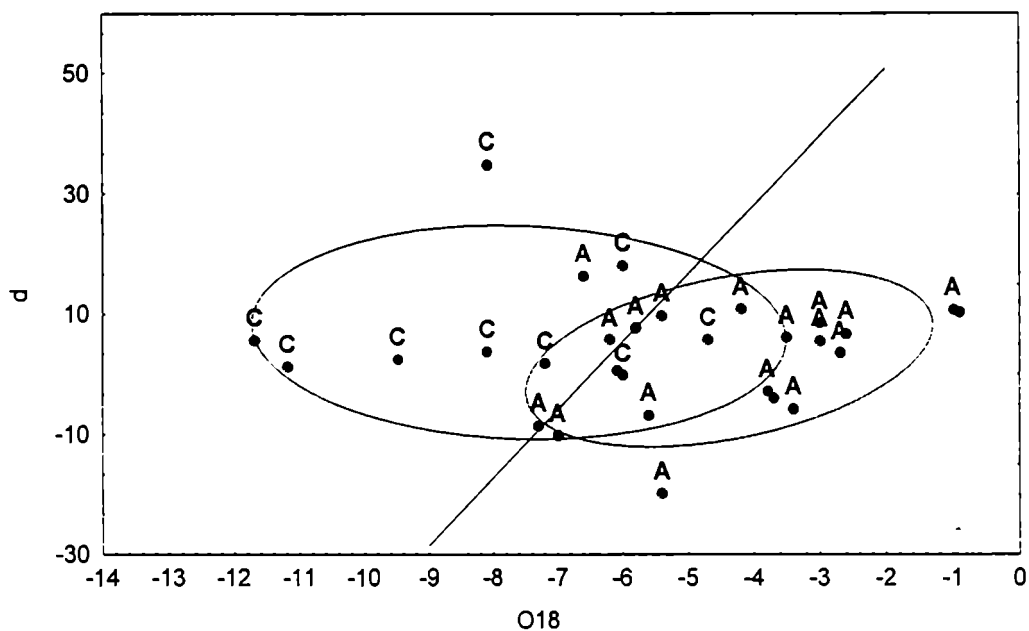


Figura 15: Elipses que envuelven los elementos de cada grupo de forma que existe un 90% de probabilidad de que cualquier punto interior pertenezca a él.

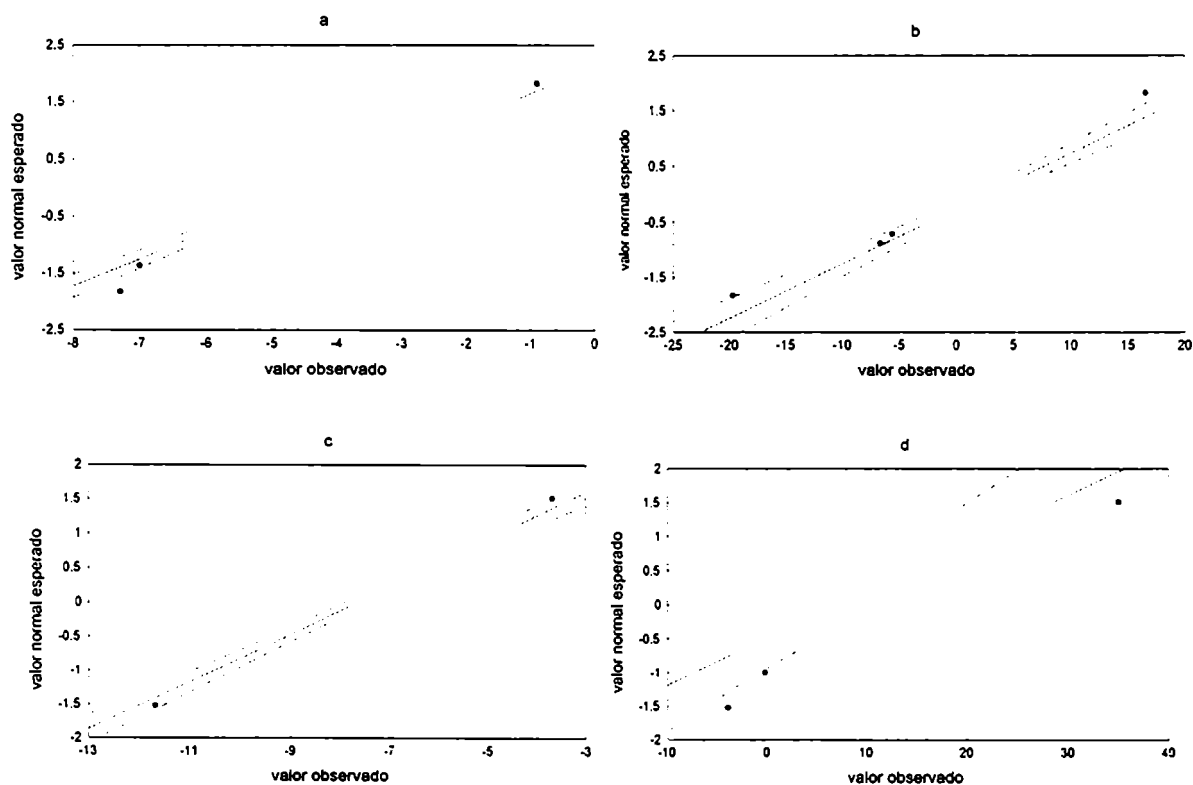


Figura 16: Gráficos de probabilidad normal para O18 (a) y d (b) para el grupo A y para O18 (c) y d (d) para el grupo C. Las líneas punteadas corresponden al 95% de confianza.

Se puede tener una idea de la evolución anual del origen del vapor si se grafican los valores medios mensuales de d y $O18$ para cada estación en el plano ($O18, d$) particionado con la recta anteriormente detallada y superponiendo las elipses que permiten concluir con cierto grado de confiabilidad si en algunos meses el vapor que origina la lluvia tiene una procedencia determinada. El caso más claro corresponde a Corrientes (figura 17). En ella puede observarse como desde enero hasta agosto el origen del aire pasa de ser en su mayoría continental, muy probablemente tropical (enero) hasta ser mayormente atlántico (agosto). Desde agosto hasta enero se produce el efecto inverso, resultando de enero a abril meses con alto contenido de aire de origen tropical y julio, agosto y septiembre con una componente atlántica predominante. El resto de los meses ambas componentes están presentes y la lluvia por lo tanto, se debe al vapor proveniente de ambas fuentes.

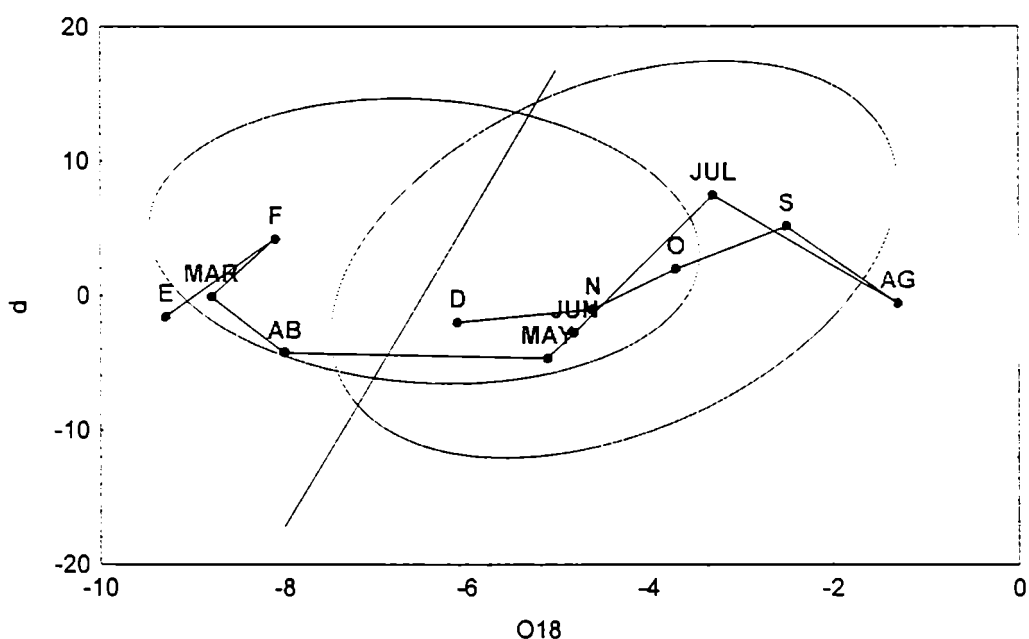


Figura 17: Evolución anual de los promedios mensuales de d y $O18$ en Corrientes.

En las estaciones del noroeste (Salta y Los Perales) (figura 18a y 18b) la componente atlántica está presente durante todo el año. El aire en Salta se torna cada vez más Atlántico desde abril hasta julio y desde julio a febrero se continentaliza. En Los Perales (Jujuy) el aire adquiere una componente atlántica cada vez más importante entre enero y julio y desde agosto hasta enero ocurre el proceso inverso. En ambas estaciones puede observarse que la humedad de origen tropical (continental) sólo puede llegar durante el verano. El invierno es seco debido a que poca humedad llega desde el norte, manifestado en una componente continental (tropical) no importante. Por otro lado la humedad atlántica, dado que en invierno los sistemas se encuentran desplazados hacia el norte, no llega muy frecuentemente. Cuando esporádicamente lo hace, transportada por los alisios, se producen las aisladas lluvias de invierno en la zona.

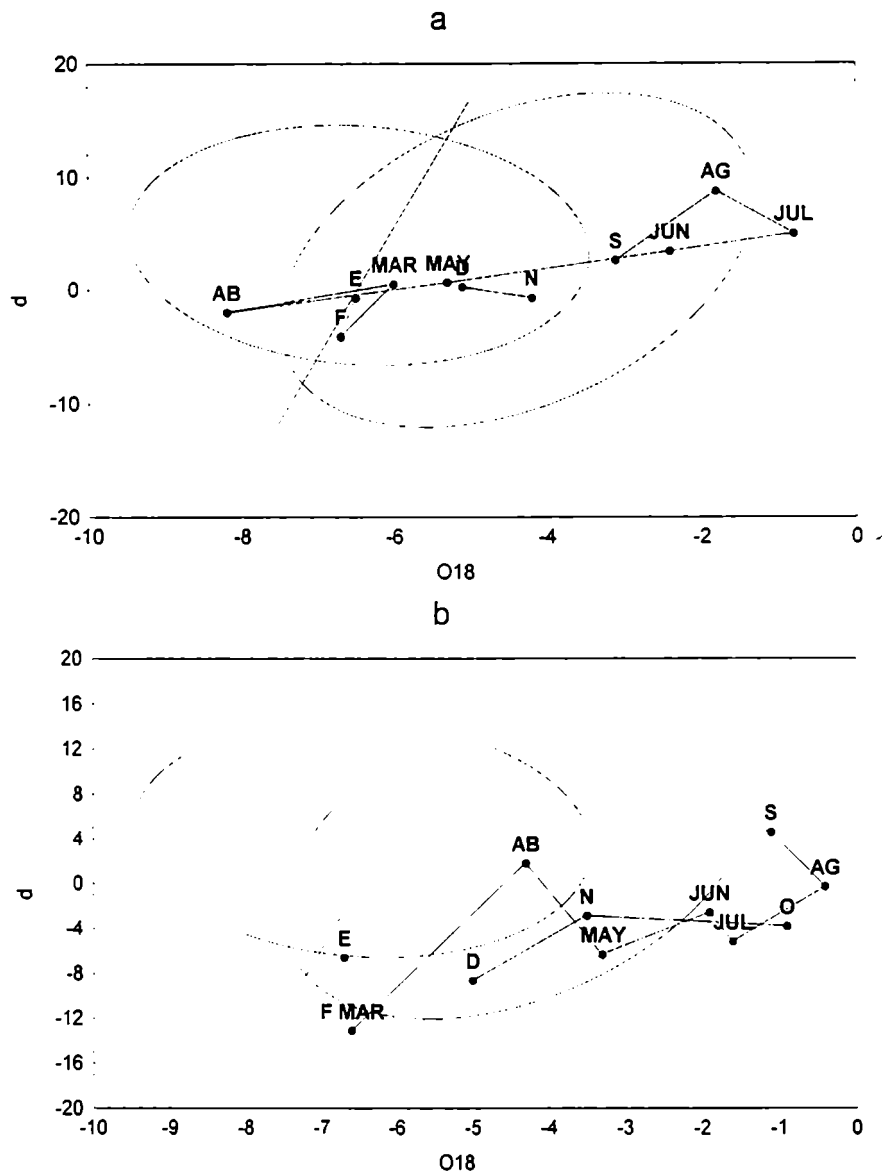


Figura 18: Evolución anual de los promedios mensuales de d y $O18$ en Salta (a) y en Los Perales (b).

Una evolución no tan clara resulta en las estaciones de latitudes medias. En Ciudad Universitaria ambas componentes están presentes durante casi todo el año (figura 19a). Desde enero hasta abril se acentúa la componente continental y desde abril hasta octubre aumenta la atlántica progresivamente, resultando un invierno con humedad de origen atlántico. En Bahía Blanca (figura 19b) el comportamiento es opuesto al observado en el noroeste: en verano domina la componente Atlántica y en invierno la continental. Se observa una componente continental cada vez mayor desde enero y hasta julio. A partir de julio el origen atlántico parece acentuarse cada vez más hasta diciembre. Las estadísticas de lluvias indican en ambas estaciones la existencia de un doble máximo, en marzo y en diciembre. Es probable que ambos máximos se deban a humedad proveniente de distintas fuentes, sobre todo en

Bahía Blanca puede observarse que diciembre se ubica en la parte atlántica mientras que a partir de marzo el aire parece contener humedad provista a partir del reciclado sobre el continente.

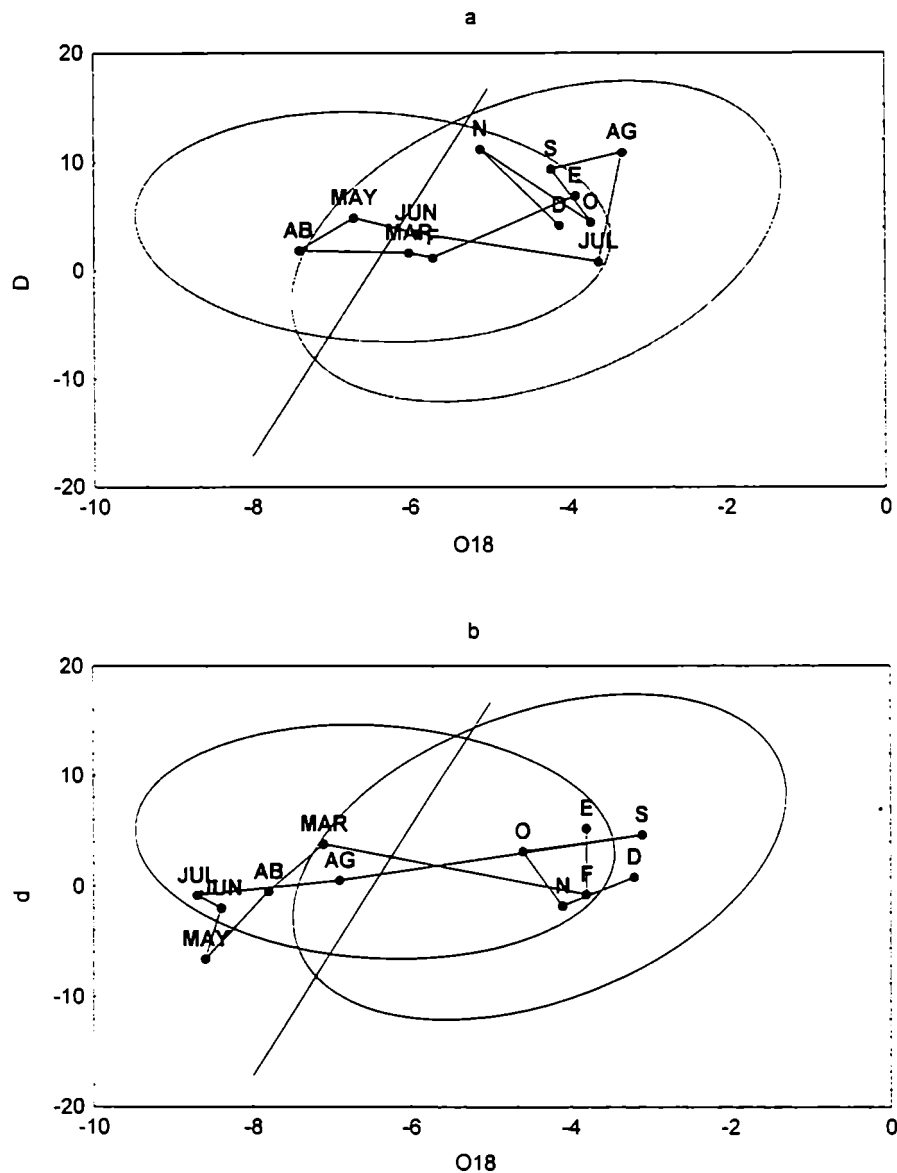


Figura 19: Evolución anual de los promedios mensuales de d y $O18$ en Ciudad Universitaria (a) y en Bahía Blanca (b).

Un comportamiento más complicado se observa en La Suela (Córdoba) (figura 20) donde evidentemente ambos orígenes están presentes durante todo el año. Desde julio a diciembre se observa un aumento de la componente atlántica y desde enero hasta mayo un aumento de la continental. No se tienen datos del mes de junio por lo cual no puede afirmarse nada en este mes pero aparentemente mayo tiene un comportamiento distintivamente continental (asemejándose al caso de Bahía Blanca).

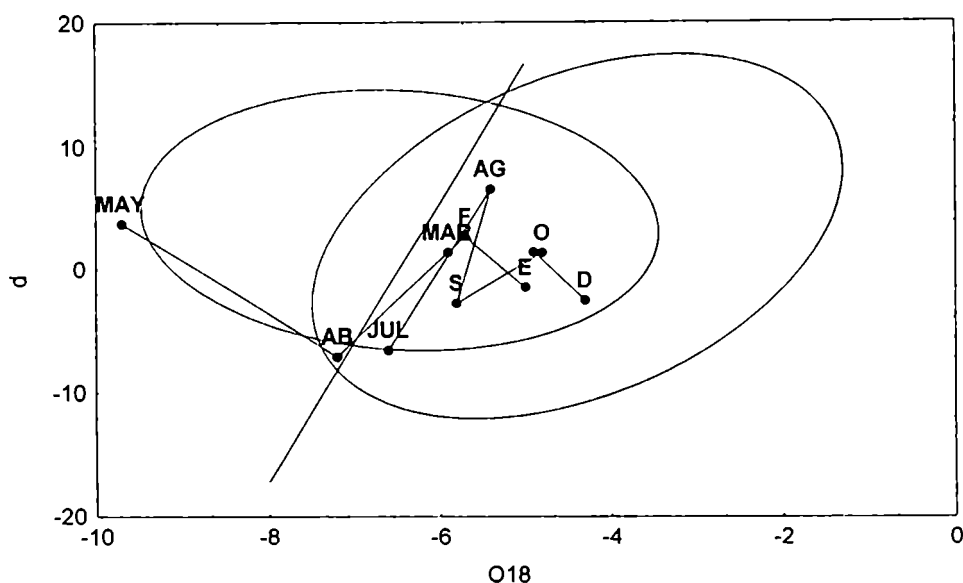


Figura 20: Evolución anual de los promedios mensuales de d y O18 en La Suela (Córdoba).

En forma general se puede observar que en el norte (Los Perales, Salta, Corrientes) en verano se producen lluvias donde el origen del vapor es predominantemente continental (tropical) mientras que en el sur del área de estudio (Bahía Blanca) las lluvias de verano son predominantemente atlánticas. El anticiclón del Atlántico desplazado hacia el sur, provee la humedad necesaria para ello. La zona intermedia (Ciudad Universitaria, La Suela) tiene un comportamiento de transición presentando ambas componentes durante todo el año. En invierno, el anticiclón del Atlántico se corre hacia el norte y provee la humedad para las lluvias en la zona norte del país mientras que en el sur del área de estudio éstas se deben principalmente al reciclado continental.

El comportamiento observado, aún teniendo en cuenta la poca cantidad de datos con que se realizó este estudio, indica que el problema de la precipitación en Argentina subtropical, no puede encararse sin tomar en cuenta la humedad proveniente del continente, que en su mayor proporción, es originada en la selva tropical amazónica y la componente de advección desde el Atlántico. En este trabajo se encara el estudio de la primera y en el futuro se analizará la segunda.

5. Conclusiones Parciales

El contenido isotópico de O18 en el agua de lluvia y el exceso de deuterio ($d=DEU\text{-pendiente}\cdot O18$) fueron utilizados para discriminar entre situaciones donde la humedad tuvo una procedencia predominantemente Atlántica o Continental, obteniendo una recta que divide el espacio (O18,d) en 2 sectores, cada uno representativo de cada grupo. Como resultado de ello se observó que en Corrientes la lluvia media se debe a humedad de origen atlántica en invierno y de origen tropical en verano. Las pocas precipitaciones de invierno en el noroeste parecen tener su origen en la humedad transportada desde el este. Bahía Blanca presenta dos máximos de lluvia en su onda media que parecen derivar de humedad con diferente origen: atlántico el de

diciembre y tropical el de marzo. Ciudad Universitaria y La Suela no presentan un origen de vapor de ningún sector preferente en ninguna época del año, indicando una transición entre el régimen observado en Corrientes y el de Bahía Blanca.

SEGUNDA PARTE: Los campos medios de precipitación en Argentina subtropical y de la convección tropical.

Según se ha analizado en la sección anterior, gran parte de la humedad responsable de las lluvias en Argentina subtropical, tiene origen continental. Como la cordillera de Los Andes actúa como freno para el transporte de humedad desde el océano Pacífico, es lícito pensar en la posibilidad de que una proporción importante de la humedad de origen continental provenga de la selva tropical brasilera que genera vapor por evapotranspiración. Por ello, en lo sucesivo, se estudiará la influencia de la convección en los ciclos medios de lluvia en Argentina.

1. Los datos utilizados.

1.1. Radiación de onda larga saliente (OLR)

El mayor problema para el estudio de la convección tropical radica en la baja disponibilidad de datos de humedad y lluvia en la zona central de Brasil y en el error producido por los registros de precipitación en estaciones que generalmente no están homogéneamente distribuidas y proveen información con distinta confiabilidad. Para suplir esta deficiencia se han utilizado datos de radiación de onda larga saliente (OLR). La relación entre los valores de OLR y la precipitación han sido estudiados por varios autores (Arkin y Ardanuy, 1989, Morrissey y Graham, 1996). Tienen la ventaja de proveer información continua temporal y espacialmente y son una buena medida de la convección: bajos valores de OLR indican poca radiación que puede escapar al espacio exterior y por lo tanto implica la existencia de nubosidad convectiva, tanto más intensa cuanto más bajo sea el valor de OLR. En general, un valor de 240 watt/m^2 es aceptable para establecer la existencia de nubosidad convectiva (Kousky, 1989).

Se utilizaron datos diurnos y nocturnos infrarrojos (OLR) provenientes de satélites de órbita polar archivados por el NCAR (National Center for Atmospheric Research). Los datos se presentan en un reticulado de 2.5° de latitud por 2.5° de longitud y vienen expresados en unidades de watt/m^2 . Los valores faltantes han sido interpolados espacialmente. En el período de registro (1975-1991) los datos derivaron de varios satélites de las series TIROS/NOAA (TABLA III). Fue notado algún tipo de inhomogeneidad en el set de datos de OLR entre 1975-77 y 1979 en adelante (Gruber and Krueger, 1984). Este bias puede ser debido a los diferentes sensores utilizados y a los diferentes horarios de cruce ecuatorial. La climatología de OLR más utilizada en todo el mundo fue realizada por Janowiak et al. (1985) con el set completo de datos junio 1974- noviembre 1983 disponible hasta ese momento y resultó muy útil para monitorear la variabilidad interanual y la evolución anual de la convección. Por este motivo y con el fin de trabajar con la mayor cantidad de años posibles, que sólo suman 17 (1975-91, excepto 1978) en este trabajo se ha utilizado el set completo de datos de OLR (1975-91).

TABLA III: Satélites de donde provienen los datos de OLR utilizados.

PERIODO	SATELITE
junio 1974 a febrero 1978	series NOAA SR
enero 1979 a enero 1980 :	Tiros N
febrero 1980 a agosto 1981:	NOAA 6
septiembre 1981 a enero 1985:	NOAA 7
febrero 1985 a noviembre 1988:	NOAA 9
diciembre 1988 a febrero 1992:	NOAA 10, NOAA 11 y NOAA 8.

Lamentablemente no se cuenta con la información correspondiente al período marzo 1988-diciembre 1988 por fallas en el satélite.

Con estos datos originales se ha elaborado una base de datos de radiación de onda larga saliente (OLR) para el período enero de 1975 a diciembre de 1991. La base consiste en los valores pentádicos (promedios de los valores diarios cada cinco días). El valor diario ha sido obtenido como promedio del valor infrarrojo diurno y del nocturno para filtrar el ciclo diario (Schmetz and Liu, 1988) y para reducir el error producido por las diferentes horas de cruce ecuatorial de los distintos satélites (Kousky, 1989). Si alguno de los 2 valores estaba faltante el promedio fue considerado faltante. Existen entonces 73 valores pentádicos por cada año de información. Si en particular el año es bisiesto, la péntada 12 que abarca entre el 25 de febrero y el 1 de marzo se compone de 6 días en lugar de 5. Si alguno de los días es faltante el promedio se realiza con un valor menos. El área de estudio considerada es la comprendida entre los paralelos de 15°N y 60°S y entre los meridianos de 30°O y 90°O. Las péntadas corresponden a las siguientes fechas calendario:

PENTADA	FECHA CALENDARIO
1	1-5 enero
2	6-10 enero
3	11-15 enero
4	16-20 enero
5	21-25 enero
6	26-30 enero
7	31 enero-8 febrero
8	5-9 febrero
9	10-14 febrero
10	15-19 febrero
11	20-24 febrero
12	25 febrero-1 marzo
13	2-6 marzo
14	7-11 marzo
15	12-16 marzo
16	17-21 marzo
17	22-26 marzo

18	27-31 marzo
19	1-5 abril
20	6-10 abril
21	11-15 abril
22	16-20 abril
23	21-25 abril
24	26-30 abril
25	1-5 mayo
26	6-10 mayo
27	11-15 mayo
28	16-20 mayo
29	21-25 mayo
30	26-30 mayo
31	31 mayo- 4 junio
32	5-9 junio
33	10-14 junio
34	15-19 junio
35	20-24 junio
36	25-29 junio
37	30 junio- 4 julio
38	5-9 julio
39	10-14 julio
40	15-19 julio
41	20-24 julio
42	25-29 julio
43	30 julio- 3 agosto
44	4-8 agosto
45	9-13 agosto
46	14-18 agosto
47	19-23 agosto
48	24-28 agosto
49	29 agosto- 2 sept
50	3-7 sept
51	8-12 sept
52	13-17 sept
53	18-22 sept
54	23-27 sept
55	28 sept - 2 oct
56	3-7 oct
57	8-12 oct
58	13-17 oct
59	18-22 oct
60	23-27 oct
61	28 oct - 1 nov
62	2-6 nov
63	7-11 nov
64	12-16 nov
65	17-21 nov
66	22-26 nov
67	27 nov- 1 dic

68	2-6 dic
69	7-11 dic
70	12-16 dic
71	17-21 dic
72	22-26 dic
73	27-31 dic

1.2. Precipitación

Se han utilizado los datos de precipitación diaria acumulada en el día pluviométrico para estaciones meteorológicas en Argentina al norte de 40° S para la elaboración de una base de datos de precipitación decádica (acumulada durante 10 días). De esta forma existen 3 datos de precipitación por cada mes de información. El primero equivale a la precipitación acumulada entre los días 1 y 10, el segundo entre los días 11 y 20 y el tercero entre los días 21 y 30, 31, 28 o 29 de acuerdo al mes y año de que se trate. Esta base fue realizada en el período más largo de información disponible entre 1959 y 1991. Las estaciones fueron minuciosamente seleccionadas, de forma tal de minimizar el número de datos faltantes y maximizar la calidad de los mismos. Sólo se han utilizado datos provenientes de estaciones meteorológicas confiables.

2. El ciclo anual de precipitación en Argentina subtropical en el período 1959-1991.

Para analizar los campos medios de lluvia en Argentina se han utilizado registros para un período suficientemente largo (1959-1991) de forma tal que los resultados sean confiables. Fueron seleccionados datos de precipitación acumulada en 10 días en 16 estaciones y de presión en 15 estaciones distribuidas en Argentina al norte de 40°S asegurando que las series estuvieran completas (TABLA IV). Sólo en el caso de Victorica en la provincia de La Pampa, no estuvieron disponibles los datos de presión razón por la cual se tomó la estación Santa Rosa para el análisis de esta variable. El análisis espectral clásico requiere la utilización de datos con poco error y de series completas. Para ello se realizó una selección exhaustiva en función de la disponibilidad de registros provenientes de estaciones meteorológicas confiables. Además los datos de presión han sido cuidadosamente analizados de forma de detectar posibles errores e inconsistencias. Igualmente se analizó la información de precipitación detectando algunos pocos errores en los datos.

Se construyeron las series de presión reducida a nivel del mar promedio. Si algún día el dato de presión no estaba disponible el promedio se realizó con un dato menos. La elección del intervalo de promedio (10 días) responde a que se trató de investigar la existencia de oscilaciones menores que los 120 días para analizar fenómenos intraestacionales de escala superior a la sinóptica.

TABLA IV: Estaciones y períodos utilizados para el estudio

ESTACION	LATITUD (SUR) (° ')	LONGITUD (OESTE) (° ')	PERIODO PRECIPITACION	PERIODO PRESION
General Paz	27 45	57 38	59-91	59-83
P.R.Saenz Peña Aero	26 49	60 27	59-91	59-90
Las Lomitas	24 42	60 35	59-90	59-90
Posadas Aero	27 22	55 58	62-91	59-90
Sauce Viejo Aero	31 42	60 49	59-87	59-90
Paraná Aero	31 47	60 29	59-91	65-86
Ezeiza	34 49	58 32	60-91	59-90
Mar del Plata Aero	37 56	57 35	61-91	59-90
Sgo del Estero Aero	27 46	64 18	60-91	59-90
Chepes	31 20	66 36	61-91	59-88
Córdoba Obs.	31 24	64 11	59-91	59-90
Mendoza Aero	32 50	68 47	59-91	59-90
Villa Reynolds Aero	33 44	65 23	62-91	68-90
Junín Aero	34 33	60 55	59-91	59-90
Salta Aero	24 51	65 29	61-91	-
Victorica	36 13	65 26	59-88	-
Santa Rosa Aero	36 34	64 16	-	59-84

2.1. Análisis de la varianza de la precipitación

El estudio de la variable precipitación incluye el análisis de las anomalías y el de la onda anual. Las anomalías de precipitación en el período completo presentan varianzas que claramente aumentan hacia el noreste lo que está relacionado con la cantidad de lluvia caída, que también registra un aumento hacia esa zona (figura 21). La variabilidad relativa (figura 22) definida por:

$$VR = \sigma/p$$

donde σ es el desvío standard y p la precipitación media, presenta un máximo en la región oeste con valores superiores a 1.5 en Santiago del Estero, Chepes y Mendoza, lo cual es coherente con la mayor variabilidad propia de las zonas áridas. El resto del país presenta variabilidades relativas bastante similares, con un pequeño aumento hacia el sur, lo cual indicaría la mayor influencia de la acción de los frentes.

La evolución de la varianza de las anomalías de precipitación calculadas por décadas (59-69, 70-79 y 80-91) (figura 23) mostró tres zonas con características diferentes:

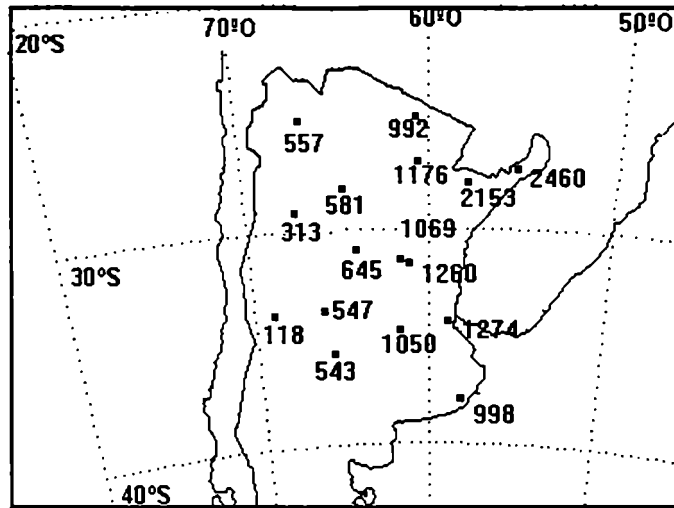


Figura 21: Varianza de las anomalías de precipitación (en mm²).

- a) una región al norte del país que presenta una disminución de la varianza en la década del 70, excepto en Las Lomitas
- b) el área central del país con comportamiento opuesto al caso anterior y
- c) la zona sur y oeste con varianzas que crecen con el tiempo donde Ezeiza parece tener un comportamiento levemente diferente.

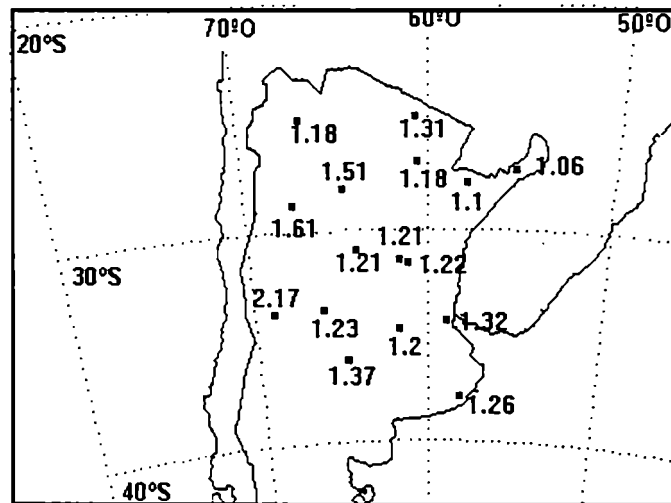


Figura 22: Variabilidad relativa de las anomalías de precipitación.

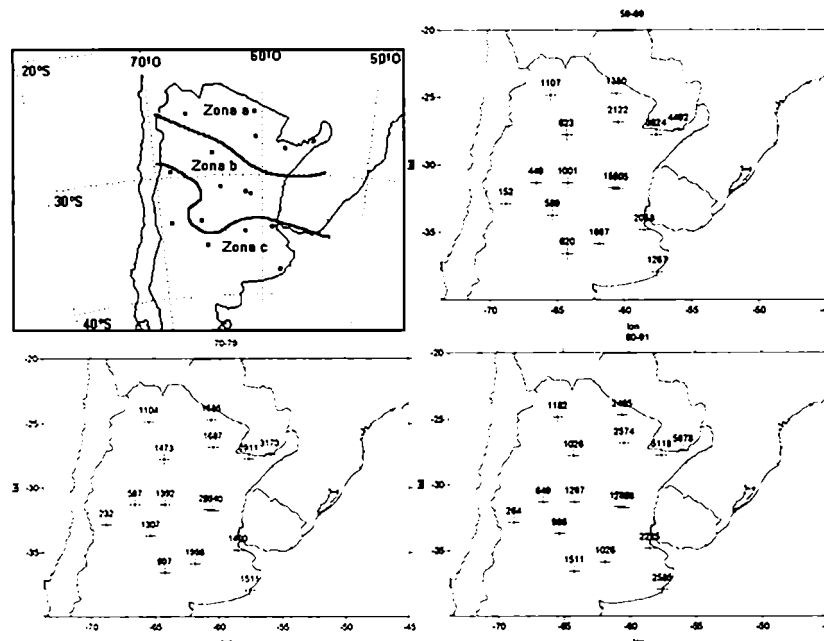


Figura 23: Zonas determinadas de acuerdo a la evolución observada de las varianzas de las anomalías de precipitación y las varianzas observadas para cada una de las décadas.

El comportamiento opuesto mencionado en las zonas **a** y **b** es coherente con lo observado por Barros et al. (1995) en el sentido que una estructura bipolar entre ambas regiones es dominante en el campo de variabilidad de la precipitación regional.

El crecimiento observado en la zona **c** que, por ejemplo, supera el 100% en Victorica y Mar del Plata, estaría implicando la evolución hacia condiciones climáticas con mayor posibilidad de períodos secos y húmedos, lo que se agregaría a las tendencias hacia mayores precipitaciones reportadas por Castañeda y Barros (1994). El test de Fisher ha sido utilizado para comparar las varianzas de las anomalías de precipitación en los períodos 1959-74 y 1975-91, obteniéndose un cambio significativo con el 99% de confianza toda la zona sur y oeste: Mar del Plata, Victorica, Mendoza, Chepes, Villa Reynolds, Córdoba y Junín. Esta mayor variabilidad podría estar relacionada con el desplazamiento promedio hacia el sur de los sistemas en el hemisferio sur observado en los últimos 30 años. Por ejemplo, Gibson (1992) mostró que en el período 1976-1991 el jet subtropical experimentó un corrimiento hacia el sur de 0.18° de latitud por año y Minetti y Vargas (1983) observaron un desplazamiento hacia el Sur del anticiclón del Pacífico respecto de la década del 40, que produjo una alteración del régimen de lluvias en algunas zonas de Argentina y Chile.

La varianza explicada por la onda anual de período 36 fue calculada como la relación entre la densidad espectral de la onda de período 36 y la integral del espectro sobre todas las frecuencias. Luego este cociente fue multiplicado por 100 para expresarlo en porcentaje. La varianza de la onda anual de precipitación es máxima en el centro y norte del país (figura 24), disminuyendo hacia el sur y hacia el oeste, mientras que la variabilidad relativa disminuye paulatinamente desde el oeste hacia el este también como en el caso de las anomalías pero en forma mucho más marcada (figura 25). El estudio espectral de las ondas anuales de precipitación demuestra que la onda de período 36, equivalente a 360 días, explica el mayor porcentaje de varianza en el centro y oeste del país con valores máximos que llegan al 90% en Córdoba y al 88% en Villa Reynolds (figura 26).

La continentalidad de esta región favorece una onda anual de precipitación más marcada, con máximo en verano cuando el aporte de vapor del norte encuentra un continente suficientemente caliente como para que la formación de convección sea muy eficiente. En cambio, en invierno, el flujo zonal alcanza latitudes más bajas, reduciendo, en términos climatológicos, la entrada de humedad desde los trópicos y desde el Atlántico y dando lugar a la estación seca.

Tal vez la metodología del análisis espectral no sea la mejor pues existen otros métodos, como el análisis armónico que sirven para obtener la varianza explicada por cada onda en forma más exacta. Sin embargo este método es suficiente para dar idea de la diferencia entre el comportamiento de la onda de período 36 en el centro y en el este de Argentina subtropical.

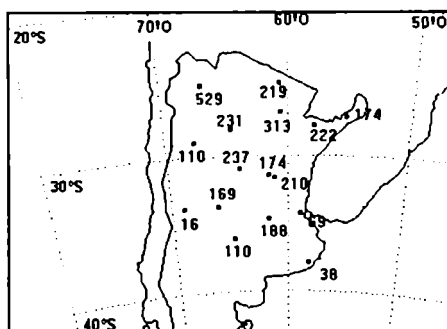


Figura 24: Varianza de la onda anual de precipitación.

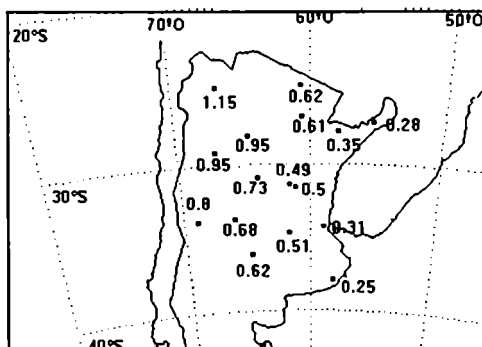


Figura 25: Variabilidad relativa de la onda anual de precipitación.

Las figuras 27a y 27b muestran la marcha de precipitación y el espectro de la onda anual en Córdoba, que ejemplifica el comportamiento antes detallado.

La onda de período 360 días se encuentra prácticamente en fase en todas las estaciones. La ocurrencia del máximo de precipitación varía entre el 30 de diciembre en Chepes y el 18 de enero en General Paz, insinuando un leve corrimiento del máximo hacia mediados de enero para las estaciones ubicadas al noreste. En la Mesopotamia y estaciones cercanas a la costa del Río de la Plata y océano Atlántico se observa un comportamiento diferente de la onda anual. La varianza explicada por la onda de 360 días decrece significativamente tomando valores de 16% en Posadas o 38% en Ezeiza. El aporte de humedad desde el Atlántico afecta la ocurrencia de precipitación dando lugar a marchas anuales más irregulares y espectros de la onda anual que revela la existencia de otras ondas, con períodos diferentes a 360 días, como se muestra en las figuras 28a y 28b para la estación Posadas.

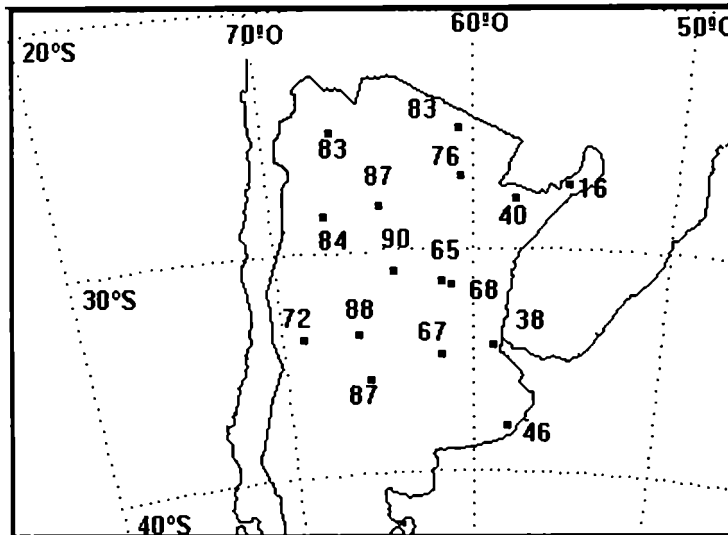


Figura 26: Porcentaje de varianza de la onda anual de precipitación que es explicada por la onda de período 36.

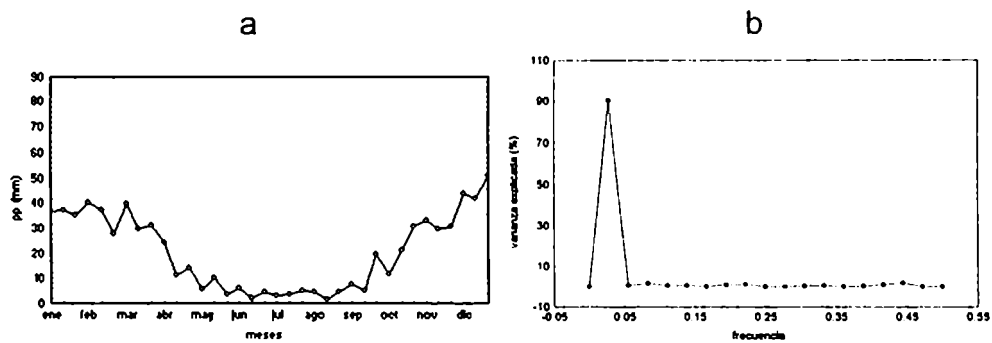


Figura 27: (a) Onda anual de precipitación, (b) Espectro de la onda anual, en Córdoba, la frecuencia está expresada en ciclos por día y en *itálica* se detalla el período correspondiente en días.

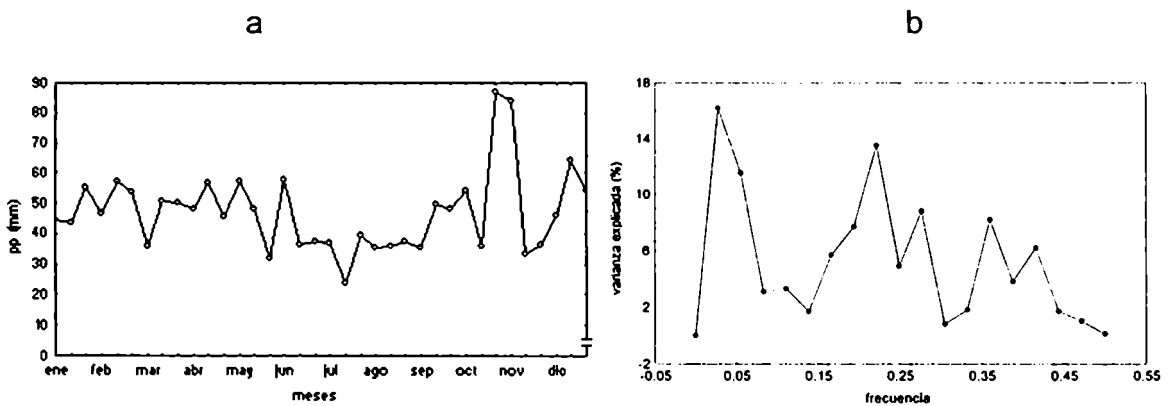


Figura 28: (a) Onda anual de precipitación, (b) Espectro de la onda anual, en Posadas, la frecuencia está expresada en ciclos por día y en *itálica* se detalla el período correspondiente en días.

La onda semianual (180 días) predomina frente a la estacional (120 días) en el norte de la región de estudio y el comportamiento opuesto se observa al sur (figura 29). El porcentaje de varianza explicada por la primera alcanza el 26% en General Paz mientras que la segunda alcanza el 10% en Ezeiza. En el litoral se encontraron otras ondas estadísticamente significativas: la de 40 y 28 días en General Paz, la de 24 y 36 días en Ezeiza, la de 23 días en Mar del Plata y la de 45 días en Posadas. Estas ondas podrían estar relacionadas con la oscilación de 30-50 días descrita por Madden y Julian (1971) en el Pacífico ecuatorial central. Los mismos autores mostraron una oscilación similar en una porción amplia del cinturón ecuatorial (Madden y Julian, 1972) que se manifiesta en el viento zonal y la presión de superficie. Esta hipótesis se basa en los indicios que existen sobre la interrelación entre trópicos y extratrópicos.

La figura 30 muestra el cociente entre la varianza de la onda anual y la varianza de las anomalías de precipitación.

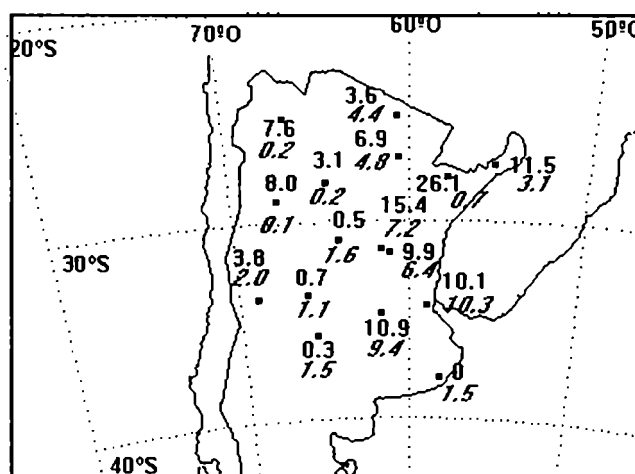


Figura 29: Porcentaje de la varianza de la onda anual de precipitación que es explicada por las ondas de períodos 18 (impresión) y 12 (cursiva).

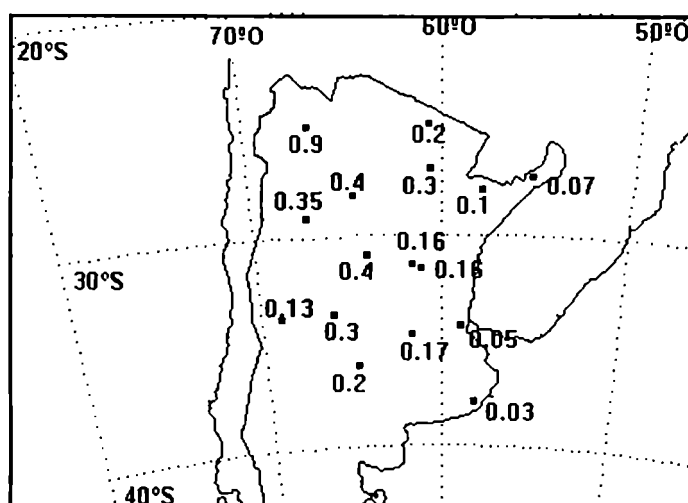


Figura 30: Cociente entre la varianza de la onda anual de precipitación y la varianza de las anomalías.

Los resultados coinciden cualitativamente con los obtenidos por Penalba (1995) que, trabajando sólo en la provincia de Buenos Aires, observó una disminución del porcentaje de la varianza explicada por las ondas anual y semianual hacia las zonas costeras, utilizando series que comienzan a principio de siglo. Los valores obtenidos por Penalba para el ciclo anual y semianual son superiores a los mostrados en este trabajo. La elección del intervalo de tiempo de 30 días puede ser responsable de esta diferencia debido a que las variaciones menores al intervalo temporal considerado en el análisis se distribuyen en las demás frecuencias.

El ciclo anual es un factor decisivo en el oeste del país pero no parece serlo en la región este. Esto indica que para realizar una eficiente predicción de la lluvia en el oeste del país es muy importante el conocimiento de los procesos que pueden modificar el ciclo anual mientras que en el este es necesario el estudio complementario de otros procesos intra-estacionales que actúan modificando el régimen de precipitación sin dejar una marcada señal en el ciclo anual.

2.2. Análisis de la varianza de la presión

Tanto el ascenso de las masas de aire como el campo de advección de humedad están relacionados con el campo de presión. Es por ello que resulta importante el análisis de esta variable como complemento de los resultados obtenidos con la precipitación. El estudio de la presión corregida a nivel del mar se ha realizado sin considerar la estación Salta debido a su extrema altura. Las series de presión consideradas fueron generadas como las de precipitación. Son series de presión media cada 10 días (entre el 1 y el 10, entre el 11 y el 20 y entre el 21 y el 28, 29, 30 o 31 del mes), de forma que la serie para cada año cuenta con 36 datos. La onda anual se elaboró como el promedio en todo el período de registro (1959-91) de los valores medios de presión para cada uno de los períodos de 10 días.

La varianza de las anomalías tiene una distribución bastante homogénea con una leve disminución hacia el noreste mientras que la varianza de la onda anual presenta un claro aumento hacia el oeste (figura 31). El porcentaje de varianza explicado por la onda de 360 días es alta en todos los casos (figura 32). Varía desde un 98% en Chepes y en Las Lomitas hasta un 81% en Mar del Plata, notándose una ligera disminución hacia el sur y ningún desfasaje entre estaciones con un mínimo de varianza de la presión a mediados de enero. No se han observado otras ondas significativas en el análisis espectral de esta variable.

Estos resultados resaltan que onda anual de presión explica un alto porcentaje de varianza en la totalidad de Argentina subtropical.

a la estación seca invernal. A principios de septiembre la presión en Mar del Plata supera a la de Posadas, generando una diferencia negativa que se profundiza en mediados de septiembre cuando los vientos del sector provenientes del anticiclón del Atlántico que ha comenzado su desplazamiento hacia el sur, facilitan la entrada de humedad desde el Atlántico dando lugar al inicio de la época de lluvias. La caída del gradiente meridional de presión en septiembre y el consecuente ingreso de humedad queda evidenciada en las marchas anuales de precipitación de varias estaciones como Las Lomitas, Paraná, Ezeiza (figura 34) e incluso Córdoba (figura 27a), que presentan el comienzo de la estación lluviosa promediando septiembre.

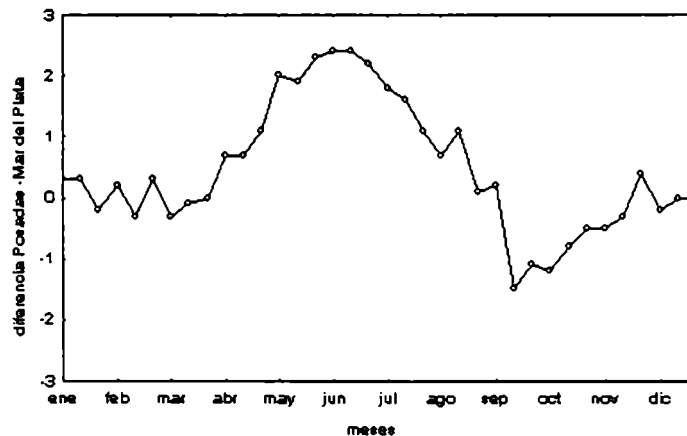


Figura 33a: Diferencia de presión entre Posadas y Mar del Plata.

La onda de 360 días explica en el caso de POSCH, el 52% y la de 180 días el 12% de su varianza. Esta diferencia se mantiene positiva durante todo el año y es máxima en verano, época en la cual el gradiente zonal de presión es grande y por lo tanto la entrada de aire tropical desde el norte se ve favorecida. Esta advección de aire tropical sumada a la advección desde el Atlántico que se mantiene desde septiembre hasta enero hacen que la mayoría de las estaciones en Argentina subtropical presenten máximos de lluvias en verano.

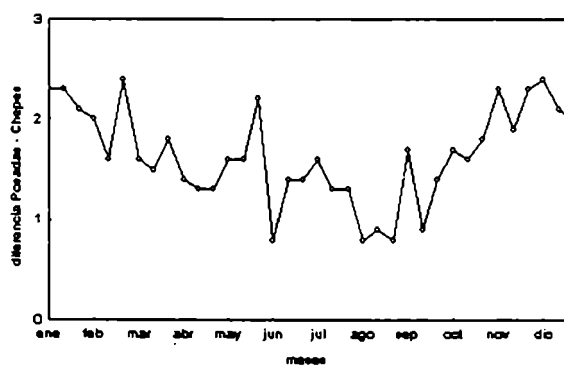


Figura 33b: Diferencia de presión entre Posadas y Chepes.

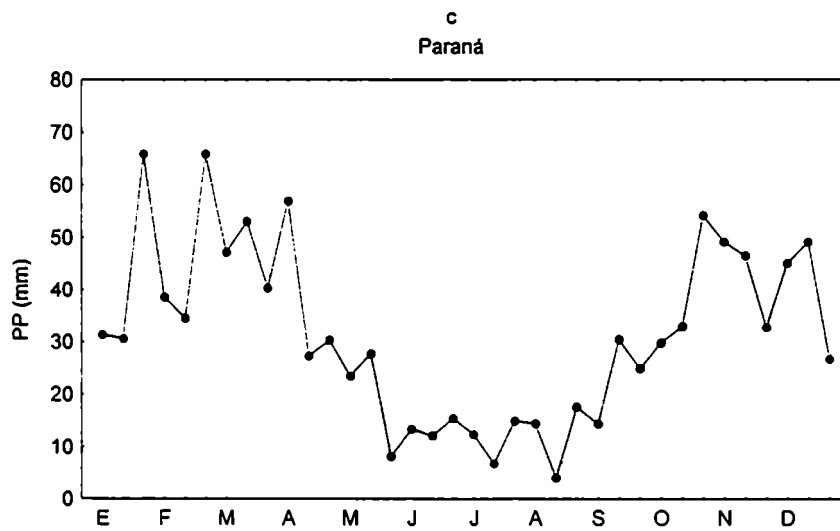
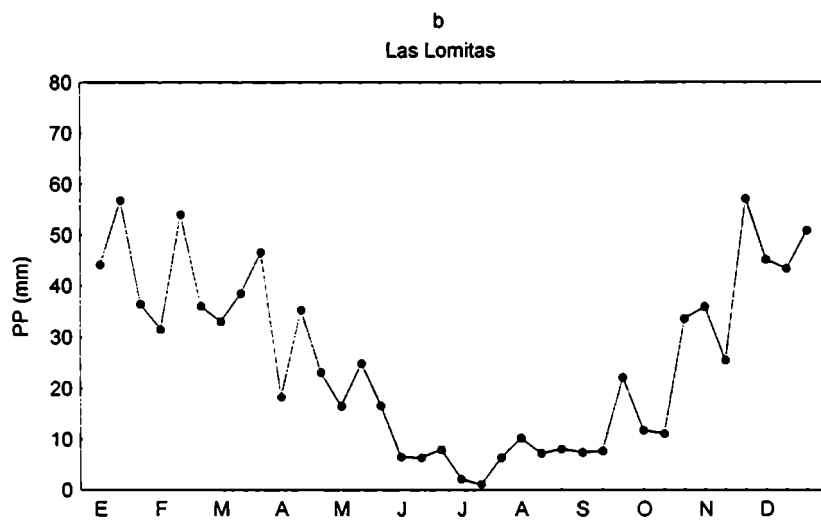
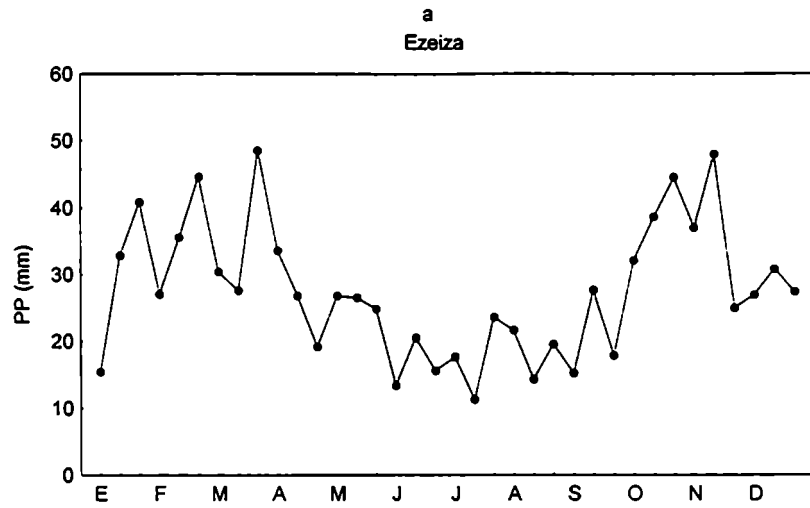


Figura 34: Onda anual de precipitación en Ezeiza (a), Las Lomitas (b) y Paraná (c).

2.3. Relación entre los gradientes de presión y la precipitación

Con el fin de cuantificar la incidencia de las entradas de vapor de las dos fuentes principales: Atlántico y trópicos en la producción de precipitación a lo largo del año, se realizaron regresiones múltiples entre la onda anual de precipitación en cada una de las estaciones y las ondas anuales de diferencia de presión entre Posadas y Mar del Plata (POSMP) y entre Posadas y Chepes (POSCH), antes analizadas:

$$P = a \text{ POSMP} + b \text{ POSCH} + c$$

donde a, b y c son valores constantes y P es la precipitación.

El coeficiente R^2 está definido como la diferencia entre la unidad y el cociente entre la variabilidad de los residuos y la variabilidad de la variable dependiente y es por lo tanto, una medida de la varianza de la precipitación explicada por las dos variables independientes en forma conjunta. La TABLA V muestra los valores de a, b, c y R^2 para todos los casos.

Se puede observar que las variables POSMP y POSCH explican desde un 13% de la precipitación en Posadas hasta un 69% en Santa Rosa. Un menor porcentaje de varianza es explicado en las estaciones costeras y mesopotámicas que en el interior del continente. Si bien la relación matemática obtenida entre las variables no es una prueba en sí misma, la alta correlación entre la precipitación y los gradientes de presión tiene fundamentalmente el sustento físico que se describió al comentar las figuras 33a y 33b, donde un máximo gradiente meridional negativo, que favorece la entrada de humedad del Atlántico, marca el inicio de la época lluviosa hacia mediados de septiembre. Por otro lado también en esa época comienza la tendencia positiva del gradiente zonal, que favorece la entrada de aire tropical y colabora acrecentando las lluvias de verano. Durante el invierno el gradiente zonal presenta breves períodos en que se intensifica (figura 33b), lo que sin embargo no da lugar a mayor precipitación debido a que en esa época la selva amazónica permanece relativamente seca, y el área convectiva se encuentra en el extremo norte de Sudamérica.

La figura 35 muestra el porcentaje de varianza de la onda anual de precipitación explicado por cada uno de los gradientes. En ella puede observarse que sólo en Posadas, Sauce Viejo, Paraná, Ezeiza y Junín la variable que tiene mayor injerencia en la producción de precipitación es POSMP explicando entre un 11% en Posadas hasta un 30% de la varianza en Junín.

En el resto de las estaciones el mayor porcentaje de varianza lo explica la variable POSCH desde un 17% en General Paz hasta un 48% en Córdoba. Evidentemente en la zona ribereña de los ríos Paraná y de la Plata el aire húmedo del Atlántico es relevante en la generación de lluvias mientras que en el norte y centro del país sólo la llegada del aire tropical permite generar las condiciones propicias para la precipitación.

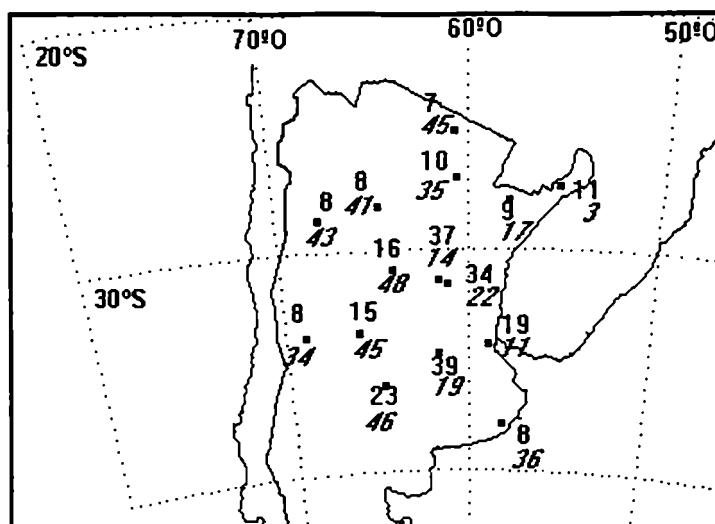


Figura 35: Porcentaje de varianza de la onda anual de precipitación que es explicada por la variable POSMP (impresita) y por POSCH (itálica).

TABLA V: Valores obtenidos con la regresión múltiple para todas las estaciones utilizadas.

estaciones	a	b	c	R ² (%)
Las Lomitas	-3.92	19.13	-5.8	52
PRS Pena	-5.54	19.37	0.2	45
Gral. Paz	-4.41	10.8	26.41	26
Sgo.Estero	-4.27	18.5	12.11	50
Chepes	-2.91	13.11	-9.49	52
Córdoba	-5.99	19.55	-8.66	64
Paraná	-6.56	14.52	8.48	56
Mendoza	-1.13	4.41	-1.73	42
Ezeiza	-2.81	5.77	19.16	30
Victorica	-4.89	12.42	-1.78	69
M.del Plata	-1.71	6.95	14.93	44
V.Reynolds	-5.01	16.06	-5.31	61
Posadas	-3.59	4.95	40.53	13
Sauce Viejo	-6.57	10.61	12.24	51
Junin	-6.85	13.16	8.51	59

Los resultados indican que en distintos lugares de Argentina subtropical el ciclo anual de precipitación no reviste la misma importancia. Aparentemente en la zona occidental y central la onda anual determina el régimen de precipitación mientras que en el resto del área de estudio el ciclo anual no es tan importante. Por lo tanto en el este del país no es posible predecir anomalías en el régimen de lluvias con el exclusivo conocimiento de la onda anual y de los procesos que pueden influir en su modificación.

Se evidencia una relación estrecha entre la onda anual de la precipitación y la onda anual de los gradientes zonal y meridional de presión, que influyen el aporte de humedad desde las dos fuentes posibles. La advección de aire húmedo proveniente del sector Atlántico es máxima en septiembre y se mantiene hasta enero, provocando el inicio de la época lluviosa mientras que la advección de aire húmedo tropical es importante en verano. Evidentemente ambos factores se potencian dando lugar a máximas lluvias estivales en la totalidad de Argentina subtropical.

3. El ciclo anual de la precipitación en el período 1975-1991

Con el fin de que los ciclos anuales de OLR y de precipitación fuesen comparables se han estudiado para el período en que ambos estuvieron disponibles (1975-1991). Para este período han podido utilizarse un mayor número de estaciones con registros completos de lluvia. Se han considerado los datos de precipitación acumulada durante 10 días para las 32 estaciones meteorológicas indicadas en la TABLA VI.

TABLA VI : Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis del período 1975-91.

ESTACION	LATITUD (°S)	LONGITUD (°O)
Posadas Aero	27.37	55.97
Gral.Paz	27.75	57.63
Corrientes Aero	27.45	57.63
Paraná Aero	31.78	60.48
Gualeguaychú Aero	33.00	58.62
Ceres Aero	29.88	61.95
Rosario Aero	32.92	60.78
Sauce Viejo Aero	31.7	60.82
Las Lomitas	24.7	60.58
Formosa Aero	26.2	58.23
P.Roque Saenz Peña Aero	26.82	60.45
Resistencia	27.47	58.98
Santa Rosa Aero	36.57	64.27
General Pico Aero	35.7	63.75
Santiago del Estero Aero	27.77	64.3
Ezeiza Aero	34.82	58.53
Coronel Suarez Aero Club	37.43	61.88

Mar del Plata Aero	37.93	57.58
Bahia Blanca Aero	38.73	62.17
Pehuajó Aero	35.86	61.9
Villa María del Río Seco	29.9	63.68
Córdoba Aero	31.32	64.22
Tinogasta	28.07	67.57
La Rioja Aero	29.38	66.82
Chepes	31.33	66.6
Famailá Inta	27.05	65.42
Rivadavia	24.17	62.9
Salta Aero	24.85	65.48
La Quiaca Obs.	22.1	65.6
San Juan Aero II	31.57	68.42
Villa Reynolds Aero	33.73	65.38
Mendoza Obs.	32.88	68.85

La figura 36 muestra que la distribución es aproximadamente homogénea.

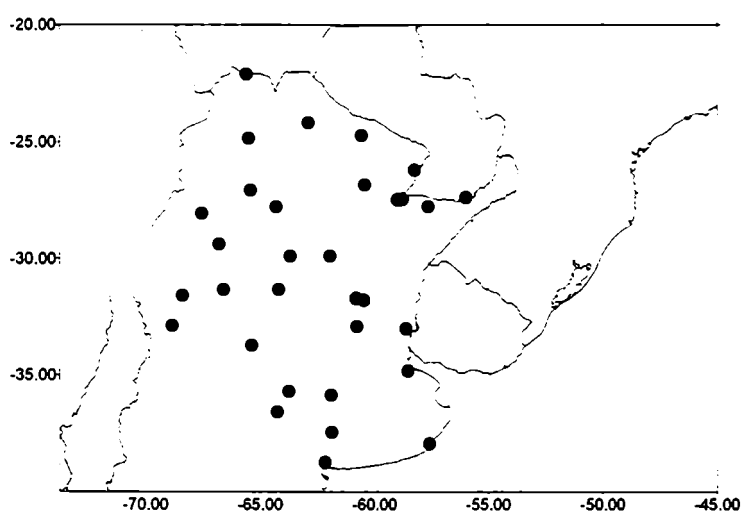


Figura 36: Distribución geográfica de las estaciones utilizadas para analizar la precipitación en el período 1975-91.

3.1. Análisis de los campos espaciales de onda anual de precipitación

Se calculó la onda anual para cada una de las estaciones mencionadas en el ítem anterior y se construyeron los campos medios de precipitación para cada uno de los 36 períodos de 10 días del año. Los campos muestran un máximo en el noroeste del país durante el verano y un máximo en el noreste en el invierno. Las figuras 37 y 38 muestran a modo de ejemplo el campo medio de los primeros 10 días de febrero y de los últimos 10 días de julio, respectivamente.

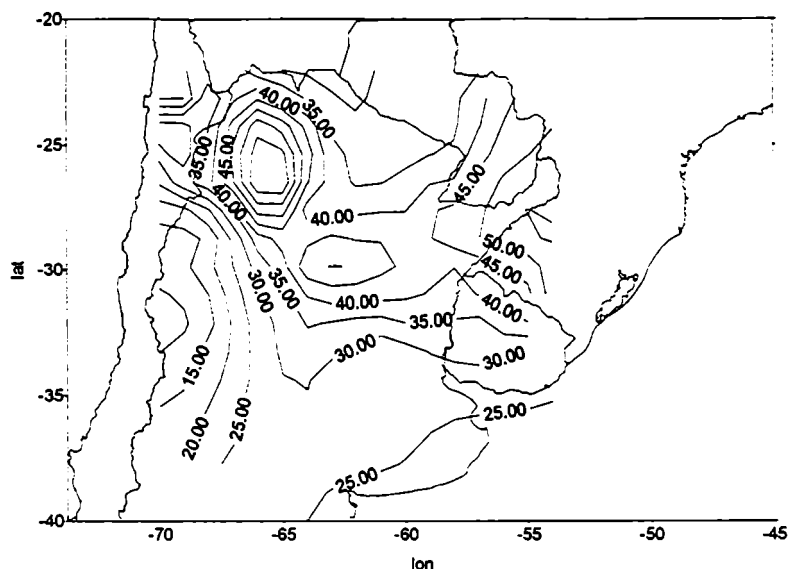


Figura 37: Campo medio de precipitación (en mm) para los primeros 10 días de febrero.

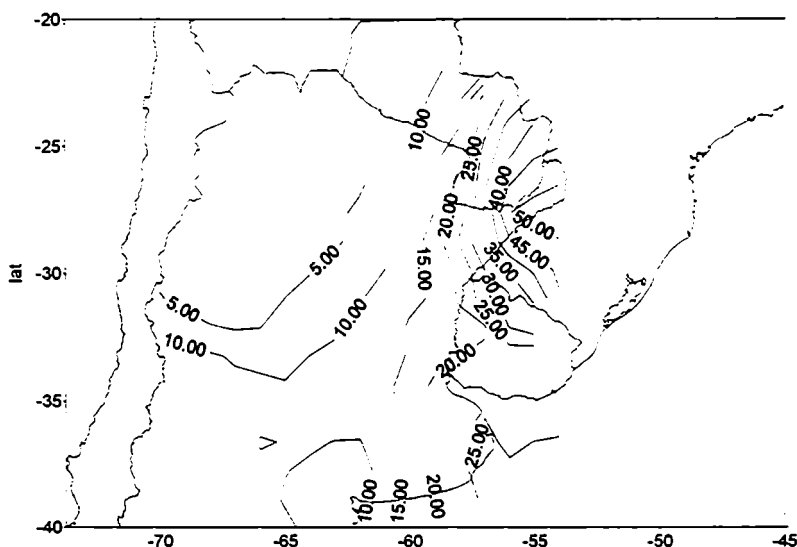


Figura 38: Campo medio de precipitación (en mm) para los últimos 10 días de julio.

Se aplicó el método de componentes principales a estos campos medios, según la metodología matemática detallada por Green (1978). Se utilizó el modo-T, donde los 36 periodos de 10 días actúan como variables matemáticas y las estaciones como observaciones. Se obtuvieron 4 autovalores mayores que 1 que representan los 4 autovectores significativos. El primer autovector explica el 58.8% de la varianza de la lluvia y el segundo el 18.6%, mientras que el tercero y el cuarto sólo explican el 4.2% y el 3.4% respectivamente. Las figuras 39a y 39b muestran los gráficos de los autovectores. Sólo los autovectores con autovalor superior a la unidad han sido retenidos. El primer autovector tiene poca variabilidad durante el año excepto por un mínimo en enero. El segundo representa la lluvia de verano con su máxima expresión en el noroeste del país.

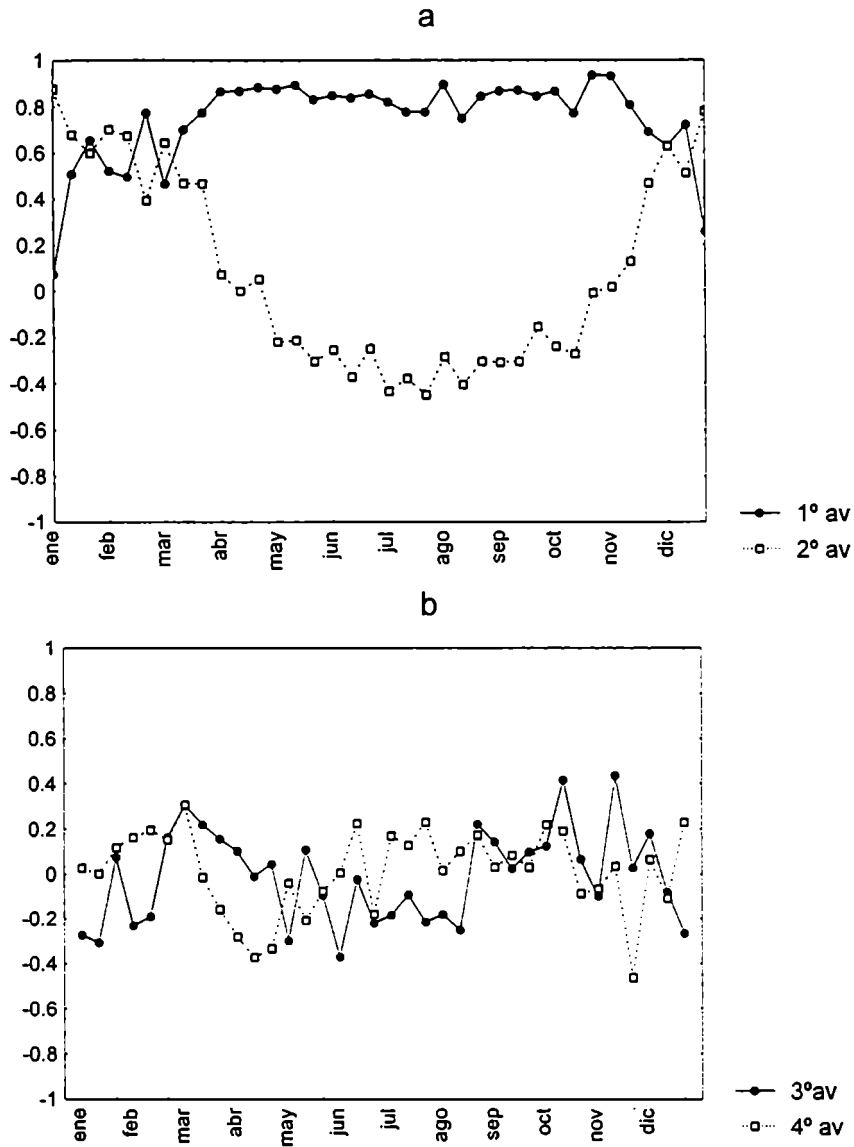


Figura 39: Primero y segundo autovectores (a) y (b) Tercero y cuarto autovectores de precipitación media.

La figura 40a muestra la primera componente principal correspondiente al primer autovector. Físicamente representa el máximo de lluvias observado en la región noreste del país durante el invierno y parte del otoño y de la primavera, que parece estar generada sinópticamente a través de la actividad frontal. Esto puede notarse si se la compara con el campo medio de lluvia los últimos 10 días de julio, representativo del invierno (figura 38). La figura 40b muestra la segunda componente principal correspondiente al segundo autovector. Representa la lluvia estival con un claro máximo en el sector noroeste del país, lo que se pone de manifiesto al compararla con el campo medio de lluvia los primeros 10 días de febrero, representativos de las lluvias de verano (figura 37).

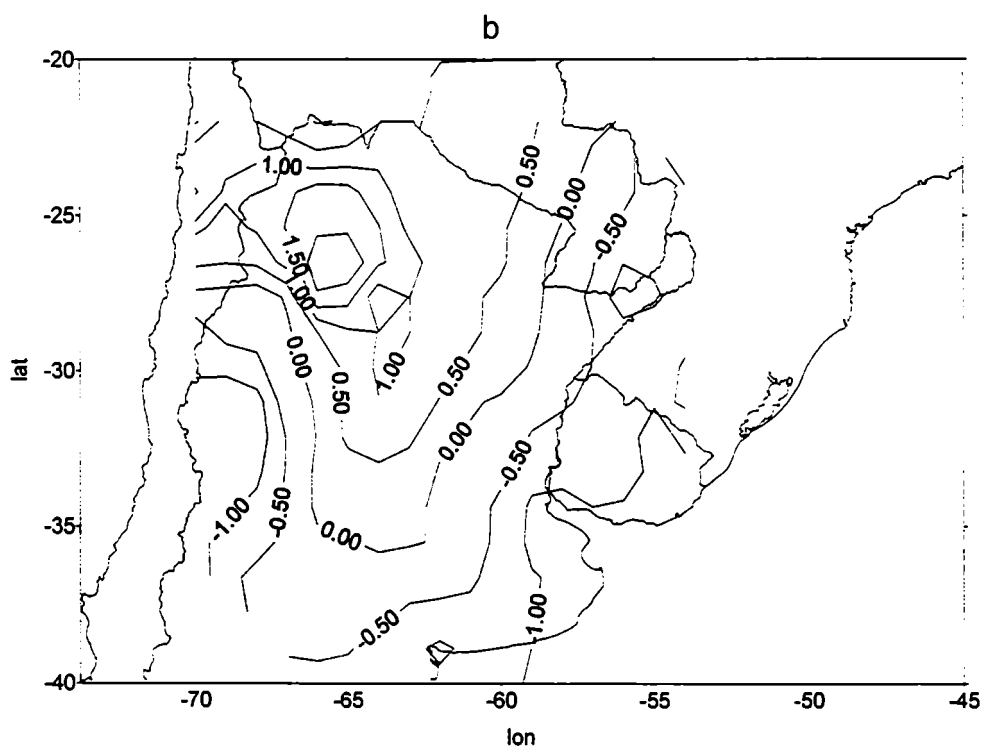
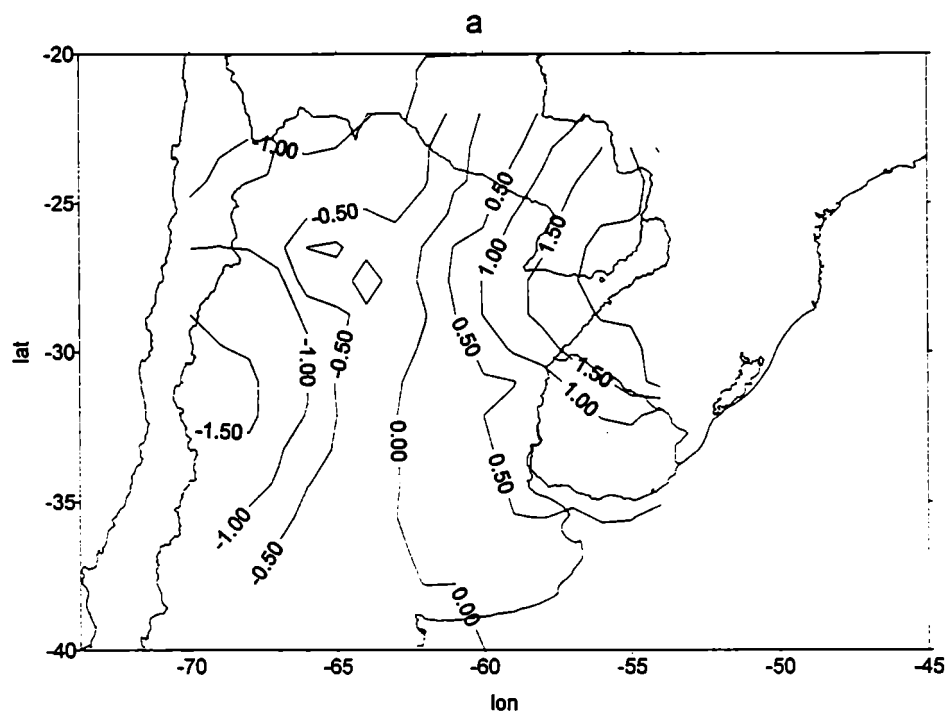


Figura 40: Primera (a) y segunda (b) componente principal del campo de precipitación media.

Evidentemente el tercer y el cuarto autovector (figura 39b) explican muy poca varianza. Sin embargo la tercera componente principal (figura 41a) representa las máximas lluvias de otoño y primavera (máximos en marzo y noviembre) que se observan estadísticamente en la zona de Entre Ríos, sur de Santa Fe y Buenos Aires, como así también la lluvia que en el invierno presenta el noreste mesopotámico. La cuarta componente principal (figura 41b) representa una parte de la lluvia del invierno y otra que colabora con el máximo observado en marzo también en la zona del litoral localizándose en el Río de la Plata y la lluvia de otoño en la zona de Chaco y Formosa.

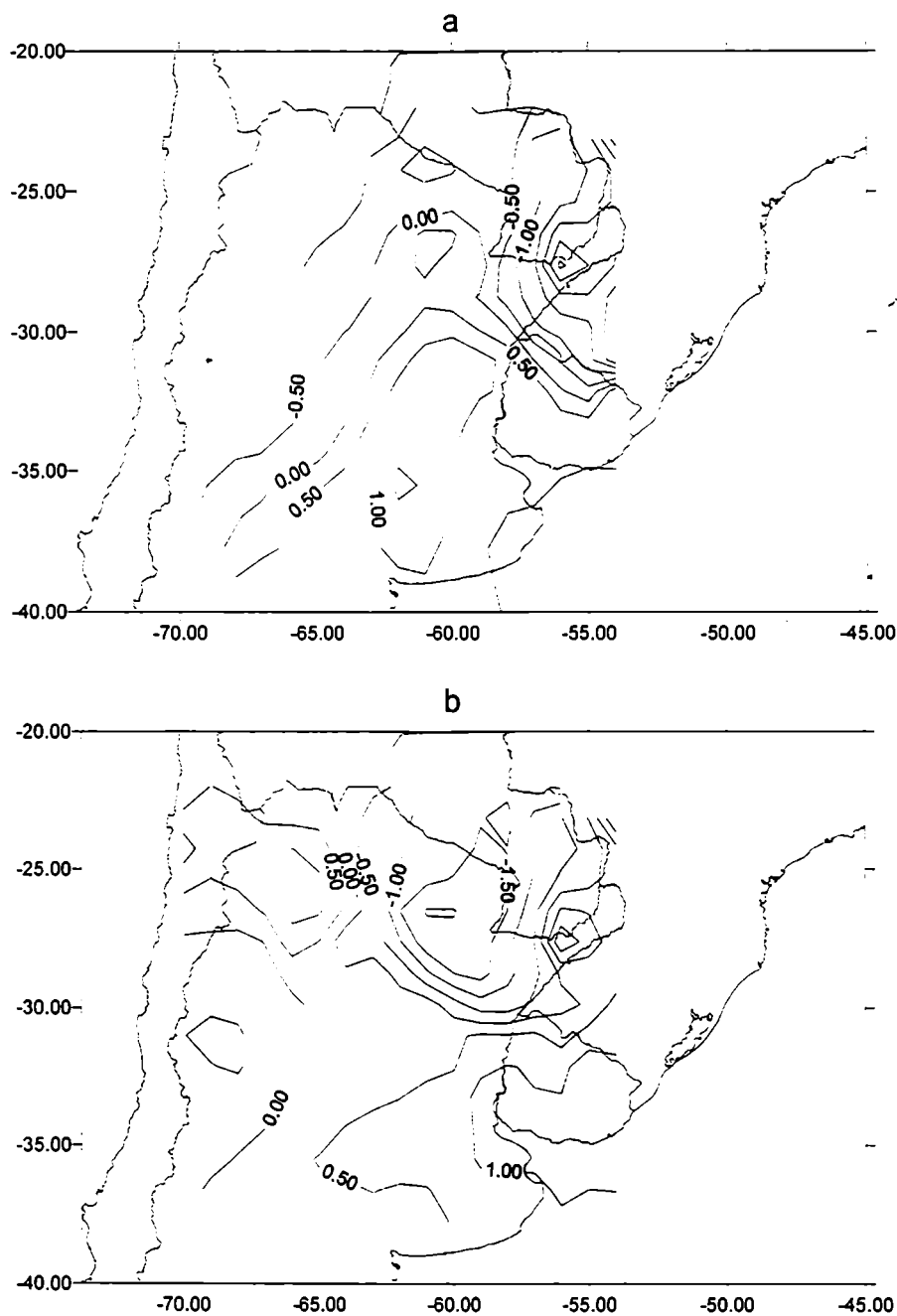


Figura 41: Tercera (a) y cuarta (b) componente principal del campo medio de precipitación.

Este análisis se ha repetido pero considerando 29 estaciones ubicadas en la zona al sur de 30°S del área de estudio con el fin de verificar que el hecho de tener

una máxima variabilidad en el norte del país, no influencia los campos resultantes al sur de 30°. La figura 42 muestra los dos primeros autovectores de precipitación, que explican el 57.2% y el 15.4% de la varianza de la lluvia.

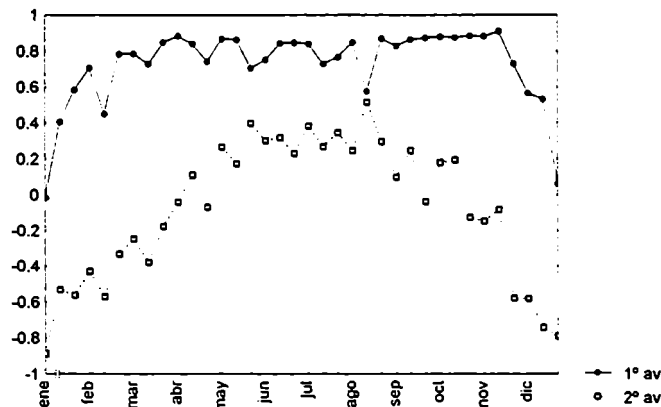


Figura 42: Primero y segundo autovectores de precipitación media para el área al sur de 30°S.

Las figuras 43 y 44 muestran las 2 primeras componentes principales. Sus campos muestran exactamente la misma configuración que cuando se consideró el área completa. La segunda componente principal muestra claramente una zona central con una componente importante de lluvia de verano probablemente asociada a la advección de humedad, otra al oeste con ausencia de lluvias todo el año y otra al este con una componente importante de lluvias aún en invierno que podría estar indicando la mayor actividad frontal.

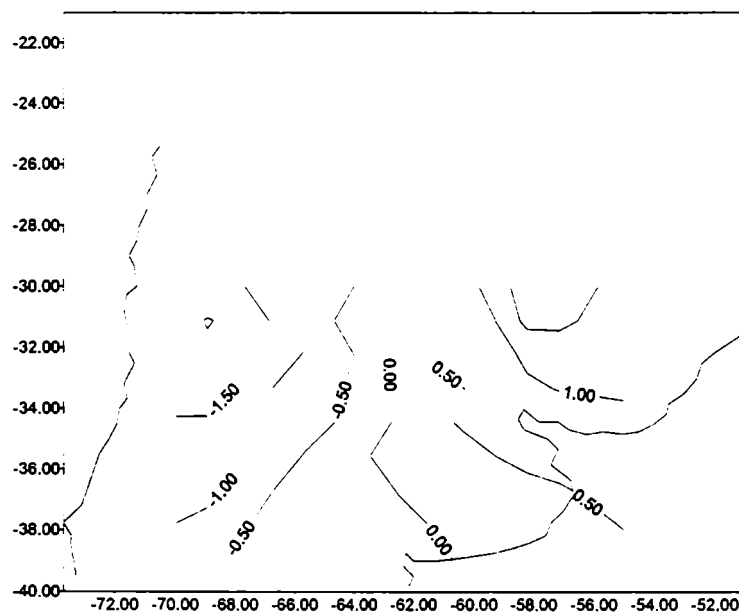


Figura 43: Primera componente principal del campo medio de precipitación al sur de 30°S.

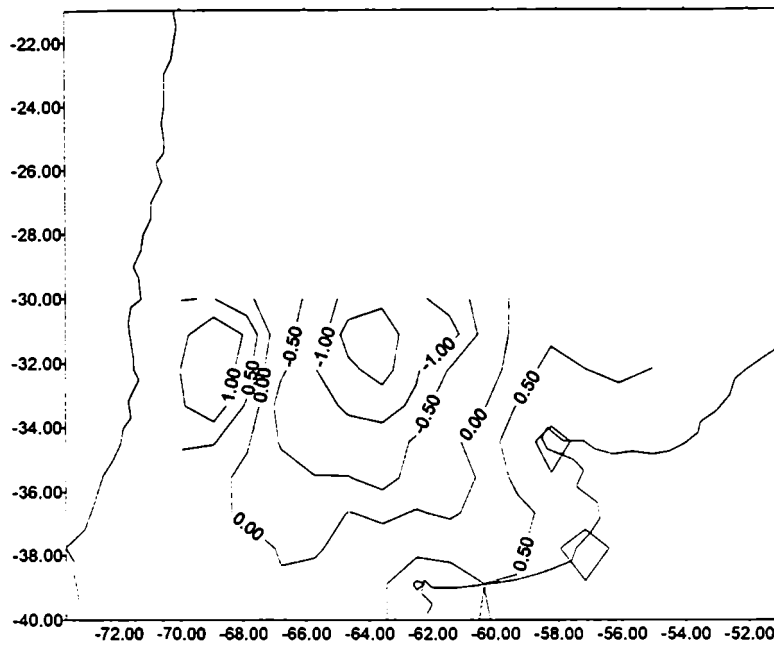


Figura. 44: Segunda componente principal del campo medio de precipitación al sur de 30°S.

3.2. Relación entre los autovectores del ciclo anual de la lluvia y algunos índices.

Se calcularon nuevamente los índices POSMP y POSCH, definidos anteriormente, para el período 1975-91 (figura 45a). Se consideró la latitud media de los vientos máximos observados (LATVM) obtenidos por Doyle (1994) con datos de velocidad zonal y meridional en 200 y 300 Hpa del conjunto de datos del Centro Europeo para el período 1980-88 (figura 45b).

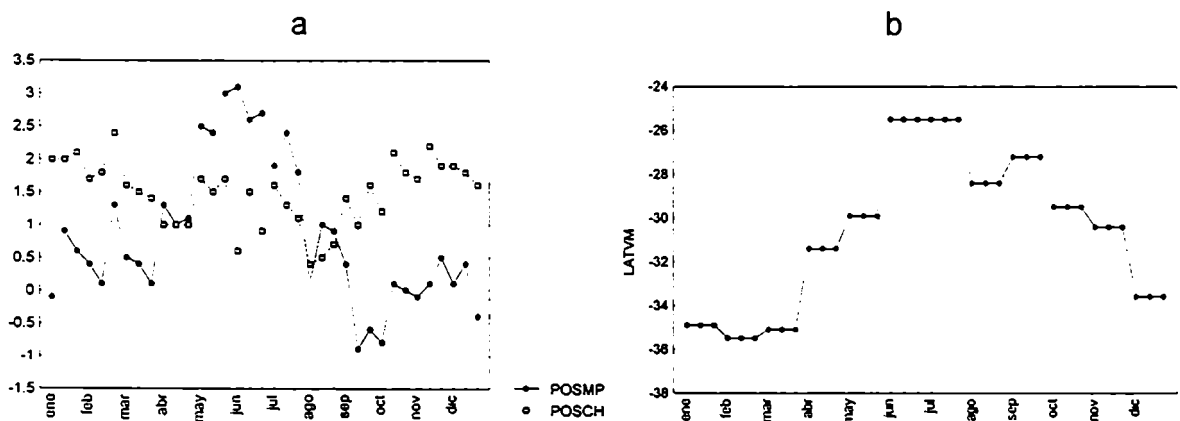


Figura 45: (a) Indicadores de los gradientes meridional y zonal de presión y (b) Latitud media del viento máximo observado.

Se correlacionaron los autovectores de precipitación media para el área completa con cada uno de estos 3 índices obteniéndose los resultados mostrados en la TABLA VII. El asterisco indica que son significativos con un nivel de confianza

del 95%. El coeficiente de correlación de Pearson entre las variables X e Y se define como:

$$R_{xy} = \text{cov}(X,Y) / S_x S_y$$

donde S_x y S_y son los desvíos standard de las variables y $\text{cov}(X,Y)$ es la covarianza entre ambas.

TABLA VII: Correlaciones entre autovectores de precipitación y los índices definidos.

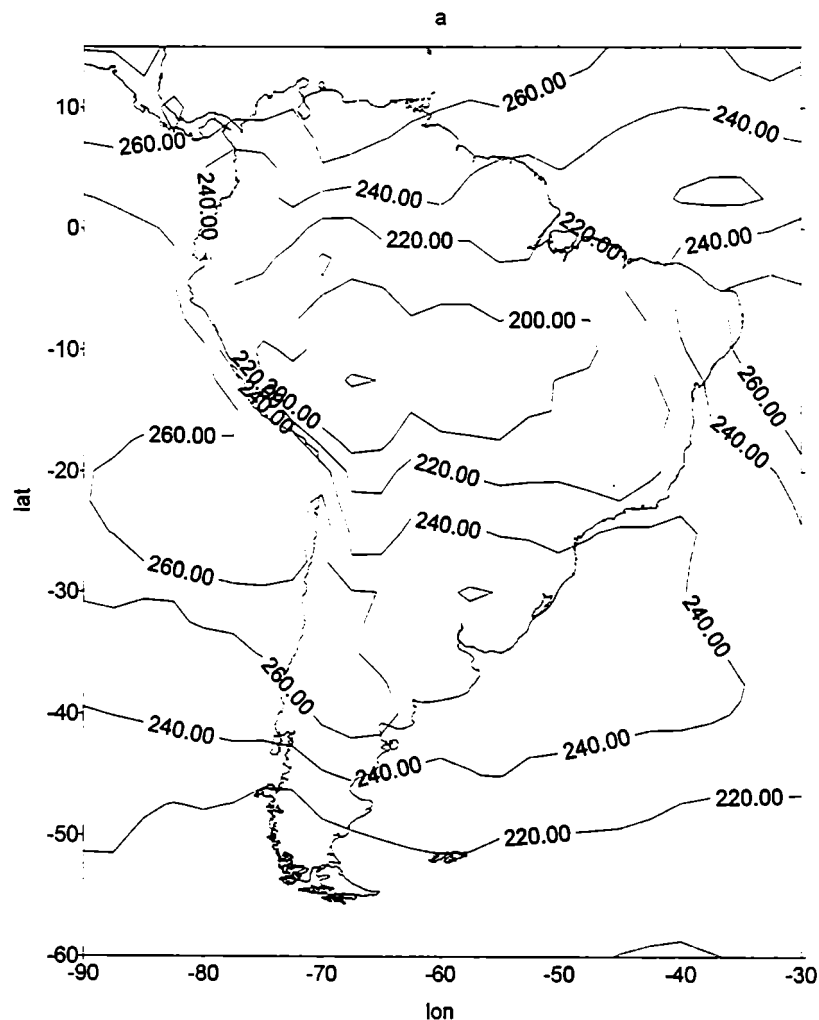
	POSMP	POSCH	LATVM
1° autovector	0.29	-0.38 *	0.61 *
2° autovector	-0.43*	0.55*	-0.91*
3° autovector	-0.35*	0.28	0.15
4° autovector	-0.15	0.13	0.03

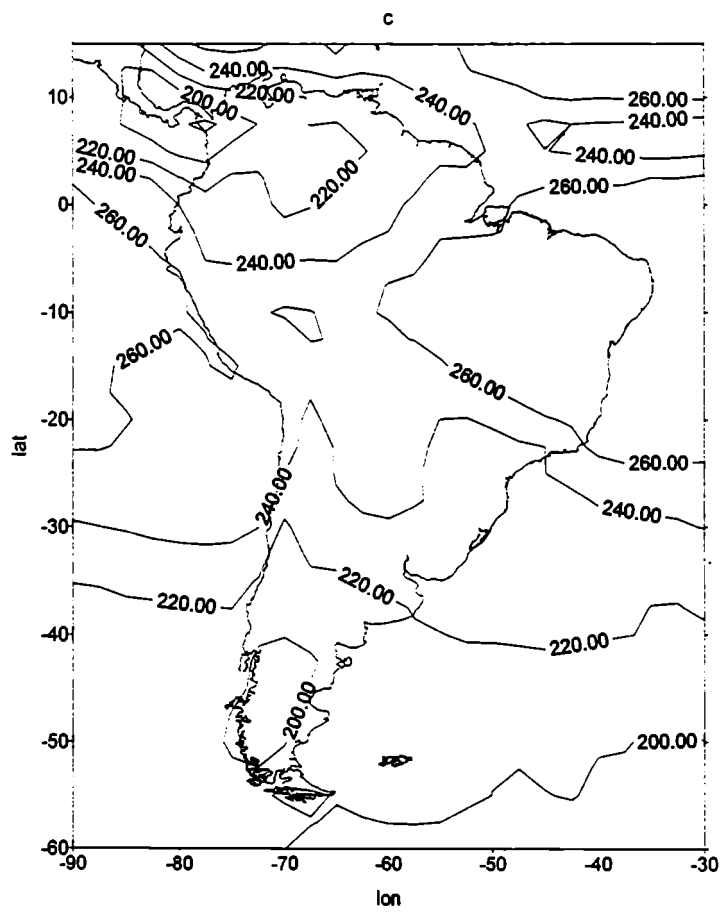
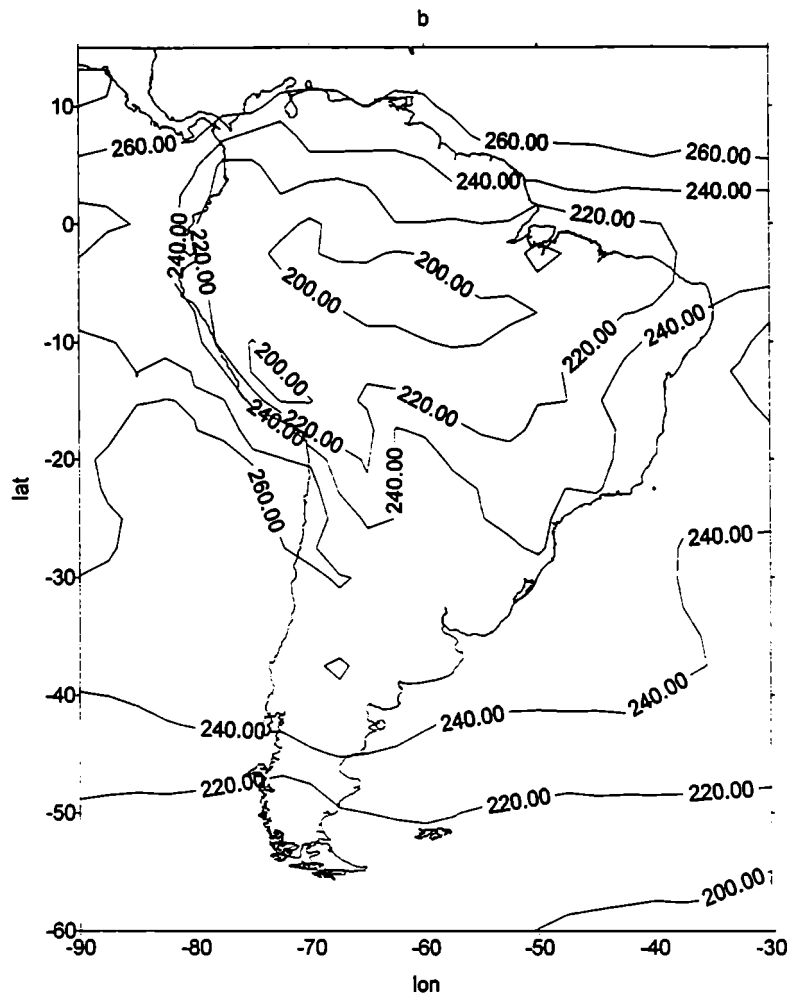
La correlación negativa significativa entre el primer autovector de precipitación media y POSCH (-0.38) indica que el viento proveniente del sector norte afecta más la lluvia del oeste que del este en Argentina subtropical. La correlación positiva (0.61) con LATVM manifiesta que en el invierno los sistemas (anticiclón del Atlántico), se desplazan hacia el norte, produciendo un aumento de las lluvias en el noreste de la región, dado que tiene asociado el ingreso de aire húmedo desde el océano. El 2° autovector se correlaciona positivamente con POSCH (0.55) indicando que un alto gradiente zonal de presión en verano genera la entrada de humedad desde los trópicos por advección desde el norte y negativamente con POSMP indicando que un fuerte gradiente meridional de presión está asociado a fuertes vientos del oeste y por lo tanto poca entrada de humedad desde el norte y desde el este, como ocurre en el invierno en la zona noroeste de Argentina. La alta correlación entre el 2° autovector con LATVM (0.91) manifiesta el hecho que el anticiclón del Atlántico se ubica más al sur durante el verano, aumentando muy significativamente la precipitación media en el oeste. La correlación significativa negativa (-0.35) entre el 3° autovector y POSMP es indicativo de lo que acontece en los equinoccios: el autovector es positivo indicando un máximo de lluvias en la zona del sur del litoral, Santa Fé y Buenos Aires y aumenta mientras POSMP decrece es decir, cuando el viento del oeste disminuye su intensidad permitiendo la probable entrada de aire húmedo desde el este.

4. El ciclo anual de OLR

4.1. Los campos medios

Para el mismo período (1975-91) se han analizado los campos promedios de OLR cada 5 días, obteniendo claramente el desplazamiento de la convección hacia el hemisferio donde es verano. En la figura 46 puede observarse la evolución para distintas pñtadas: los mínimos valores de OLR, asociados a la nubosidad convectiva, se ubican en el hemisferio sur en el verano de ese hemisferio, abarcando la totalidad de la selva amazónica y se desplaza hacia el hemisferio opuesto durante el invierno, posicionándose en América Central.





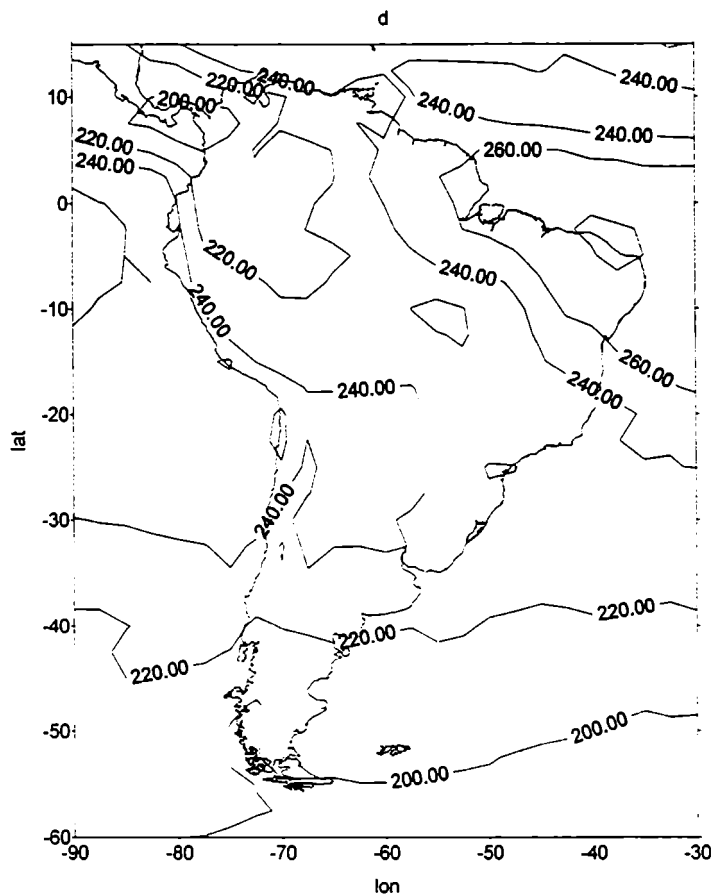


Figura 46: Campos medios de OLR para las péntadas (a) 1 (1 al 5 enero), (b) 15 (12 al 16 marzo), (c) 35 (20 al 24 junio) y (d) 55 (28 septiembre al 2 octubre).

4.2. El onset y el fin de la convección en el hemisferio sur

Se calculó, para cada uno de los años en el periodo 1975-91, la péntada en la que se produce el onset de la convección en el HS, en cada uno de los puntos del retículado, con el criterio enunciado por Kousky (1988):

- * el valor pentádico es menor que 240 w/m^2
- * de las 12 pentadas anteriores por lo menos 10 tienen valor mayor que 240 w/m^2
- * de las 12 pentadas siguientes por lo menos 10 tienen valor inferior que 240 w/m^2

Cabe aclarar que existen puntos donde dicho criterio no se satisface nunca, lo cual indica que la convección intertropical nunca se encuentra sobre él. Se elaboró el campo promedio de onset para todo el periodo (figura 47). En él puede observarse cómo la convección sobre Sudamerica tiene un desplazamiento noroeste-sudeste y aproximadamente en la péntada 56 (3-7 octubre) ya cubre toda la selva

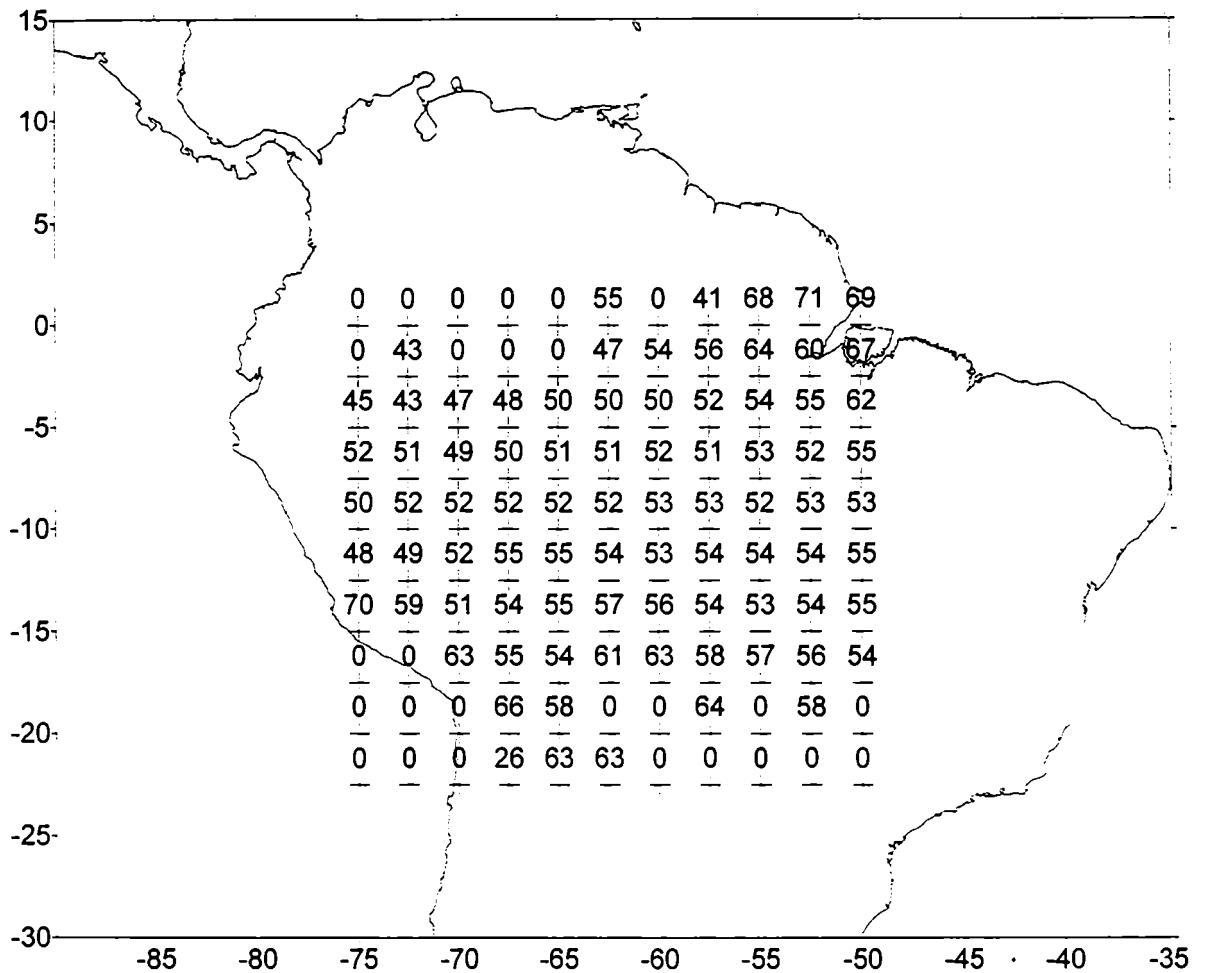


Figura 47: Péntada promedio (1975-91) en que se produce el onset de la convección. El valor 0 indica que el criterio de onset no fue satisfecho.

Análogamente, al finalizar el verano del hemisferio sur la convergencia intertropical se desplaza hacia el hemisferio norte. Se calculó para cada uno de los años la péntada en que se produce el fin de la convección según el criterio enunciado por Kousky (1988):

* el valor pentádico es mayor que 240 w/m^2

* de las 12 péntadas anteriores al menos 10 tienen valor menor que 240 w/m^2

* de las 12 péntadas posteriores al menos 10 tienen valor mayor que 240 w/m^2

Se construyó el campo promedio de fin de la convección que se muestra en la figura 48.

Los campos de onset y end de la convección han sido elaborados por Kousky (1988) y coinciden con los mostrados en las figuras 47 y 48, que han sido realizados con el fin de validar una vez más los datos de OLR con que se trabaja.

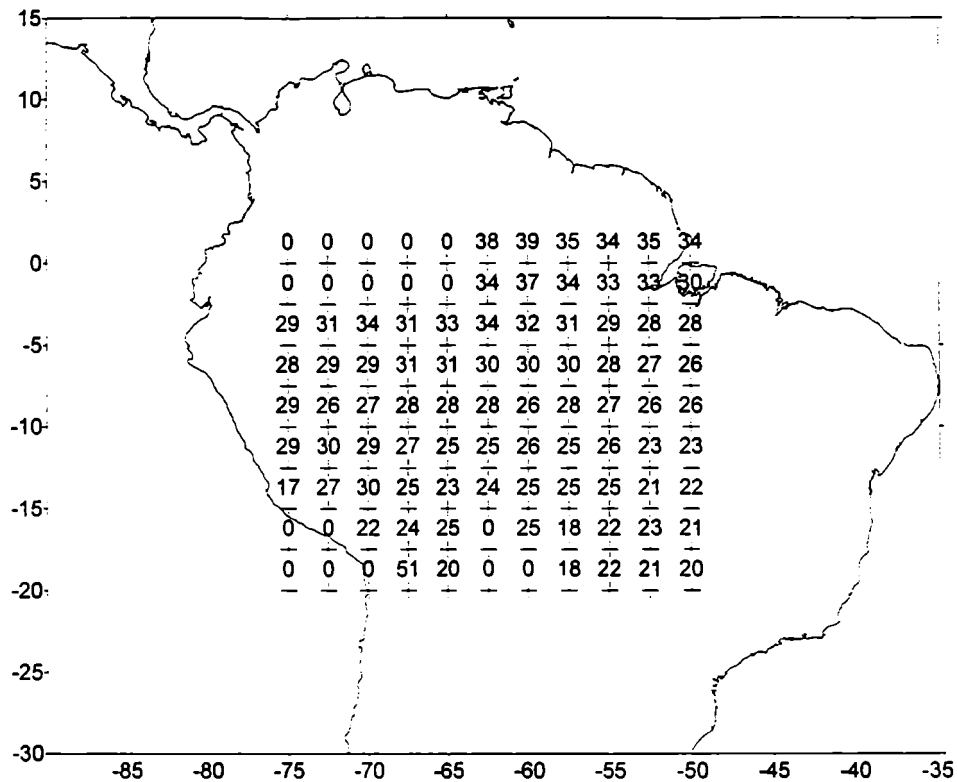


Figura 48: Péntada promedio (1975-91) en que se produce el fin de la convección.

4.3. Análisis del campo climatológico de OLR

Los campos medios de OLR han sido analizados por el método de componentes principales. Se ha utilizado el modo T que permite analizar posibles patrones de comportamiento. Para ello se han tomado como variables matemáticas a las 73 péntadas y como observaciones a los valores de OLR en los 475 puntos de reticulado que conforman el área comprendida entre 15°Ny 30°S y entre 30°O y 90°O.

El análisis por componentes principales dió como resultado 4 autovectores significativos, es decir con autovalores mayores que la unidad. Asociados a ellos los autovectores se muestran en las figuras 49a y 49b.

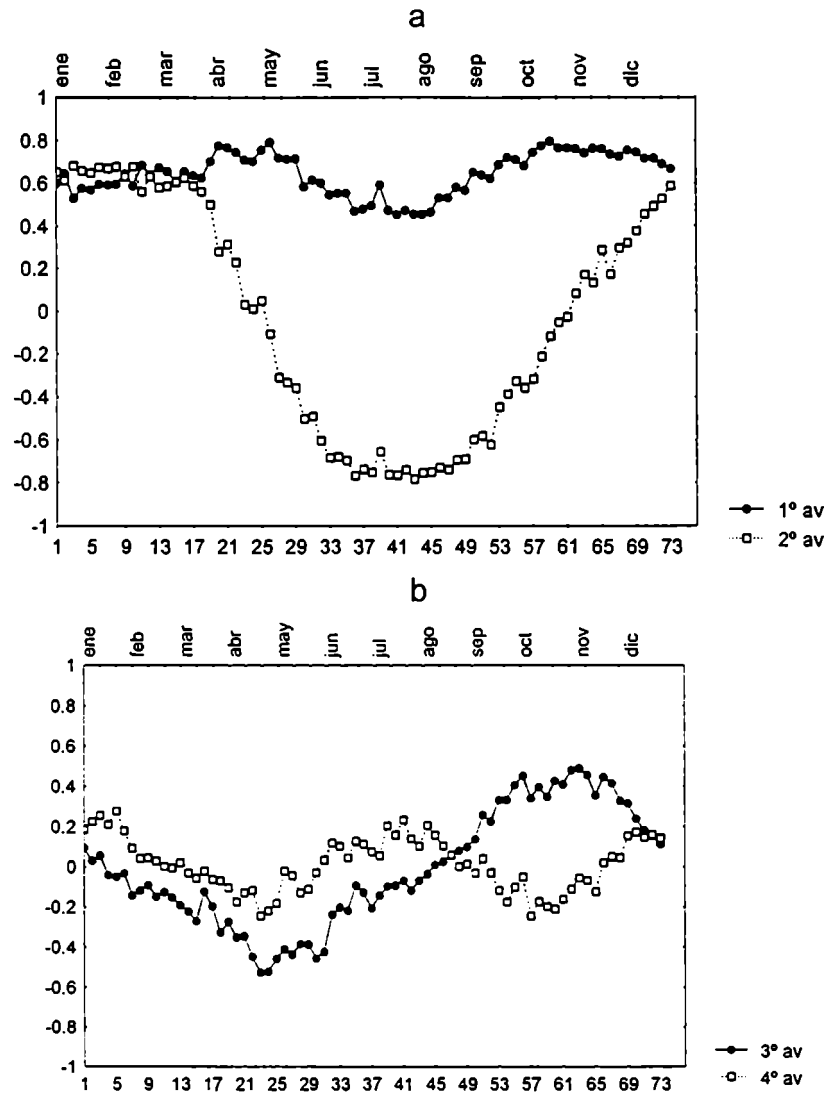


Figura 49: (a) Primer y segundo, (b) tercer y cuarto autovectores del campo medio de OLR.

La primera componente principal explica el 42.4% de la varianza y la segunda el 29.1%. La tercera y cuarta explican valores bajos que sólo alcanzan al 8.2 y al 1.7% de la varianza. La figura 50 muestra el campo de la primera componente principal y la 51 la segunda.

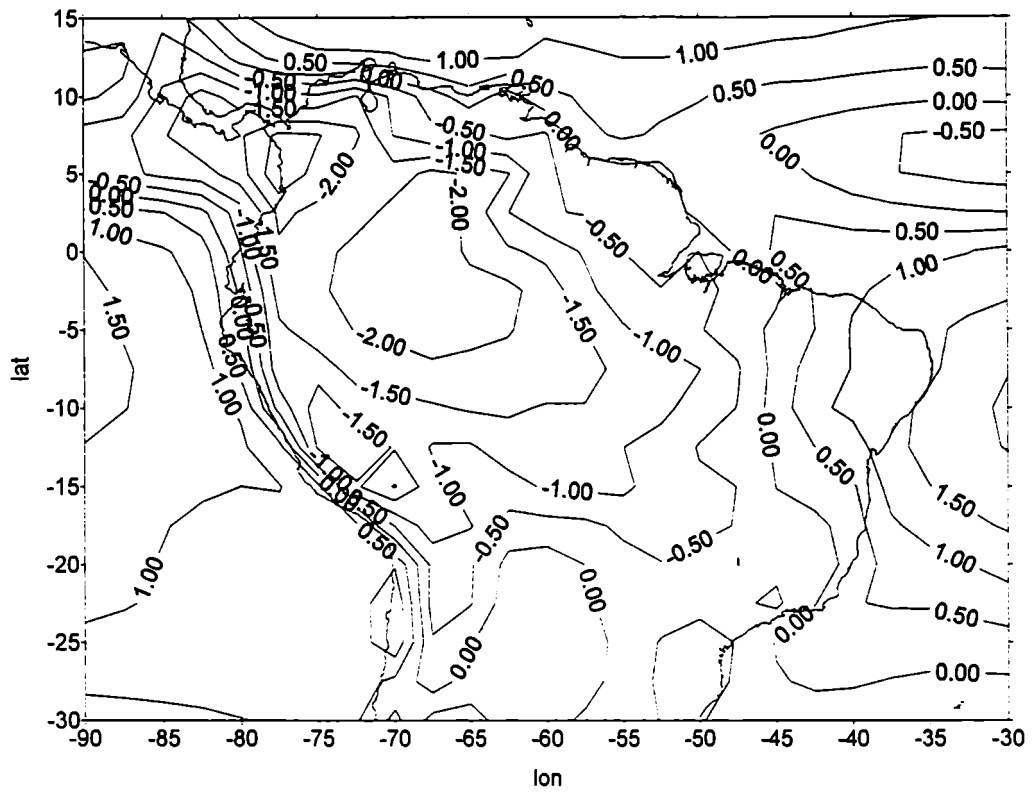


Figura 50: Primera componente principal del campo medio de OLR.

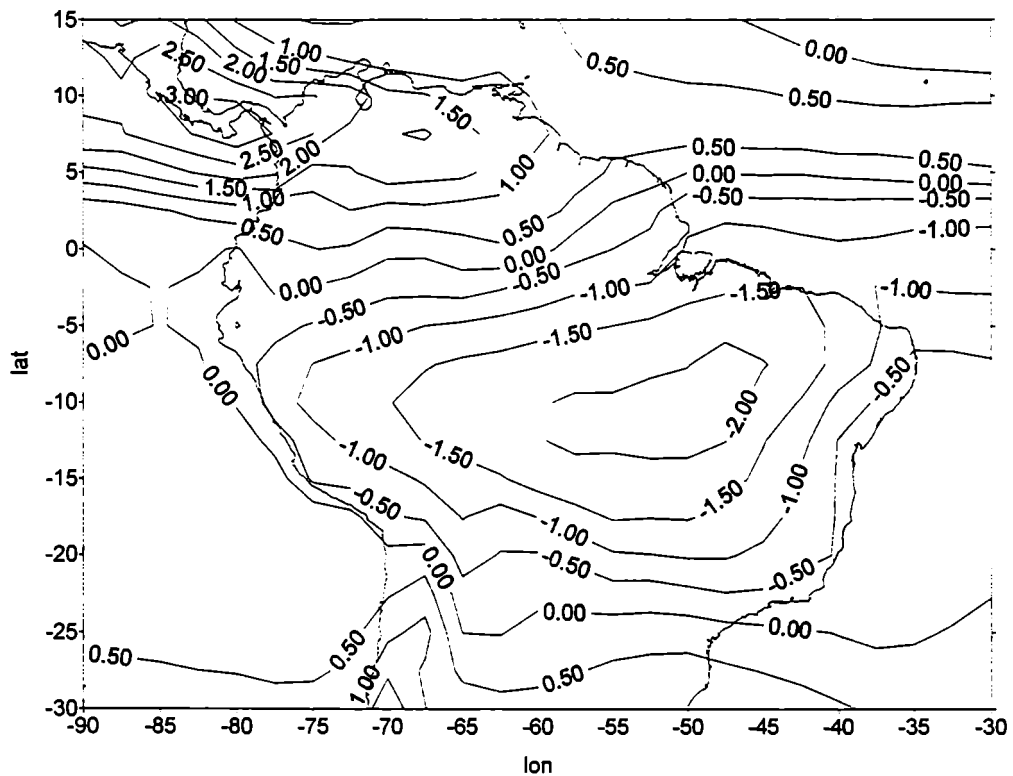


Figura 51: Segunda componente principal del campo medio de OLR.

El primer autovector representa el campo medio con poca variación a lo largo del año, incluyendo la SACZ (South Atlantic Convergence Zone) y su relación con la convección en la zona central de Brasil. El segundo autovector es negativo en invierno y positivo en verano y estaría indicando que el campo observado en la

figura 51 representa la situación típica del verano del HS en que la CIT se encuentra desplazada hacia el centro de Brasil (ver figura 46a) y la situación opuesta correspondería al invierno de este hemisferio cuando la CIT se desplaza hacia América central (ver figura 46c). Describe el desplazamiento de la ITCZ (Intertropical Convection Zone) durante el año.

Para analizar la posible dependencia de los resultados respecto del área considerada, se aplicó el método de componentes principales a una subárea de la anterior comprendida entre 0°S y 15°S y entre 75°O y 45°O con un reticulado de 2.5°latitud x5°longitud, lo que totalizan 49 puntos. Se obtuvieron 5 autovalores superiores a la unidad. La primera componente principal explica el 40.3% de la varianza, la segunda el 28.1%, la tercera el 10.1%, la cuarta el 2.5% y la quinta el 1.4%. La figura 52 muestra los dos primeros autovectores y las figuras 53a y 53b los campos de la primera y segunda componentes principales respectivamente. Como puede observarse los autovectores y los campos mantienen la misma estructura que la mostrada en el caso del área completa, indicando que las variaciones son coherentes en toda el área y no dependen del tamaño de la misma.

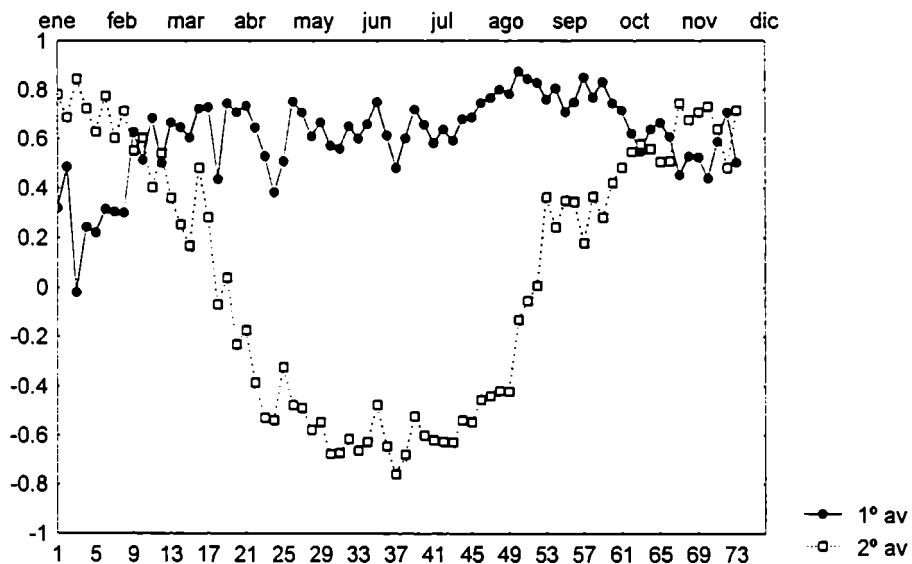
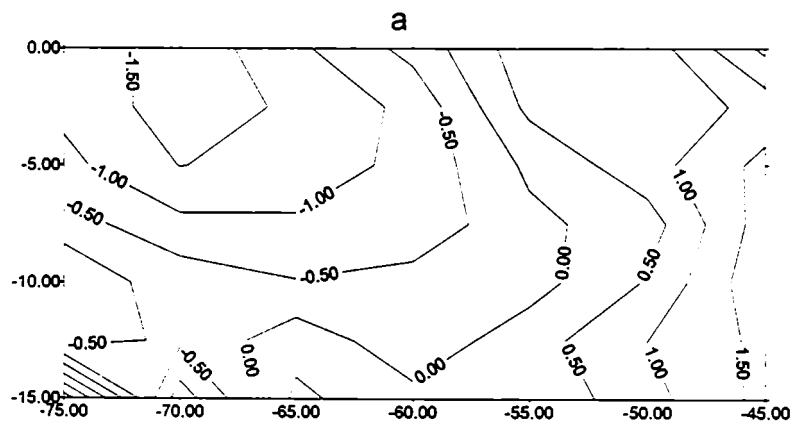


Figura 52: Primer y segundo autovectores del campo medio de OLR en un área reducida.



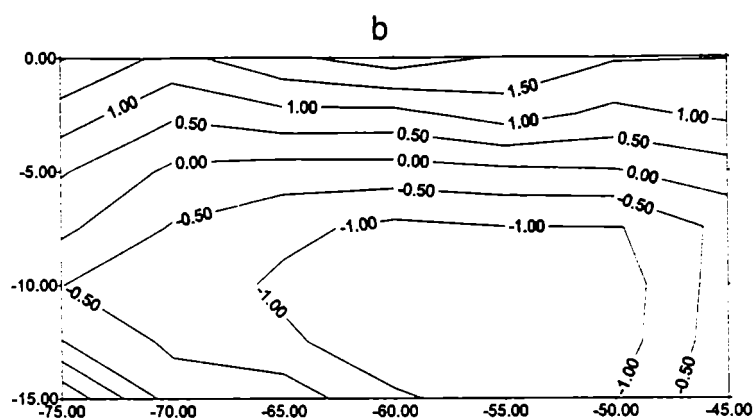


Figura 53: (a) Primera y (b) segunda componente principal del campo medio de OLR en un área reducida.

5. Relación entre los autovectores del campo medio de OLR en la zona tropical y los de la precipitación media en Argentina subtropical.

Las series temporales definidas por los autovectores de OLR y de precipitación se han correlacionado arrojando los valores que muestra la tabla VIII.

TABLA VIII: Correlación entre los autovectores de OLR y de precipitación medios. El * indica significativos con el 95% de confianza.

	autovec 1 de OLR	autovec 2 de OLR
autovec 1 de pp	0.06	-0.61*
autovec 2 de pp	0.26*	0.93*
autovec 3 de pp	0.41*	0.10
autovec 4 de pp	-0.37*	-0.13

La correlación positiva y alta de 0.93 parece indicar que el ciclo anual de OLR influencia la lluvia promedio en el noroeste de Argentina subtropical, ya que la segunda componente principal (figura 40b) de precipitación presenta un máximo positivo en ese área. Esta correlación no puede ser atribuida exclusivamente a un factor común como puede ser, y de hecho lo es, el ciclo anual de calentamiento radiativo. En efecto la función de crosscorrelación (figura 54) es asimétrica: decrece más lentamente cuando el autovector de OLR está atrasado en el tiempo respecto del de precipitación que cuando el de precipitación está atrasado respecto del de OLR. Esto significa que puede existir algún elemento causal que relacione a la OLR de Brasil con la lluvia en Argentina.

Nuevamente, la correlación significativa y negativa (-0.61) con el primer autovector de precipitación media indica la incidencia del desplazamiento de la CIT sobre la región oeste, ya que la primera componente principal de lluvia (figura 40a) presenta un máximo negativo en esa región.

El primer autovector de OLR medio (figura 49a) es positivo, con poca variación anual aunque se pueden notar máximos en los equinoccios. Según se observó con anterioridad, es probable que esté relacionado con la SACZ. La correlación positiva con el tercer autovector de precipitación indicaría la probable incidencia de la SACZ, sobre todo en la lluvia media de los equinoccios en el área comprendida por el sur mesopotámico, sur de Santa Fe y Buenos Aires, donde la tercera componente principal de precipitación (figura 41a) presenta un máximo positivo. La correlación negativa con el cuarto autovector indicaría la probable incidencia de la SACZ en el área del este de Chaco y Formosa, donde la cuarta componente principal de precipitación media (figura 41b) presenta un máximo negativo.

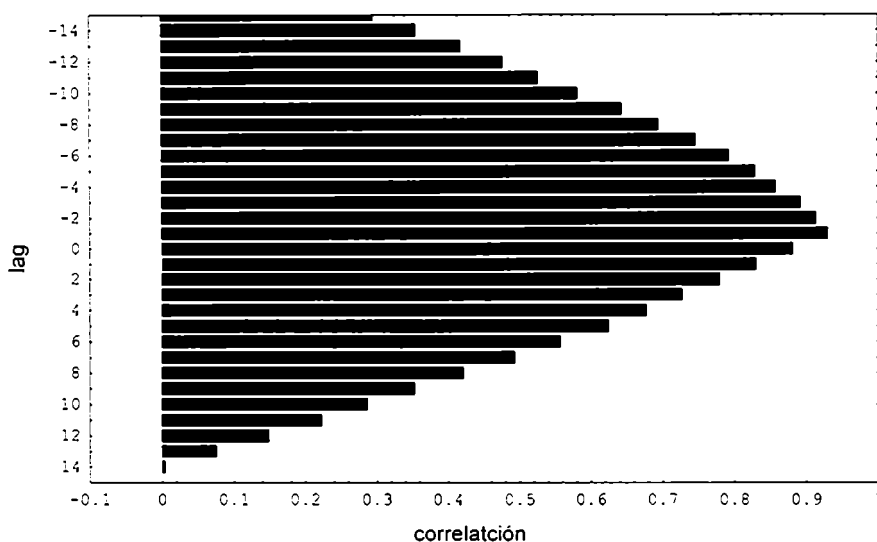


Figura 54: Función de cross-correlación el 2º autovector de OLR está desfasado temporalmente respecto del de precipitación.

Las correlaciones entre los autovectores de precipitación y de OLR se hicieron desfasando 10 días la precipitación hacia adelante (correlación entre la precipitación media en un período de 10 días respecto del OLR medio durante los 10 días anteriores) y se obtuvieron todavía correlaciones altas (TABLA IX) y desfasando 20 días la precipitación hacia adelante en el tiempo (TABLA X). El hecho de que la correlación entre el segundo autovector de precipitación y el segundo autovector de OLR tome valores altamente significativos, aún desfasando 20 días una variable respecto de la otra, estaría indicando que el campo de OLR podría ser usado como una de las herramientas predictivas de la precipitación en regiones de Argentina, donde la onda anual de lluvia sea muy marcada.

TABLA IX: Correlación entre los autovectores de OLR y los de precipitación 10 días después.

	autovec 1 de OLR	autovec 2 de OLR
autovec 1 de pp	-0.03	-0.55*
autovec 2 de pp	0.32*	0.89*

TABLA X: Correlación entre los autovectores de OLR y los de precipitación 20 días después.

	autovec 1 de OLR	autovec 2 de OLR
autovec 1 de pp	-0.08	-0.48*
autovec 2 de pp	0.35*	0.81*

6. Conclusiones parciales

En distintos lugares de Argentina subtropical el ciclo anual de precipitación no reviste igual importancia. Es más importante en el oeste, con condiciones secas durante todo el invierno y menos dominante en el este. la relación entre la varianza del ciclo anual y la de la variabilidad interanual decrece de oeste a este, excepto por la parte noreste del país. Se evidencia una relación estrecha entre la onda anual de precipitación y los gradientes zonal y meridional de presión, que influyen los aportes de humedad desde el Atlántico y desde la selva tropical brasilera. La advección de aire húmedo desde el Atlántico es máxima en septiembre y se mantiene hasta enero mientras que la humedad de origen tropical es preponderante en verano. Evidentemente ambos factores se potencian dando mayores precipitaciones en el verano en toda Argentina subtropical.

Se estudió en detalle el campo medio de la variable OLR, representativa de la nubosidad convectiva en la zona tropical, observando que el segundo autovector representa el desplazamiento de la convergencia intertropical hacia el hemisferio sur en el verano de ese hemisferio y hacia el hemisferio norte en el invierno y se determinó una fecha climatológica para la entrada y la salida de la CIT al hemisferio sur. Se observó una fuerte correlación entre el segundo autovector del campo medio de precipitación en Argentina subtropical y el segundo autovector del campo medio de OLR en la zona tropical (0,93), indicando la influencia del desplazamiento de la convección en la producción de

lluvias en Argentina subtropical. Esta correlación se mantiene altamente significativa cuando se adelanta la precipitación 10 (0.89) y 20 días (0.81) respecto del OLR, indicando la existencia de cierto valor predictivo para la lluvia.

TERCERA PARTE: El onset de la convección y el comienzo de las lluvias en primavera en Argentina subtropical.

Según se ha detallado en la segunda parte de este trabajo, el ciclo anual de lluvia en Argentina subtropical tiene un mínimo en el invierno. En la parte oeste el ciclo anual es muy pronunciado y explica la mayor parte de la varianza pero la importancia del ciclo anual disminuye hacia el este. Allí es necesario el estudio de factores, con poca incidencia en el ciclo anual, para el entendimiento de los mecanismos generadores de precipitación y eventualmente para su predicción. En una amplia zona de Argentina subtropical, agosto es un mes todavía relativamente seco y en septiembre, en general, las lluvias suelen comenzar. La siembra de una gran cantidad de cereales, como por ejemplo el trigo, es realizada en la región agrícola argentina, durante el otoño. Los cultivos se desarrollan en el invierno a expensas del agua acumulada en el suelo, que generalmente se agota al comenzar la primavera. Por ello resulta interesante prever con anticipación si septiembre será un mes amómalamente seco y se necesitará riego adicional, o si por el contrario, las lluvias comenzarán y proveerán el agua necesaria para el desarrollo de los cultivos. Esto revela la importancia del estudio detallado de las lluvias en septiembre y en particular, en cada uno de los 3 grupos de 10 días del mes, lo que tiene un valor agronómico mayor.

Se trató de establecer una fecha climatológica aproximada para el fin de la sequía invernal que se produce en la mayor parte de Argentina subtropical. Para ello se consideraron las distribuciones de frecuencias de las 6 series de precipitación acumulada cada 10 días. La primera es la serie de precipitación acumulada durante los primeros 10 días de septiembre y la última la precipitación acumulada durante los últimos 10 días de octubre. Se calculó para cada uno de los períodos de 10 días la probabilidad de que en una estación determinada la precipitación sea menor que un valor crítico que depende de la estación. Se tomó como valor crítico al valor medio del primer mes, discretizado cada 5 mm, a partir del cual se observa tendencia positiva en la precipitación. Este valor se produce generalmente entre los meses de septiembre y octubre y como es el momento en que se registra el cambio de régimen, permite detectar el inicio de la precipitación de primavera, siempre que se produzca a lo largo de este período. Los valores críticos se detallan en la TABLA XI.

Para cada estación se estableció un período seco mientras los períodos de 10 días tengan una probabilidad de que la precipitación no supere al valor crítico, mayor que $2/3$ (figura 55) y un período húmedo que comienza cuando la probabilidad de que la lluvia acumulada en 10 días sea menor al valor crítico, es inferior a $1/3$ (figura 56). En la TABLA XI se indica el final del período seco (último período de 10 días en que se satisface la condición con que se definió a este período) y el principio del período húmedo (primer período de 10 días en que se satisface la definición). Obviamente existen estaciones donde la condición de período seco no se satisface nunca y otras donde la condición de período húmedo no se satisface nunca, incluyendo los casos donde el cambio de régimen en la lluvia se produce fuera del período comprendido entre principios de septiembre y fines de octubre (figura 57).

TABLA XI : Valor crítico de precipitación utilizado en el análisis, fin del período seco y principio del período húmedo para cada una de las estaciones analizadas. La nomenclatura utilizada denota el mes (S: septiembre y O: octubre) y si se trata de los primeros 10 días (1) los segundos 10 días (2) o los últimos 10 días (3).

ESTACION	VALOR CRITICO (MM)	FIN SECO PERIODO	PRINCIPIO PERIODO HUMEDO
EZEIZA	20	S1	O3
MAR DEL PLATA	20	S1	O2
BAHIA BLANCA	10		S3
LA RIOJA	5	S1	
CHEPES	5	S2	
TINOGASTA	5		
MENDOZA	5	S2	
SAN JUAN	5		
FAMAILLA	10	S2	O3
RIVADAVIA	10	S2	O3
SALTA	10	O2	
LA QUIACA	10	O2	
CORRIENTES	20		O3
GENERAL PAZ	20		O3
RESISTENCIA	20	S2	O3
P.R.SAENZ PEÑA	20	S2	O3
FORMOSA	20	S2	O3
LAS LOMITAS	10	S2	O3
POSADAS	40		O3
PARANA	15		O1
GUALEGUAYCHU	20	S1	O3
ROSARIO	10		O1
SAUCE VIEJO	20	S2	O3
CERES	10	S1	O3
SANTIAGO ESTERO	10	S2	
SANTA ROSA	10		O3
GENERAL PICO	10		O1
CORONEL SUAREZ	10		S3
PEHUAJO	10		S3
CORDOBA	10	S2	O3
VILLA MARIA	10	S2	
VILLA REYNOLDS	10	S2	O3

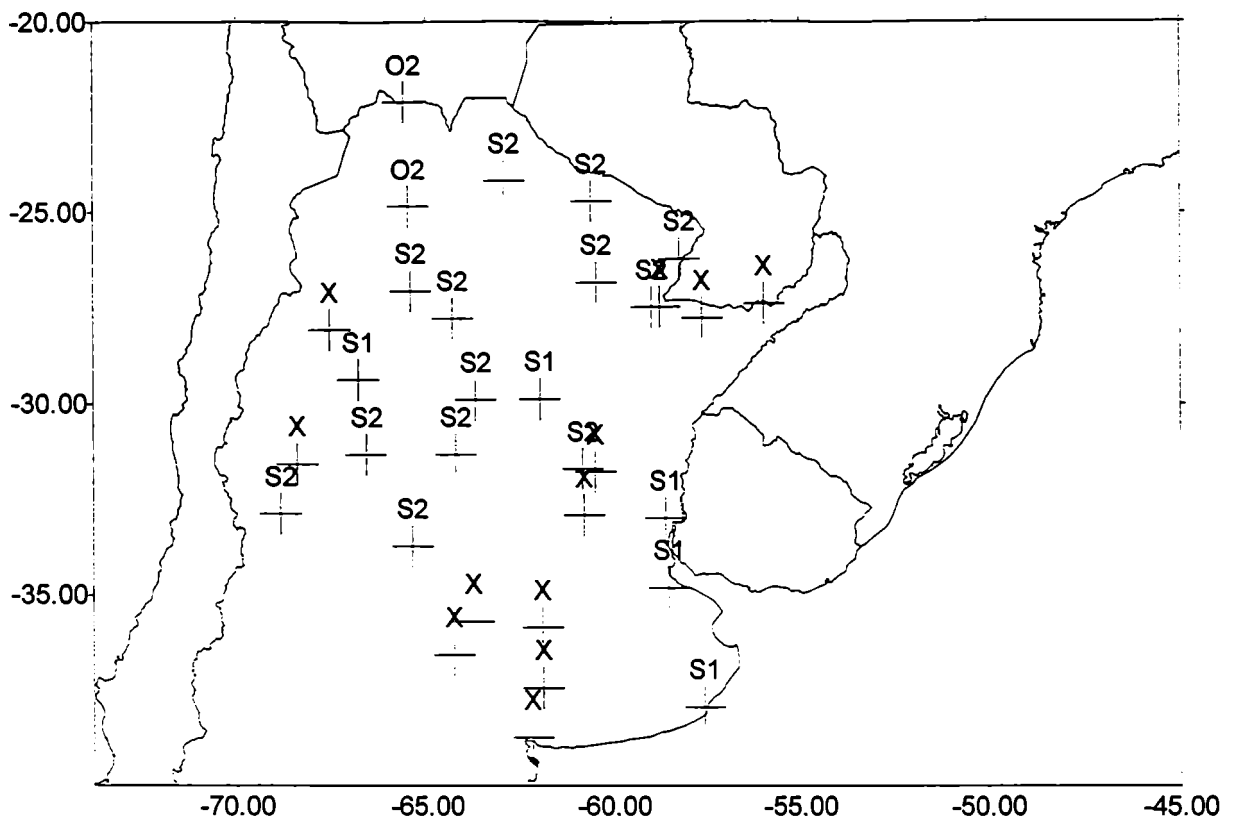


Figura 55: Fin del período seco (último período de 10 días en que se satisface la condición explicada en el texto). La X indica que no pudo ser definido.

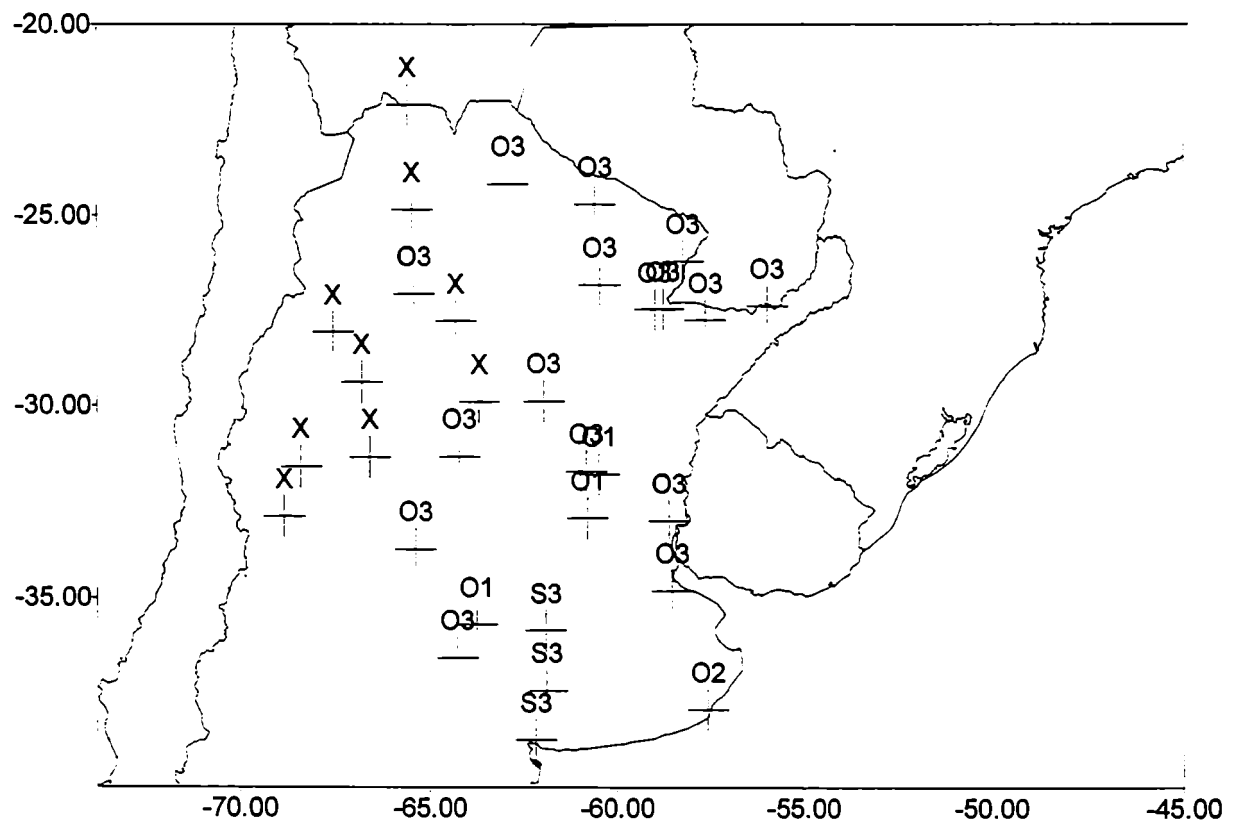


Figura 56: Principio del período húmedo (primer período de 10 días en que se satisface la condición explicada en el texto). La X indica que no pudo ser definido.

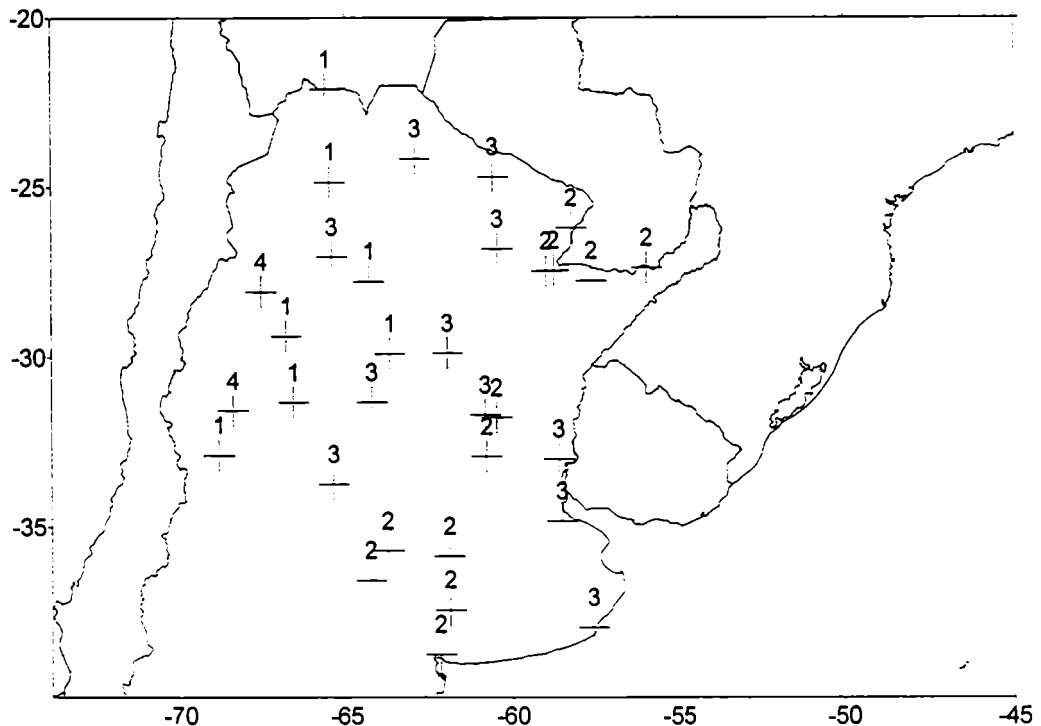


Figura 57: Estaciones donde sólo pudo definirse un período seco (1), o sólo un período húmedo (2) o ambos (3) o ninguno (4).

Se puede notar que en el noroeste de Argentina es seco hasta mediados de octubre y en todo el oeste nunca puede definirse un período húmedo pues el período de lluvias intensas comienza recién en noviembre. En el centro y noreste de Argentina, el problema de disponibilidad de agua se produce entre el fin del período seco y el principio del húmedo ya que, a partir del inicio del período húmedo, la cantidad de lluvia es suficiente para el desarrollo de los cultivos. Es por ello que septiembre resulta un mes clave para el inicio de la precipitación, poniendo fin al período definido como seco.

Como uno de los orígenes de la humedad que genera las lluvias es tropical, sobre todo en la época estival, se han realizado algunos intentos para estudiar cómo las anomalías en el ingreso de la convección al hemisferio sur pueden influenciar las anomalías de precipitación en Argentina. Para ello se encararon tres aproximaciones distintas:

- 1) ***el análisis de las correlaciones interanuales entre las anomalías de lluvia en Argentina subtropical y las anomalías de OLR en la selva tropical brasilera,***
- 2) ***el análisis de la correlación interanual entre el área abarcada por la convección y las anomalías de lluvia,***
- 3) ***el análisis de la correlación interanual entre la anomalía de la fecha de onset de la convección y las anomalías de lluvia, estratificando los años de forma de detectar aquellos en que se ha notado un adelanto o un atraso importante en la entrada de la convección y elaborando resultados.***

1. La correlación interanual entre las anomalías de OLR en el norte de Brasil y las anomalías de precipitación en Argentina subtropical

Se calcularon las anomalías de los valores de OLR respecto del campo climatológico (promedio en el período 1975-91) estudiado en la segunda parte de este trabajo, para cada una de las 73 pñtadas de los 17 años en el área que abarca América Central y Sudamérica, comprendida entre 15°N y 60°S y entre 90°O y 30°O, en un retículado de 2.5°x2.5°, lo que totaliza 1241 pñtadas. Se calcularon las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en las 32 estaciones de Argentina subtropical también mencionadas en la segunda parte de este trabajo, respecto del los valores promedio en el período 1975-91. Las series de anomalías de lluvia constan de 612 datos cada una, que corresponden a la lluvia acumulada en 10 días en cada uno de los 17 años con 36 datos cada uno. El hecho de considerar los valores pentádicos de OLR responde a que se observan diferencias apreciables en los valores de OLR de una pñtada y los de la siguiente. Sin embargo la precipitación acumulada en 5 días resultaba poco representativa del efecto climatológico que se quiere estudiar porque está estrechamente relacionada con el pasaje de sistemas sinópticos y en gran cantidad de pñtadas resulta nula. En cambio si se considera la precipitación acumulada en 10 días es probable que esté relacionada con la humedad que ha tenido tiempo de llegar desde la selva amazónica. Por este motivo las correlaciones calculadas en adelante se realizan entre cada pñtada de OLR y el valor de precipitación decádica correspondiente. Por lo tanto las correlaciones sin desfazar deben interpretarse como la correlación entre la convección en Brasil en una pñtada determinada y la lluvia que se produce en Argentina subtropical durante el período de 10 días del mes al cual dicha pñtada corresponde, cada correlación corresponde a 1241 pares de datos.

Se construyeron los campos de correlación entre la anomalías de precipitación en cada una de las 32 estaciones argentinas y las anomalías de OLR en un área comprendida entre 0° y 15°S y entre 75°O y 45°O. La elección de esta subárea responde al hecho de que en ella se produce el avance de la convección hacia el hemisferio sur, desde la primavera del HS hasta el otoño del mismo hemisferio y según ha mostrado la segunda componente principal del campo medio de OLR (figura 51) es la zona con máxima variabilidad. El criterio de elección de este área no es único y podría modificarse. Se consideró en ella un retículado de 5°longitud x2.5°latitud, que totalizan 49 puntos. El objetivo es determinar para cada estación si existe una zona dentro del área convectiva, con mejor correlación con las anomalías de precipitación. Las correlaciones que merecen atención son las que presentan valores significativos y negativos: una anomalía negativa de OLR indica mayor convección que lo normal y podría estar asociado a anomalías de precipitación positivas (mayor lluvia que la normal) en Argentina, o bien el caso inverso, anomalías positivas de OLR (menor convección que la normal) asociadas a anomalías negativas de lluvia en Argentina. Los campos se han realizado para el período completo de verano (desde septiembre hasta abril inclusive) y por separado para los meses de agosto, septiembre y octubre, con el fin de analizar el comienzo de la época de lluvias.

1.1. Mapas de correlación del período estival (septiembre-abril).

Las correlaciones son bajas pero resultaron significativas sobre todo cuando se consideran estaciones ubicadas en la región central y norte del país, como son: La Quiaca, Rivadavia, Las Lomas, P.R.Saenz Peña, Santiago del Estero, Villa María, Ceres, Famallá, La Rioja y Corrientes. En estos casos se observó que las mejores correlaciones se obtuvieron con la zona oeste y sudoeste del área convectiva de Brasil considerada. Como se consideró el período entre abril y septiembre la cantidad de pares utilizados para realizar la correlación fue de 816, pues 816 pentadas existen en este período. A modo de ejemplo se muestra el campo de correlación correspondiente a la estación La Quiaca (figura 58a) y a Corrientes (figura 58b). Las correlaciones superiores a 0.06 resultaron significativas con aproximadamente el 95% de confianza.

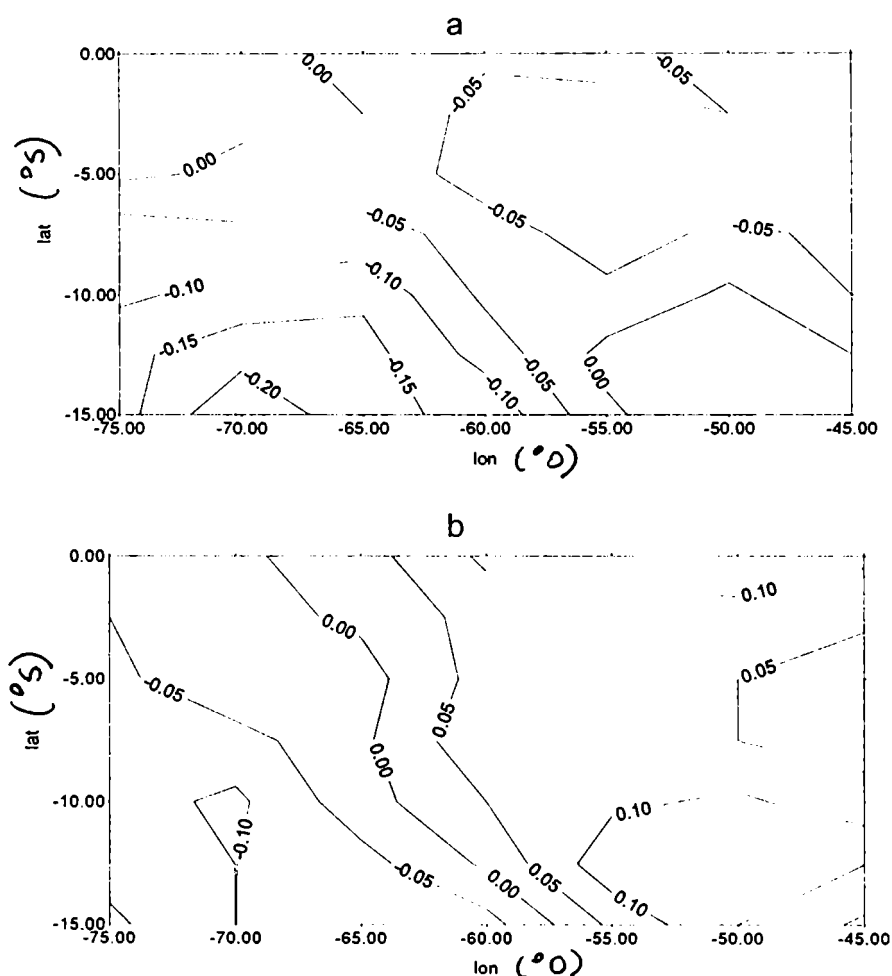


Figura 58: Correlaciones entre las anomalías de OLR en un área seleccionada de Brasil y las anomalías de precipitación en La Quiaca (a) y en Corrientes (b) para el período septiembre- abril (1975-91). Las correlaciones mayores que 0.06 son significativas con un 95% de confianza.

Los bajos valores de correlación pueden deberse al hecho de que al tomar el período completo (septiembre-abril) que abarca desde el comienzo de la primavera hasta promediar el otoño se están superponiendo procesos que originan precipitación y que se dan en diferentes momentos de este período. Estos procesos contribuyen a que una vez establecido el verano, llueva en toda Argentina

subtropical y por lo tanto la correlación con la convección no resulta clara. Es por ello que se investigará la posibilidad de aislar este proceso generador de lluvias para lo cual es conveniente hacer un análisis mensual de la época de comienzo de la lluvia (agosto, septiembre y octubre).

1.2. Mapas de correlación para los meses de inicio de la época de lluvias (agosto- septiembre-octubre).

En el mes de agosto se observa que las correlaciones entre la anomalía de la precipitación acumulada en 10 días en Argentina subtropical y la anomalía de OLR en Brasil, son significativas para las estaciones ubicadas en la región noreste y este de Argentina (figura 59). Las estaciones ubicadas más al norte (Las Lomitas, Saenz Peña, Rivadavia) muestran que la mayor correlación la tienen con la zona sur del área convectiva de Brasil, como puede apreciarse en la figura 60a que detalla la situación de Las Lomitas. Esto estaría indicando que una actividad convectiva superior a lo normal en la zona sur del área de Brasil considerada estaría asociada a precipitaciones superiores a lo normal en la región norte de Argentina durante el mes de agosto. Las estaciones ubicadas hacia el este del país muestran correlaciones significativas con el sector oeste del área convectiva de Brasil. La figura 60b muestra la situación de Formosa. Como cada mes consta de 6 péntadas y se trabaja con 17 años, el número de pares utilizado para la correlación es de 102 y por lo tanto las correlaciones superiores a 0.2 resultaron, en general, significativas con el 95% de confianza.

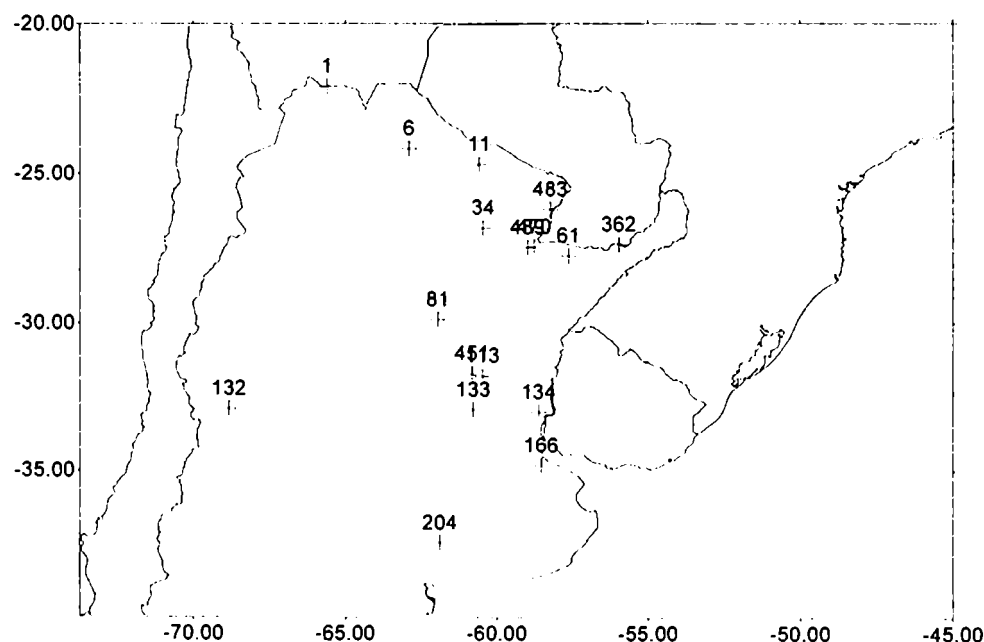


Figura 59: Estaciones de Argentina con correlación significativa entre su anomalía de precipitación acumulada en 10 días y la anomalía de OLR al menos en un punto del área tropical definida en Brasil para el mes de agosto (1975-91). El número sólo es identificador de la estación.

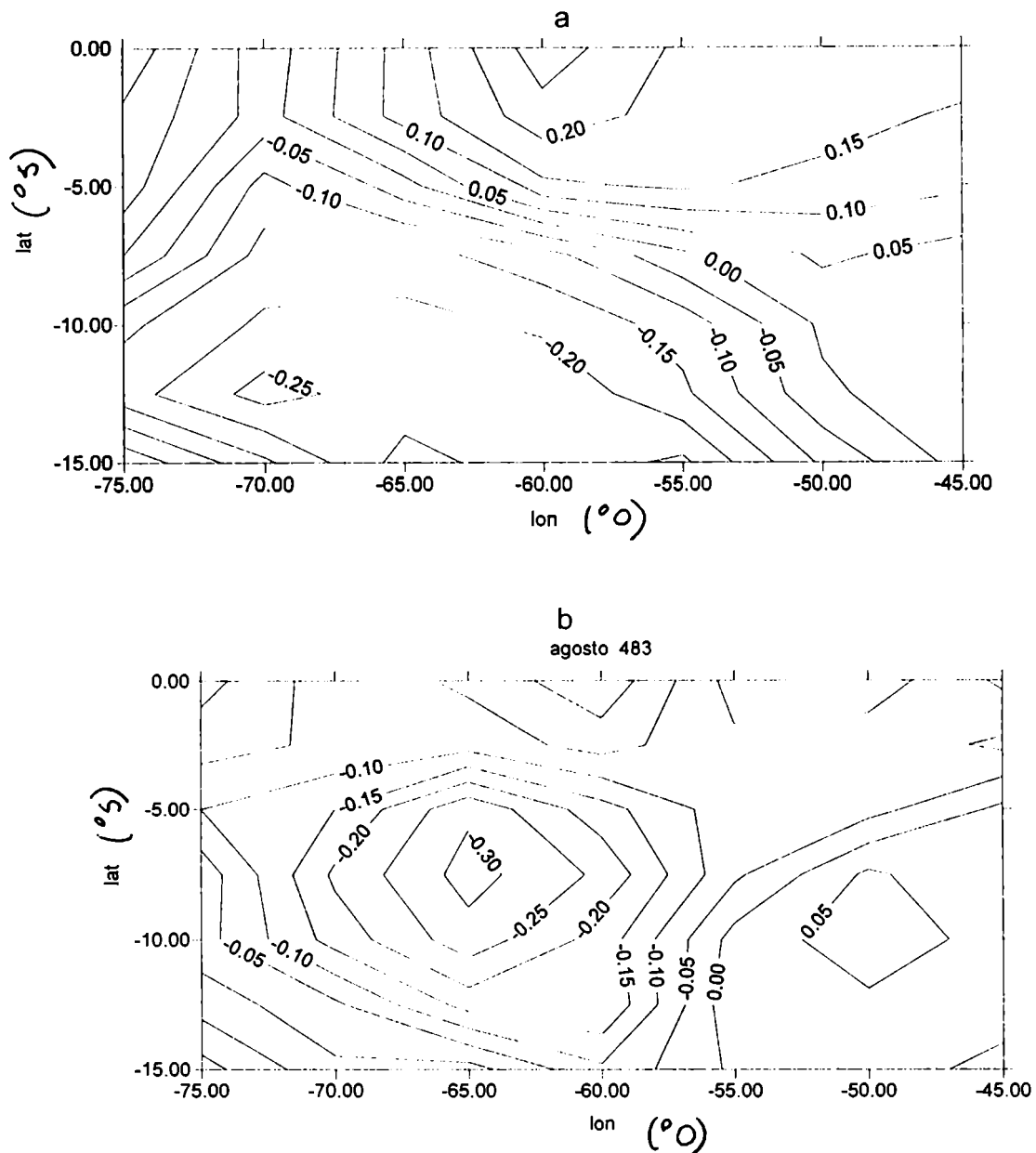


Figura 60: Mapa de correlación entre las anomalías de OLR en Brasil y las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en agosto en Las Lomitas (a) y en Formosa (b). Las correlaciones mayores que 0.2 resultaron significativas con el 95 % de confianza, lo que equivale al 4% de varianza explicada .

Las correlaciones entre la lluvia acumulada en 10 días en septiembre y el OLR en Brasil, aumentan respecto de las de agosto y son significativas en un mayor número de estaciones (figura 61). Se observa en los mapas de correlación que las estaciones ubicadas al sur del área de estudio en Argentina presentan una mejor correlación con la zona norte del área convectiva de Brasil. Esto estaría indicando que convección superior a la normal en el norte de Brasil se correlaciona con precipitación superior a lo normal en el área sur de Argentina subtropical. A modo de ejemplo se presenta el mapa de correlación de la estación Rosario (figura 62a). En

cambio las estaciones ubicadas al norte (Rivadavia, Las Lomitas, La Quiaca, Formosa) presentan mayor correlación con la zona este del área convectiva, como muestra la figura 62b para la estación Rivadavia. Las estaciones intermedias presentan un comportamiento de transición entre los dos mencionados. Las correlaciones superiores a 0.2, correspondientes a los 102 pares que se correlacionan, en general, resultaron significativas con un 95% de confianza.

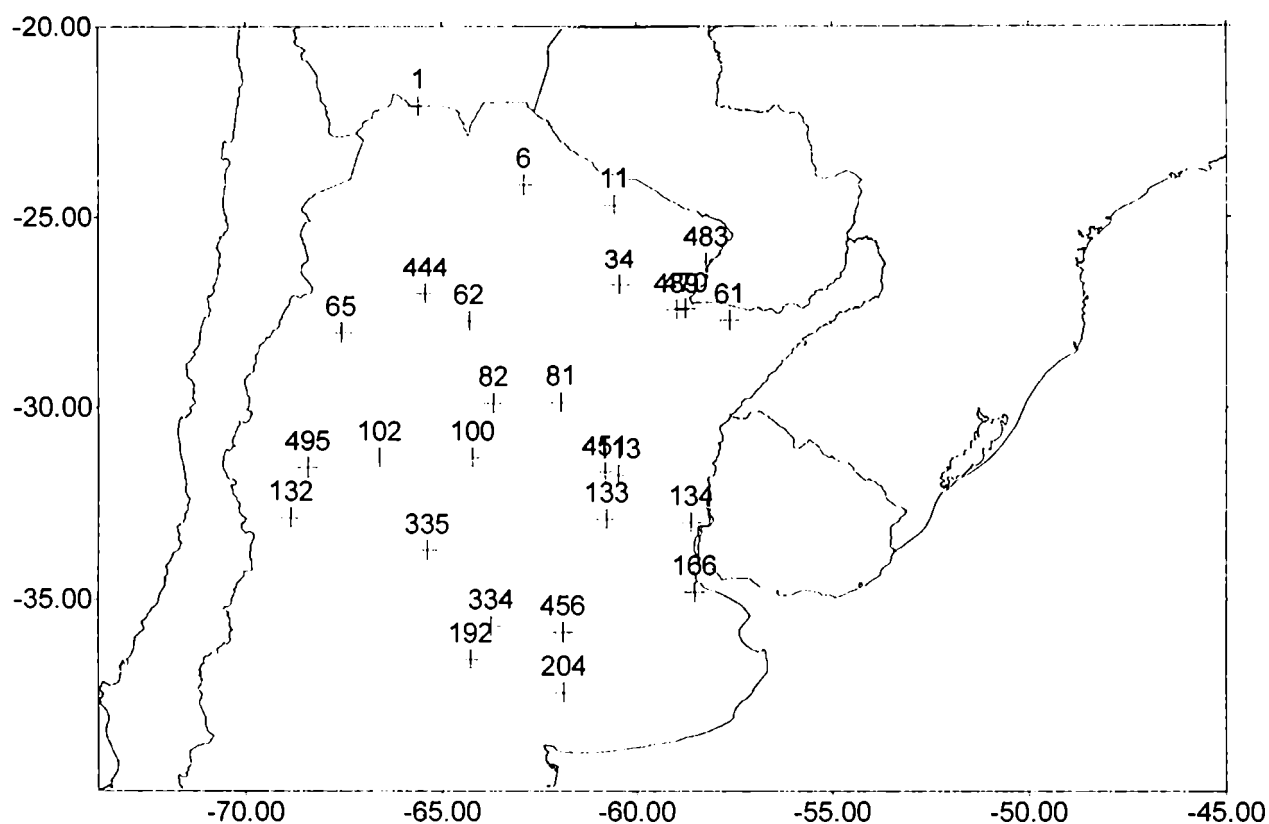


Figura 61: Estaciones de Argentina con correlación significativa entre su anomalía de precipitación acumulada en 10 días y la anomalía de OLR al menos en un punto del área tropical de Brasil para el mes de septiembre (1975-91). El número es identificador de la estación.

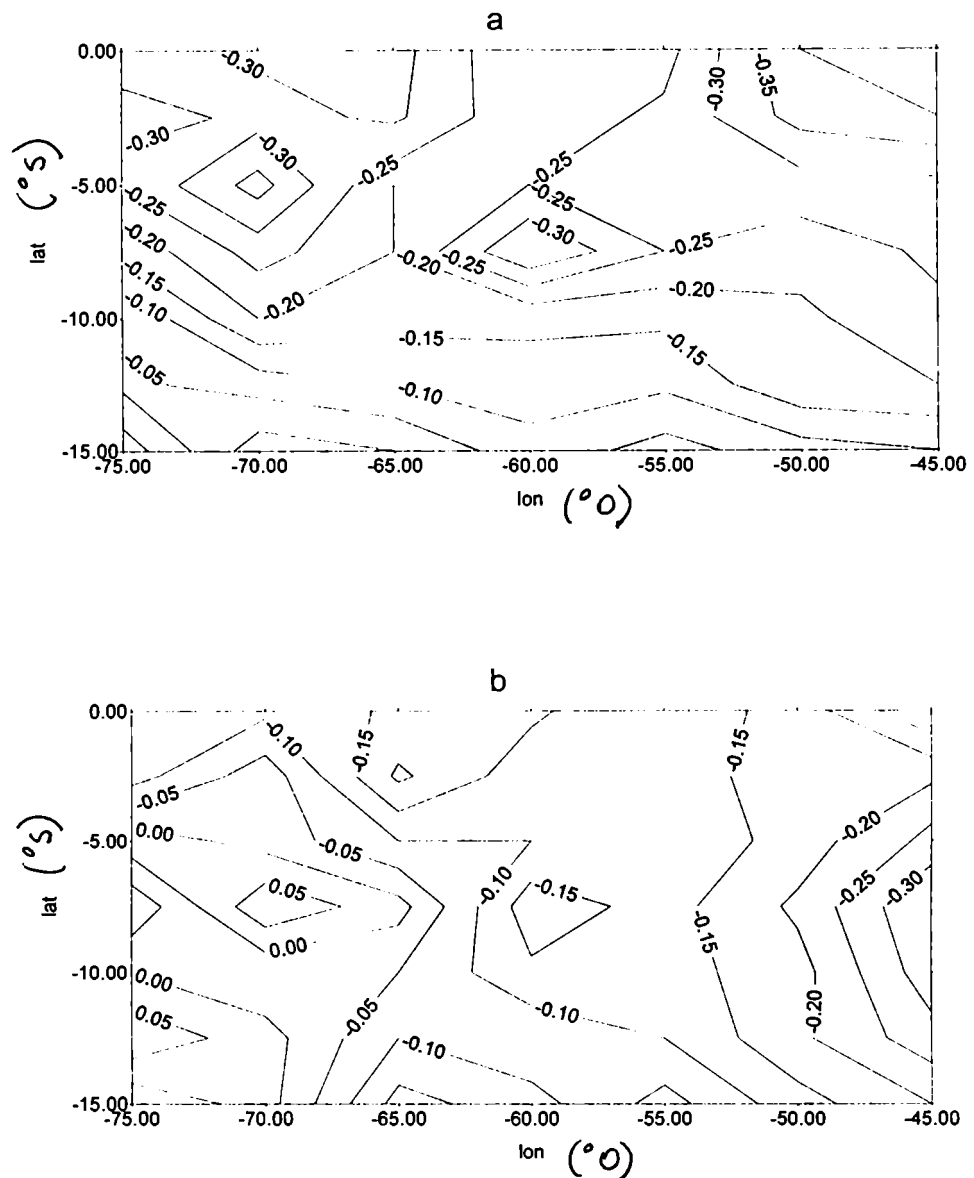


Figura 62: Mapa de correlación entre las anomalías de OLR en Brasil y las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en septiembre en Rosario (a) y en Rivadavia (b). Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con un 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

En octubre las correlaciones significativas se limitan a las estaciones ubicadas al norte y este de Argentina subtropical (figura 63). Los valores de correlación disminuyen respecto de los de septiembre y no parecen tener mayor correlación con ninguna zona específica del área convectiva de Brasil, probablemente porque hacia esta época la convección cubre toda el área brasilera considerada.

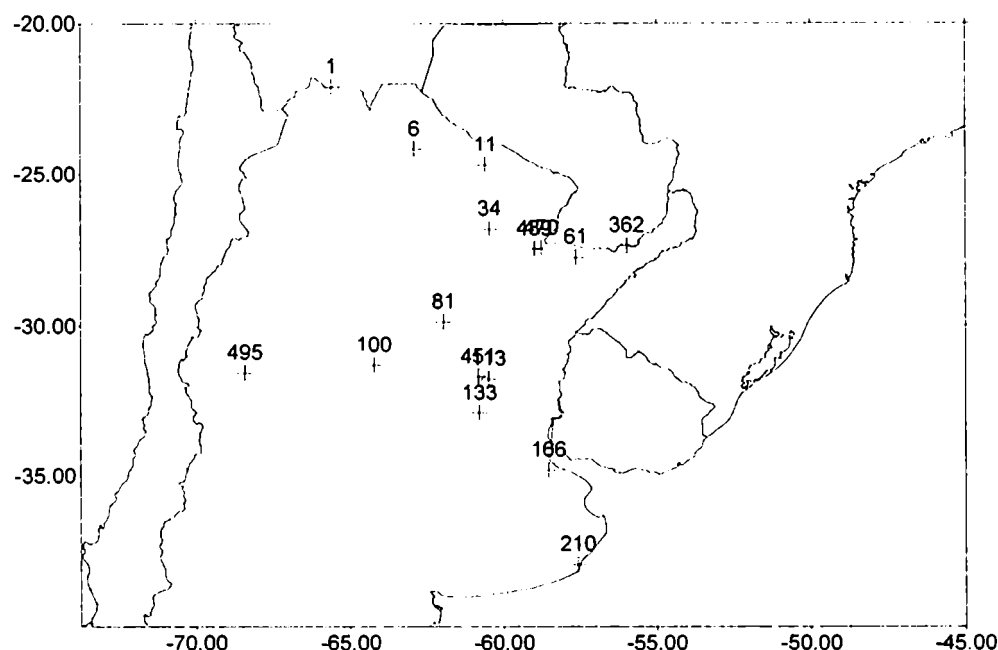


Figura 63: Estaciones de Argentina con correlación significativa entre su anomalía de precipitación acumulada en 10 días y la anomalía de OLR en al menos un punto del área tropical definida en Brasil para el mes de octubre (1975-91). El número es identificador de la estación.

1.3. Mapas de correlación con desfase aproximado de 10 y 20 días en septiembre.

Evidentemente septiembre es el mes por excelencia en que pueden verse la transición entre la estación seca y la lluviosa y aparentemente es en el mes en que mejor correlacionados se encuentran las anomalías de lluvia en Argentina con las de OLR en Brasil. Es por ello que se investigó la posibilidad de que estas correlaciones se mantuvieran si se desfasan los valores de OLR aproximadamente 10 y 20 días antes de ocurrida la precipitación, con el fin de evaluar en que medida es posible considerarla una herramienta de pronóstico.

En primer lugar se consideraron las correlaciones entre las anomalías de lluvia acumulada en 10 días de cada una de las estaciones argentinas con las anomalías de OLR en Brasil 2 pñtadas anteriores a producida la anomalía de lluvia. Por ejemplo, el OLR en las pñtadas 48 (24-28 agosto) y 49 (29 agosto-2 septiembre) se correlacionaron con la anomalía de precipitación los primeros 10 días de septiembre. Los resultados muestran que hay un menor número de estaciones con correlación significativa (95% de confianza) pero los valores de la correlación aumentan respecto de los sin desfase. Los valores de correlación significativos con el 95% de confianza son, en general, los que superan el valor 0.2, debido a que el número de datos con que se cuenta es 102 (6 pñtadas por mes y se trabajó con 17 años). Las estaciones con correlaciones significativas se concentran en el centro y noreste de la región de estudio (figura 64). Se notan cambios en las áreas de Brasil para las cuales la correlación es mayor, respecto de las obtenidas sin desfase.

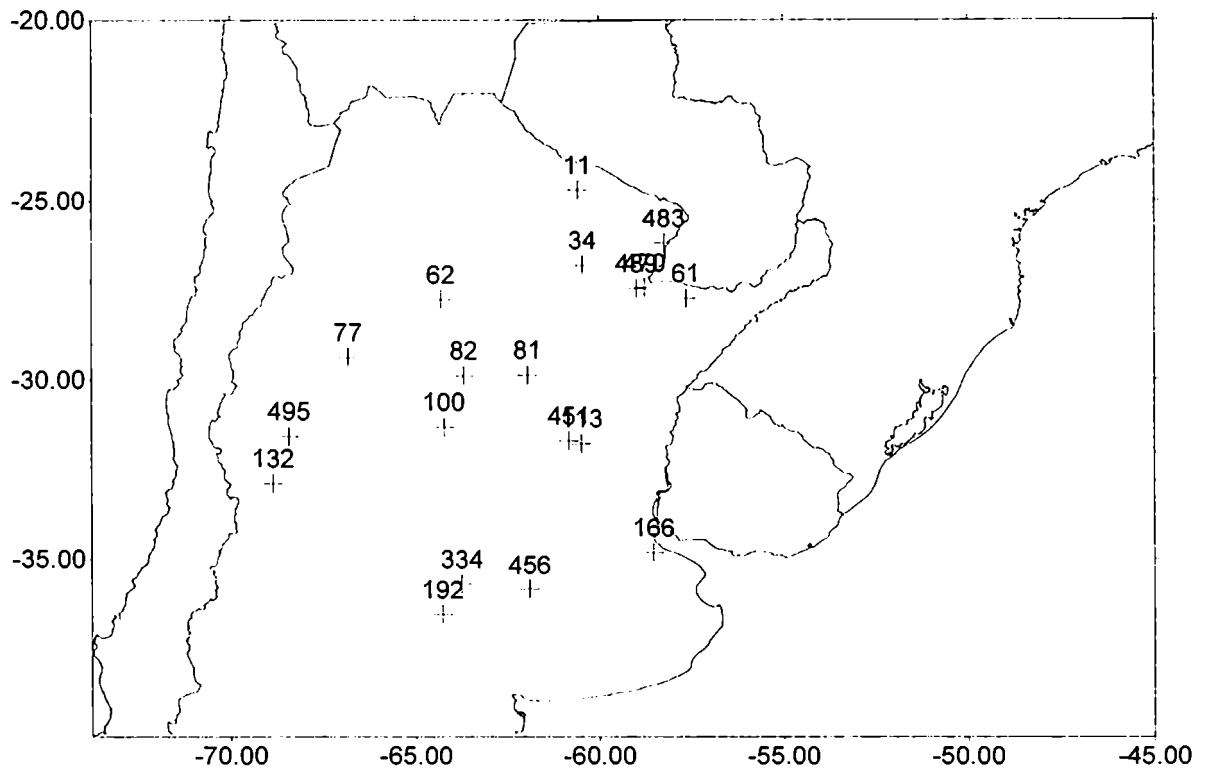


Figura 64: Estaciones con correlaciones significativas con un 95% de confianza entre las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en estaciones argentinas y anomalías de OLR en al menos un punto del área tropical definida en Brasil, adelantadas alrededor de 10 días respecto de la lluvia en septiembre. El número es identificador de la estación.

En segundo término se repitió el procedimiento pero esta vez el desfase entre OLR y lluvia se aumentó a aproximadamente 20 días. Por ejemplo los valores de OLR en las pñtadas 46 (14-18 agosto) y 47 (19-23 agosto) se correlacionaron con las anomalías de lluvia los primeros 10 días de septiembre. Los resultados indican que las correlaciones se mantienen significativas y tan altas como en el caso anterior pero disminuye el número de estaciones con correlaciones significativas (figura 65). Estas estaciones parecen concentrarse en el centro-este del país.

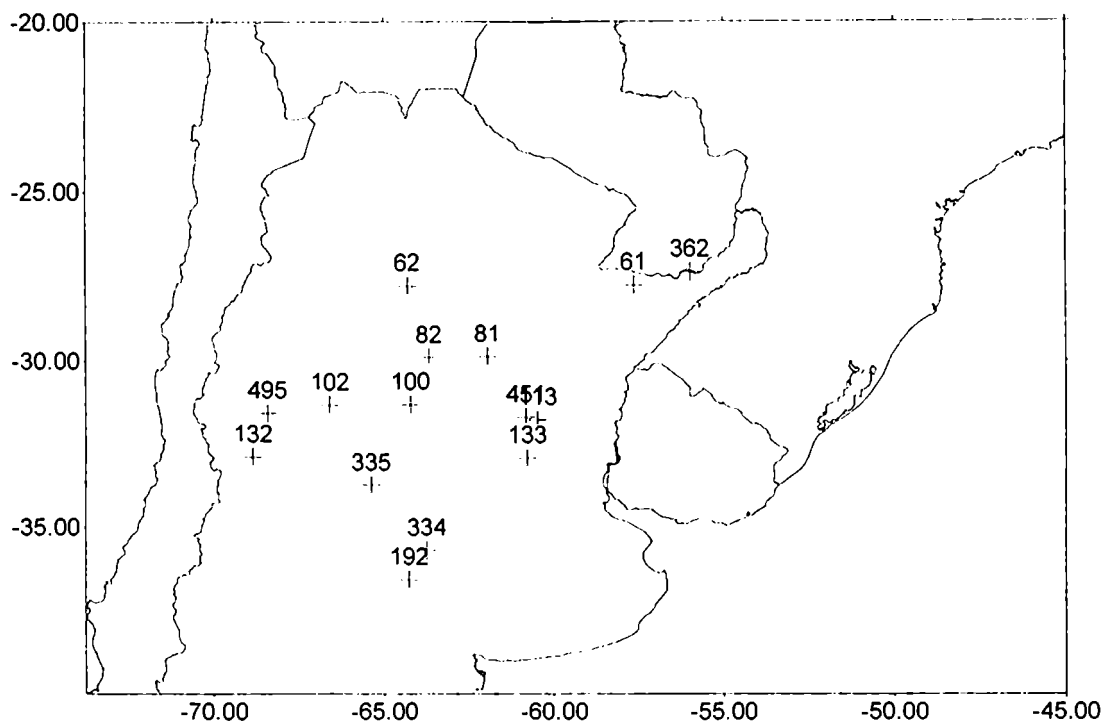
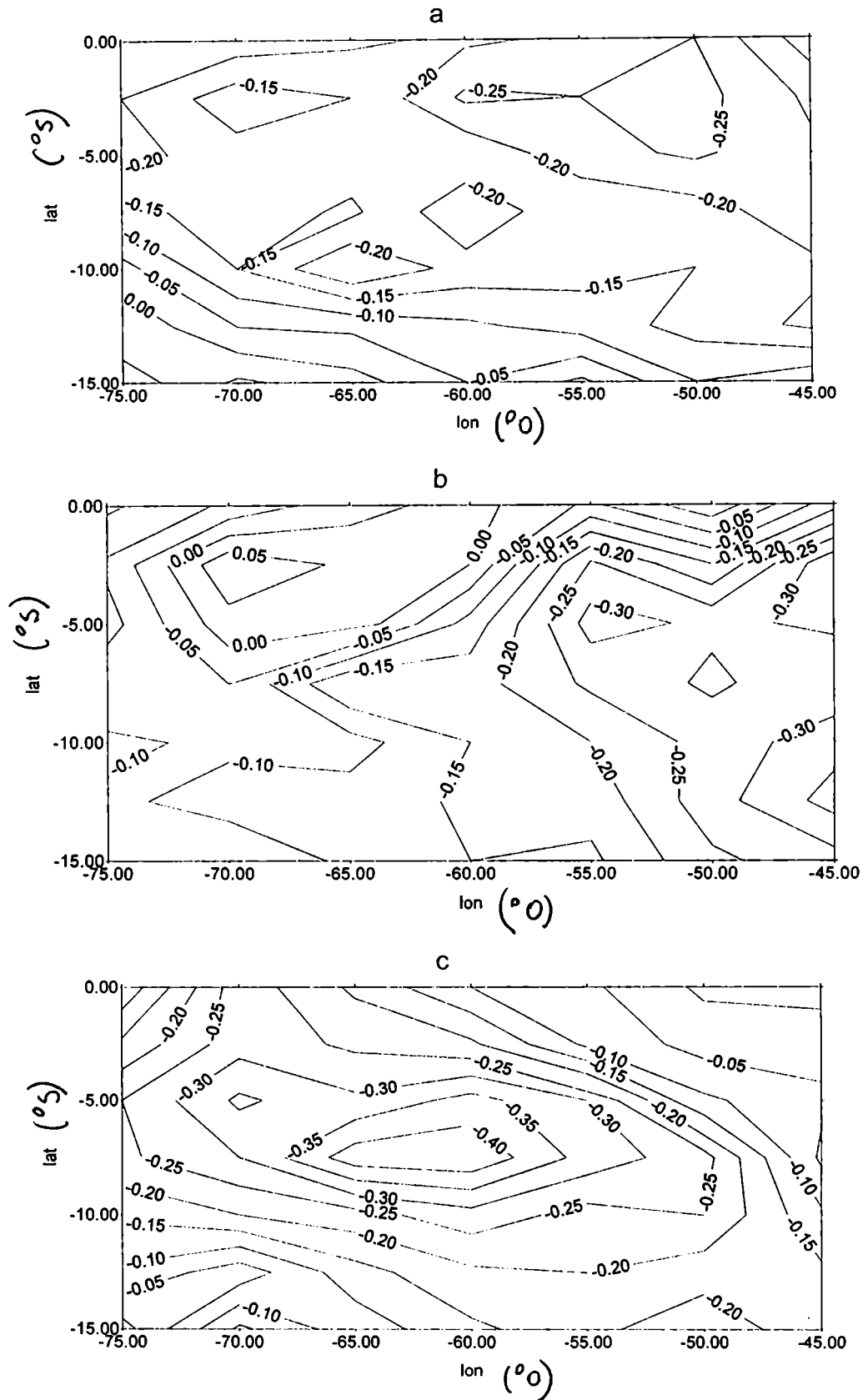


Figura 65: Estaciones con correlaciones significativas con un 95% de confianza entre las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en estaciones argentinas y anomalías de OLR en al menos un punto del área tropical definida en Brasil, adelantadas alrededor de 20 días respecto de la lluvia en septiembre. El número es identificador de la estación.

Las figuras 66a, 66b y 66c muestran los mapas de correlación para Córdoba sin desfase, con 10 y con 20 días de desfase respectivamente. Puede observarse el aumento en los valores de la correlación a medida que aumenta el desfase. Este comportamiento se observó en las estaciones ubicadas en la zona central: Villa María, Ceres, Chepes y Santiago del Estero. Las estaciones del noreste como Las Lomitas, Resistencia, Formosa, Corrientes, P.R.Saenz Peña y General Paz presentaron máximos valores de correlación con un desfase de 10 días. Las figuras 67a y 67b muestran los mapas de correlación para Las Lomitas, sin desfase y con 10 días de desfase, respectivamente, ya que no existen correlaciones significativas en el caso de 20 días de desfase. En el sur del área de estudio las estaciones muestran pocos cambios (Santa Rosa, General Pico) o un descenso de la correlación al aumentar el desfase (Gualeguaychú, Ezeiza, Pehuajó y Coronel Suarez). Otras estaciones como Paraná, Sauce Viejo y Rosario parecen tener un comportamiento de transición. No se observa ningún comportamiento particular en el noroeste, aunque aparentemente la máxima correlación se obtiene si no se desfase a las variables. Las correlaciones pierden toda significancia en la región más austral (Mar del Plata, Bahía Blanca).



.Figura 66: Mapa de correlación entre las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en septiembre en Córdoba y la anomalía de OLR, sin desfase (a), con 10 días de desfase (b) y con 20 días de desfase (c). Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con un 95% de confianza, lo que equivale aun 4% de varianza explicada.

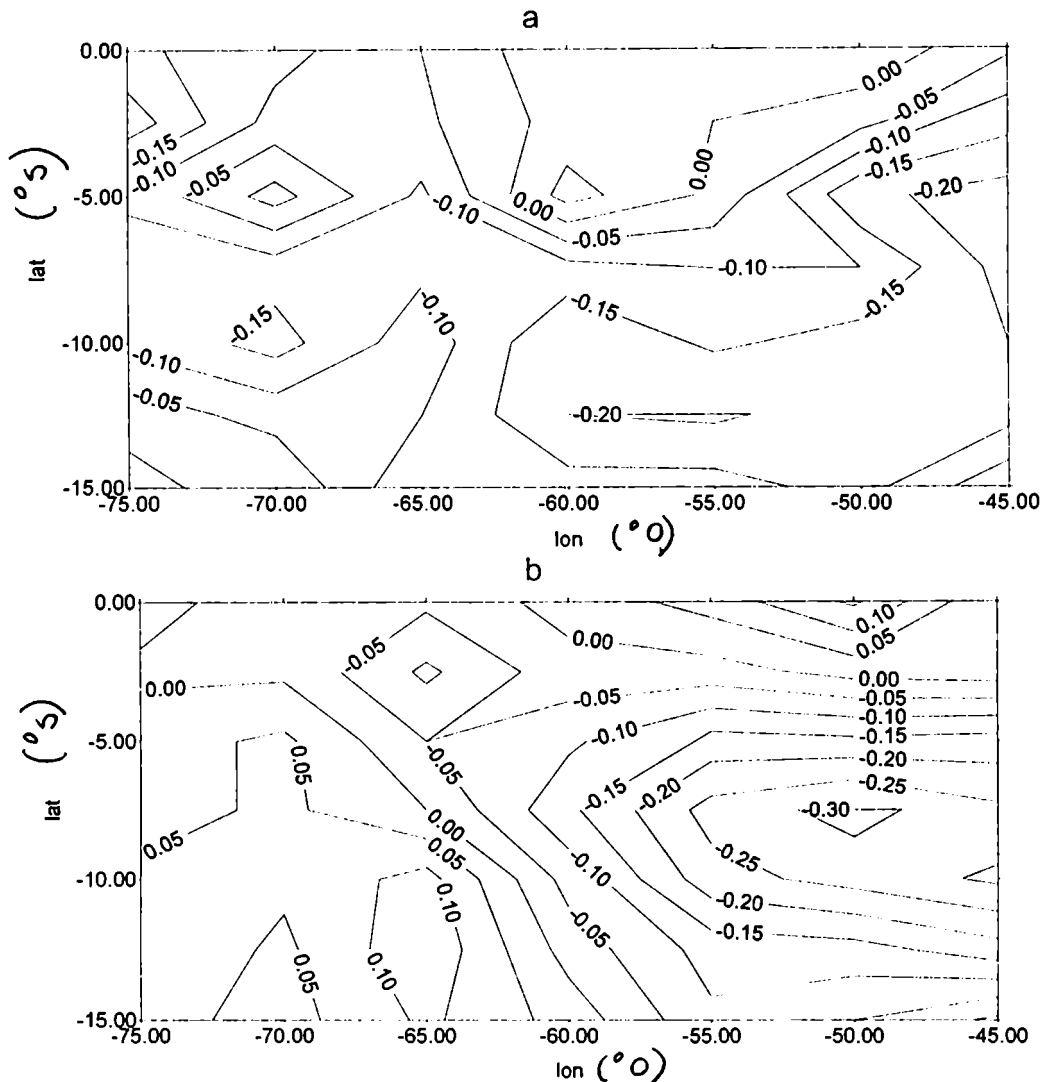


Figura 67: Correlaciones entre la anomalía de OLR en Brasil y la anomalía de precipitación acumulada en 10 días en septiembre en Las Lomitas, sin desfazar (a) y desfazada 10 días (b). Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con un 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

1.4. Correlaciones entre las anomalías mensuales de precipitación y las anomalías mensuales de OLR para los meses de inicio de la estación lluviosa (agosto-septiembre-octubre).

Con el fin de disminuir el ruido que podría estar introduciendo el intervalo de muestreo de 10 días se calcularon los campos de correlación entre las anomalías mensuales de precipitación en cada una de las estaciones argentinas con las anomalías mensuales de OLR en Brasil para los meses de agosto, septiembre y octubre. Debido a que cuando el intervalo de promedio es un mes el número de datos se reduce a 12 por cada año, en lugar de 36 como era en el caso de la precipitación acumulada en 10 días, el valor de correlación a partir del cual la significancia es del 95% asciende, en general, a 0.5. Como en este caso las anomalías tanto de OLR como de precipitación son mensuales, el número de pares con que se realiza la correlación asciende a 17, un par para cada año del período en el cual se trabaja.

En agosto se observa una disminución en el número de estaciones que presentan correlaciones significativas, limitándose al sector noreste del país: Las Lomitas, P.R:Saenz Peña, Formosa, General Paz y Posadas. En todos los casos puede observarse una tendencia a que el área oeste de la región de Brasil considerada, sea la que mayores correlaciones presenta. A modo de ejemplo se muestra el mapa de correlación de Formosa (figura 68).

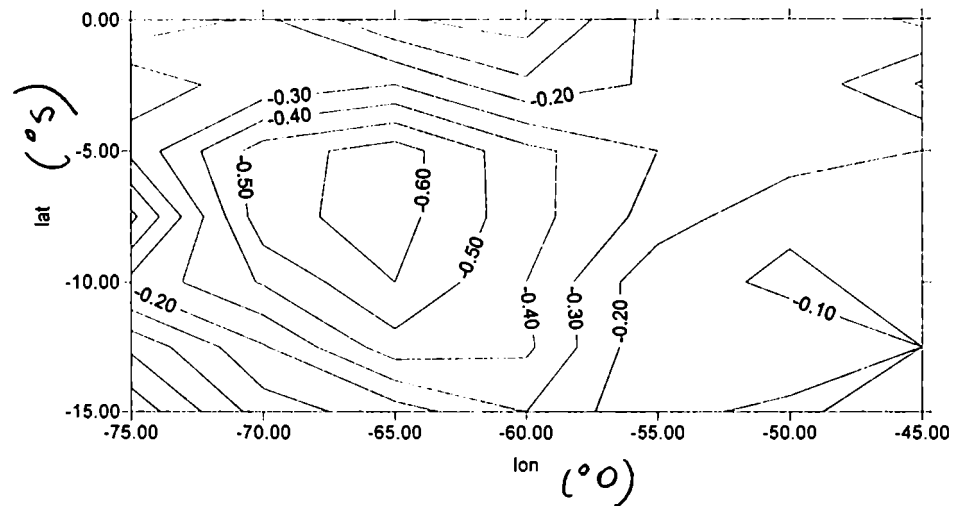


Figura 68: Mapa de correlación entre anomalías mensuales de precipitación en Formosa y anomalías mensuales de OLR en Brasil para el mes de agosto. Las correlaciones superiores a 0.5 resultaron significativas con un 95% de confianza, lo que equivale a un 25% de varianza explicada.

En septiembre se observan correlaciones significativas en la mayoría de las estaciones del área de estudio y con valores superiores a 0.6. La figura 69 muestra estas estaciones. Los números indican las subregiones del área total de Brasil donde las correlaciones son mayores. El área de Brasil se ha subdividido en 4 subregiones rectangulares de la siguiente forma:

subregión 1: entre 0° y 7.5°S y entre 75°O y 60°O

subregión 2: entre 0° y 7.5°S y entre 45°O y 60°O

subregión 3: entre 15° y 7.5°S y entre 75°O y 60°O

subregión 4: entre 15° y 7.5°S y entre 45°O y 60°O.

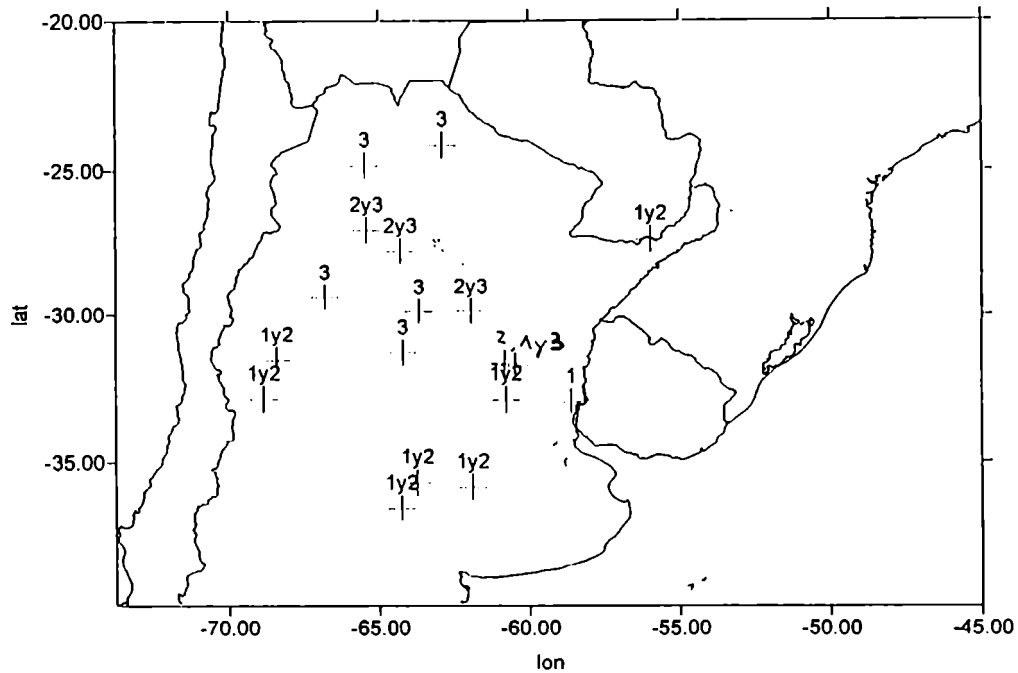


Figura 69: Estaciones con correlaciones significativas entre la anomalía mensual de precipitación en Argentina y la anomalía mensual de OLR en Brasil para el mes de septiembre. Los números indican las subregiones del área total de Brasil donde las correlaciones son mayores, según la definición: **subregión 1:** entre 0° y 7.5°S y entre 75°O y 60°O, **subregión 2:** entre 0° y 7.5°S y entre 45°O y 60°O, **subregión 3:** entre 15° y 7.5°S y entre 75°O y 60°O y **subregión 4:** entre 15° y 7.5°S y entre 45°O y 60°O.

Puede observarse un predominio simultáneo de las regiones 1 y 2 en la zona sur de Argentina subtropical y de la región 3 al norte. Esto estaría indicando que una anomalía negativa de OLR (mayor convección que lo normal) en las zonas 1 y 2 se relaciona con anomalías positivas de precipitación en la zona sur del área de Argentina estudiada, como puede verse en la figura 70a que muestra el mapa de correlación para la estación General Pico. Esta zona sur parece ser más sensible al inicio de la convección, que se produce en las subáreas 1 y 2. Análogamente una anomalía negativa de OLR en la subregión 3 estaría relacionada con anomalías positivas de lluvia en el norte de Argentina, como puede observarse en el mapa de correlación de la figura 70b para la estación Salta. Como la convección tiene un desplazamiento con eje noroeste-sudeste y luego, ya en octubre, se extiende hacia el oeste abarcando todo Brasil (ver onset de la convección en la segunda parte) se puede pensar que si la convección estuvo tan adelantada que alcanzó la subregión 3 en septiembre probablemente genere lluvias mayores que lo normal ese mes en las estaciones del noroeste argentino. La figura 70c muestra el campo de correlación para Paraná donde las mayores correlaciones se ubican en las zonas 2 y 3 (con un eje noreste-sudoeste), hecho representativo de lo que ocurre en el centro del área de estudio y sur del litoral.

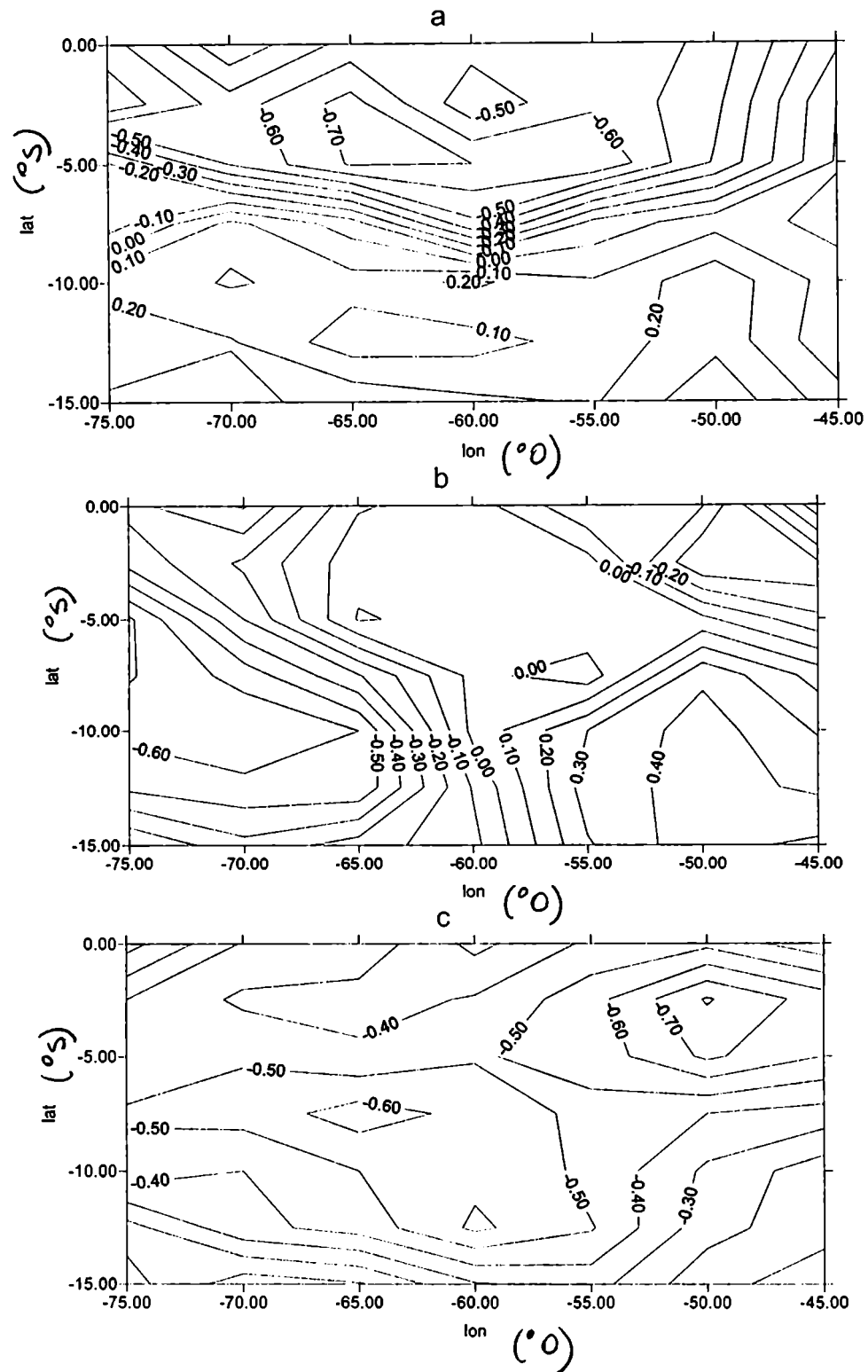


Figura 70: Mapa de correlación entre anomalías mensuales de precipitación en General Pico (a) o en Salta (b) o en Paraná (c) y las anomalías mensuales de OLR en Brasil para el mes de septiembre. Las correlaciones superiores a 0.5 resultaron significativas con un 95% de confianza, lo que equivale a un 25% de varianza explicada.

En octubre existe una importante disminución del número de estaciones que se correlacionan significativamente con la convección en Brasil: Córdoba, General Paz y Paraná. Esto probablemente esté determinado por el hecho de que al finalizar octubre la convección ya cubre toda el área de Brasil considerada por lo cual la correlación con la lluvia en Argentina pierde todo significado, al no variar la convección durante ese mes.

2. Relación entre el área abarcada por la convección y las anomalías de la precipitación en Argentina subtropical.

Se consideró nuevamente la misma área de Brasil definida anteriormente. Los datos de OLR en ella se encuentran en un reticulado de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ totalizando 91 puntos de reticulado. Se trata de analizar si la subárea abarcada por la convección dentro de esta región se encuentra relacionada con las anomalías de precipitación en Argentina subtropical. Una mayor área abarcada por la convección debería estar relacionada con anomalías positivas de lluvias en Argentina (correlación positiva).

Para ello se ha definido un área (A220) como el número de puntos de reticulado cuyo valor de OLR es menor o igual a 220 w/m^2 y otro área (A240) como el número de puntos de reticulado cuyo valor es menor o igual a 240 w/m^2 . En general, estos valores límites, delimitan áreas con lluvia (Kousky, 1988). Cada uno de estos valores puede calcularse para cada una de las pñtadas de cada uno de los años, con lo cual se han generado series de áreas para los meses de agosto, septiembre y octubre por separado. Dado que cada unidad representa un área de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, cada unidad representa un área aproximada de 77000 km^2 . Estas series de áreas se han correlacionado interanualmente con las anomalías de precipitación acumulada en 10 días observadas en estaciones de Argentina subtropical. Las series constan de 102 datos que corresponden a 6 pñtadas que contiene cada mes y a los 17 años con que se trabajó.

En agosto se observaron pocas estaciones con correlaciones significativas. En general las correlaciones resultaron significativas con el 95% de confianza al superar el valor 0.2 debido a que 102 es el número de datos con que se trabajó. En agosto las correlaciones con A240 presenta significancia sólo en Formosa y Saenz Peña y las correlaciones con A220 sólo en Paraná.

En septiembre las correlaciones con A220 aumentan significativamente alcanzando valores de 0.34 en Resistencia y 0.31 en Rosario y Sauce Viejo. La región noreste del país parece tener la mejor respuesta. Las correlaciones con A240 no resultaron importantes. Las figuras 71a y 71b muestran los campos de correlación entre las anomalías de precipitación acumulada cada 10 días y A220 y A240 respectivamente. En ambos casos la máxima correlación se produce en la región noreste del país.

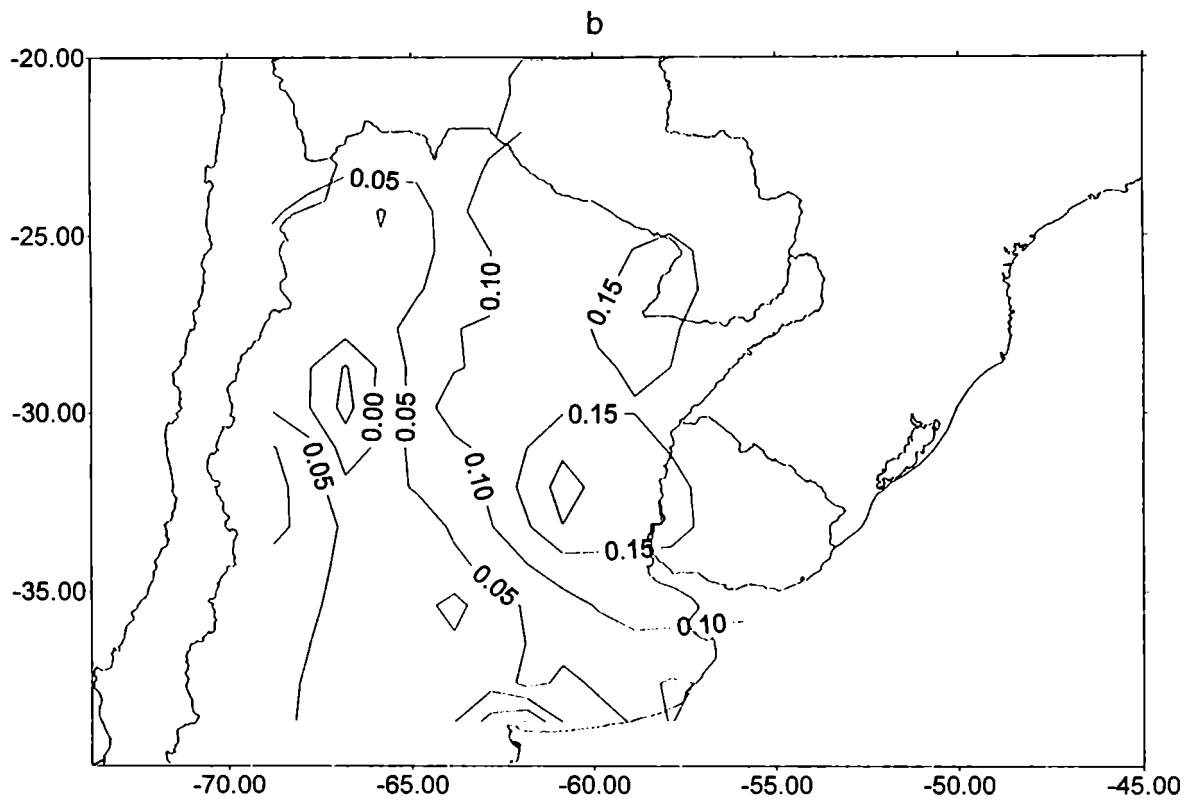
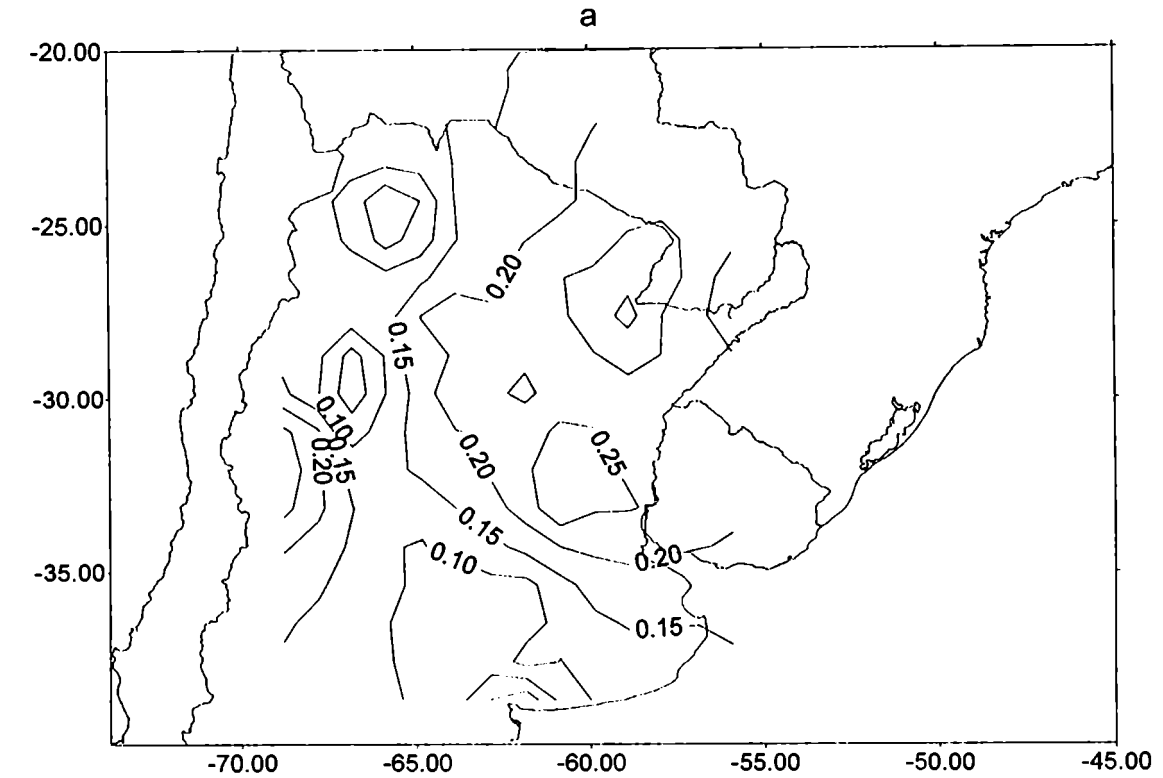


Figura 71: Campos de correlación entre las anomalías de precipitación acumulada en 10 días y A220 (a) o A240 (b) en septiembre. Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con el 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

En octubre nuevamente el número de estaciones con correlaciones significativas disminuye considerablemente y en el caso del A220 sólo ascienden a valores entre 0.2 y 0.4 en estaciones de la región norte, como son: Corrientes, Resistencia, La Quiaca, Las Lomitas y Saenz Peña.

Si se atrasa 10 días el área abarcada por la convección respecto de las anomalías de lluvia se observa una buena correlación entre A220 y las anomalías de precipitación acumulada en 10 días en septiembre, tomando valores como 0.37 en Famaillá, 0.36 en Santiago del Estero y 0.35 en La Rioja. La máxima correlación se desplaza hacia la zona central (figura 72). Las correlaciones no son significativas ni en agosto ni en octubre.

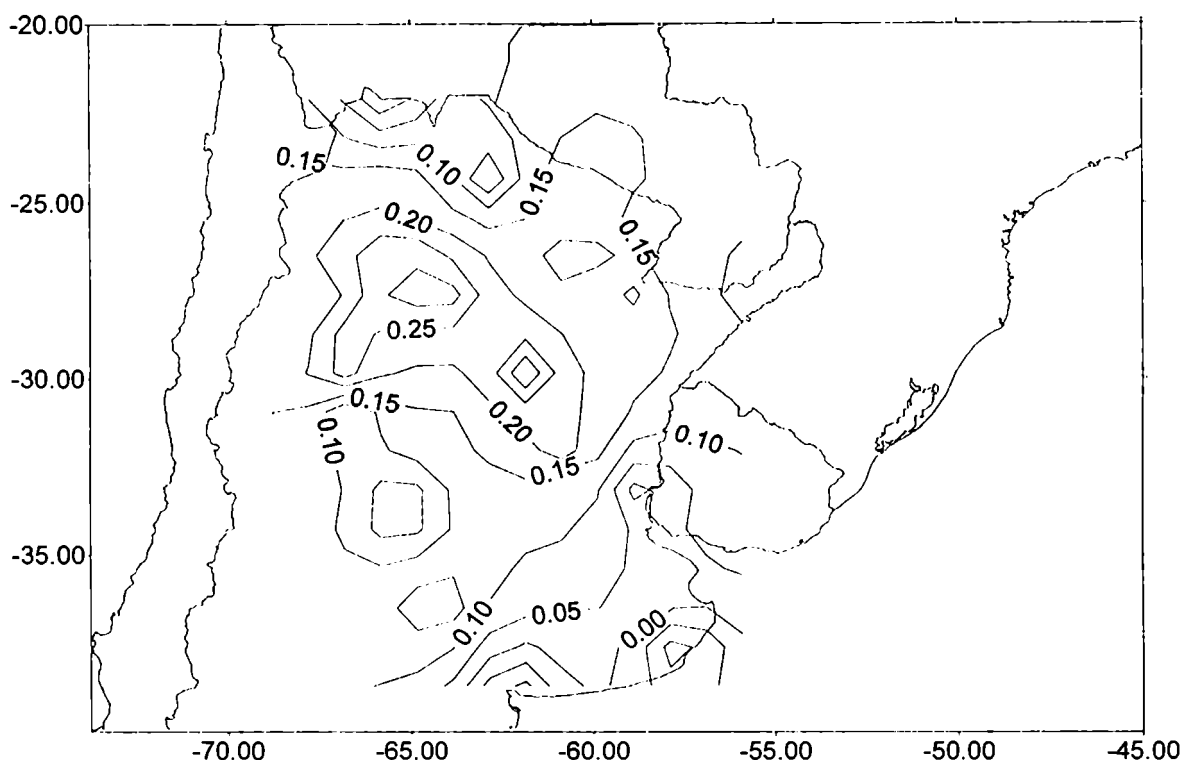


Figura 72: Campos de correlación entre las anomalías de precipitación acumulada en 10 días y A220 atrasada 10 días respecto de la lluvia en septiembre. Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con el 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

Si el atraso del área convectiva (A220) respecto de la lluvia se eleva a 20 días los valores parecen ascender en agosto y septiembre, respecto de los observados con un desfase de 10 días. En agosto (figura 73) se observan correlaciones altas en la zona sur que ascienden a 0.52 en Mendoza, 0.45 en Coronel Suarez, 0.37 en Santa Rosa y 0.39 en Villa Reynolds. En septiembre (figura 74) las correlaciones son altas y significativas en el centro del país tomando valores como 0.41 en Posadas, 0.34 en Ceres, 0.35 en Córdoba, 0.33 en Santiago del Estero y 0.32 en Villa María y Mendoza. La máxima correlación se desplaza muy ligeramente hacia el sudoeste respecto de las obtenidas con un lag de 10 días.

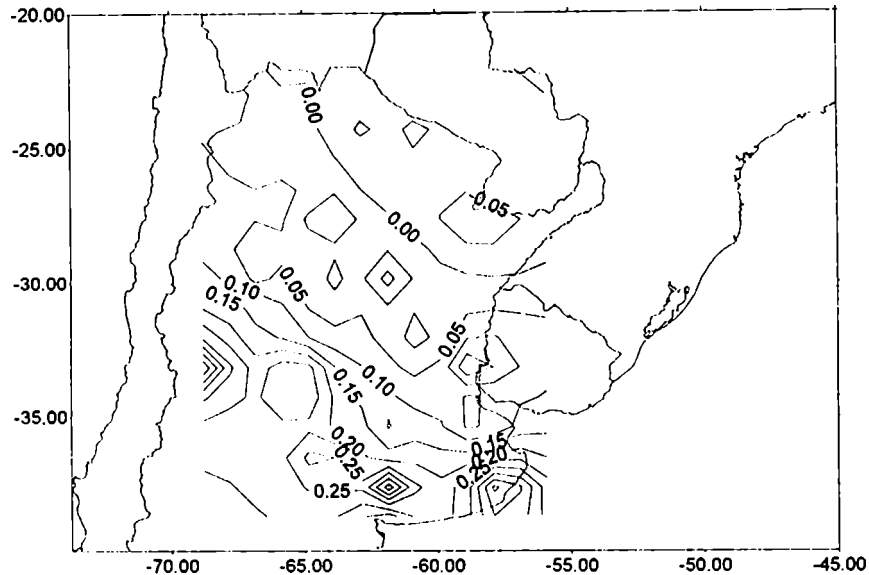


Figura 73: Campos de correlación entre las anomalías de precipitación y A220 atrasada 20 días respecto de la lluvia en agosto. Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con el 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

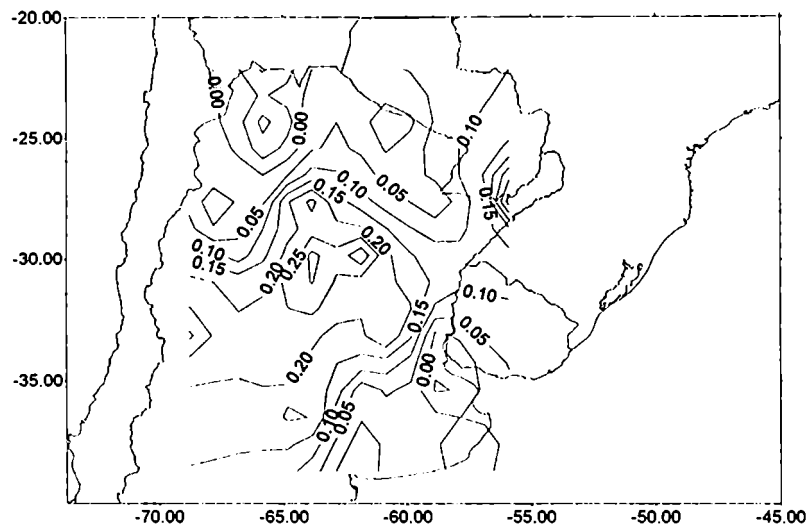


Figura 74: Campos de correlación entre las anomalías de precipitación y A220 atrasada 20 días respecto de la lluvia en septiembre. Las correlaciones superiores a 0.2 resultaron significativas con el 95% de confianza, lo que equivale a un 4% de varianza explicada.

Aparentemente en el mes de septiembre la región noreste tiene mayor correlación con el área convectiva (A220) sin ningún desfase pero la región central tiene mayor correlación cuando existe un lag y el área con correlaciones significativas para 20 días de lag parece correrse hacia el sudoeste respecto del área con correlaciones significativas para 10 días de lag.

En función de los resultados obtenidos, se plantea la hipótesis que sostiene que una vez establecida la convección, ésta se mantiene y la humedad llega al centro de Argentina en forma regular, lo que hace que la correlación entre la lluvia y el área convectiva sea mayor cuando existe un lag, que cuando no lo hay.

3. Relación entre las anomalías de precipitación en Argentina subtropical y las anomalías del valor promedio de onset de la convección en Brasil.

3.1 Correlación entre las anomalías de precipitación en Argentina subtropical y el onset de la convección.

Se han construido las siguientes series temporales:

*** las anomalías de precipitación en los primeros 10 días de septiembre para el período 1975-91**

*** las anomalías de precipitación en los segundos 10 días de septiembre para el período 1975-91**

*** las anomalías de precipitación en los últimos 10 días de septiembre para el período 1975-91**

*** las anomalías de precipitación en todo el mes de septiembre para el período 1975-91**

Estas 4 series se elaboraron para cada una de las 32 estaciones de Argentina subtropical con las que se trabaja.

*** promedio de las anomalías que presenta el onset de la convección en el área comprendida entre 0° y 15° S y entre 45° y 75°O.** Esta anomalía se calcula en cada punto de reticulado respecto del valor climatológico que toma la péntada en que se satisfizo la condición de onset y que fue calculada anteriormente al elaborar la climatología de la variable OLR. Luego se promedia el valor de anomalía en todos los puntos interiores al área comprendida entre 0° y 15°S y entre 45° y 75°O. Un valor positivo de anomalía promedio de onset indica que el onset promedio en el área se produjo después del esperado climatológicamente, es decir, que la convección estuvo atrasada respecto de lo esperado. Análogamente un valor negativo implica que la convección se produjo antes de lo esperado. La TABLA XII detalla el promedio de la anomalía de onset (en péntadas) para cada uno de los años del período 1975-91. El onset climatológico promedio en el área detallada es la péntada 53 (del 18 al 22 de septiembre).

TABLA XII: Promedio de anomalía de onset de la convección.

AÑO	An. Pr. Onset (péntadas)
1975	0.4
1976	1.1
1977	-0.3
1979	-2.1
1980	0.2
1981	-0.3
1982	-2.5
1983	-1.7
1984	-3.5

1985	-1.1
1986	-0.5
1987	2.1
1988	0
1989	0.3
1990	-0.4
1991	1.4

Se correlacionaron cada uno de los primeros 4 sets de series de anomalías de precipitación con la serie detallada en la TABLA XII y se graficaron los campos de correlación interanual resultantes. La significancia del 95% se logra con correlaciones que, en general, superan 0.5 debido a que se trabaja con 17 pares cada uno de los cuales corresponde a un año. Las correlaciones interanuales negativas indican que un adelanto de la convección (anomalía promedio de onset negativa) se asocia a lluvias superiores a lo normal en Argentina y un atraso convectivo se asocia a lluvias inferiores a lo normal. Las correlaciones interanuales entre las anomalías de precipitación los primeros 10 días de septiembre y el promedio de anomalía de onset no fue significativo (figura 75) pero cuando la correlación se realizó con la anomalía producida los segundos 10 días de septiembre en la lluvia (figura 76), se obtuvieron valores significativos en el este del país (por ejemplo -0.53 en Paraná, -0.59 en Sauce Viejo y Resistencia y -0.66 en Ezeiza). Las correlaciones interanuales con las series de los últimos 10 días de septiembre (figura 77) resultaron significativas en el centro del país con valores, por ejemplo, de -0.54 en Santiago del Estero, Córdoba y Ceres. Las correlaciones con las anomalías de precipitación acumuladas en todo el mes de septiembre (figura 78) son significativas en el centro-este de la región con valores, por ejemplo, de -0.63 en Córdoba y Rosario, -0.57 en Sauce Viejo y Pehuajó, -0.55 en Ezeiza, -0.54 en Ceres y -0.46 en Paraná. Estos valores se aclaran en el texto debido a que, por limitaciones técnicas propias del software de graficado utilizado, no pueden apreciarse en las figuras.

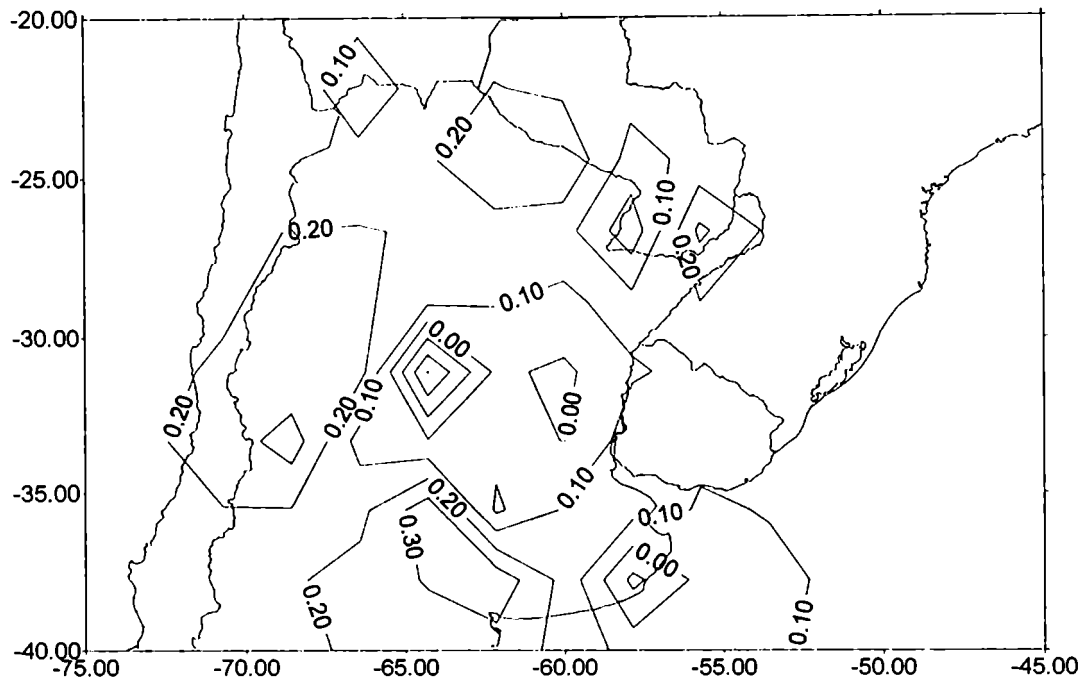


Figura 75: Correlación interanual entre el promedio de las anomalías de onset de la convección y las anomalías de precipitación los primeros 10 días de septiembre en Argentina. Las correlaciones superiores a 0.5 son significativas con el 95% de confianza, lo que corresponde a un 25% de varianza explicada.

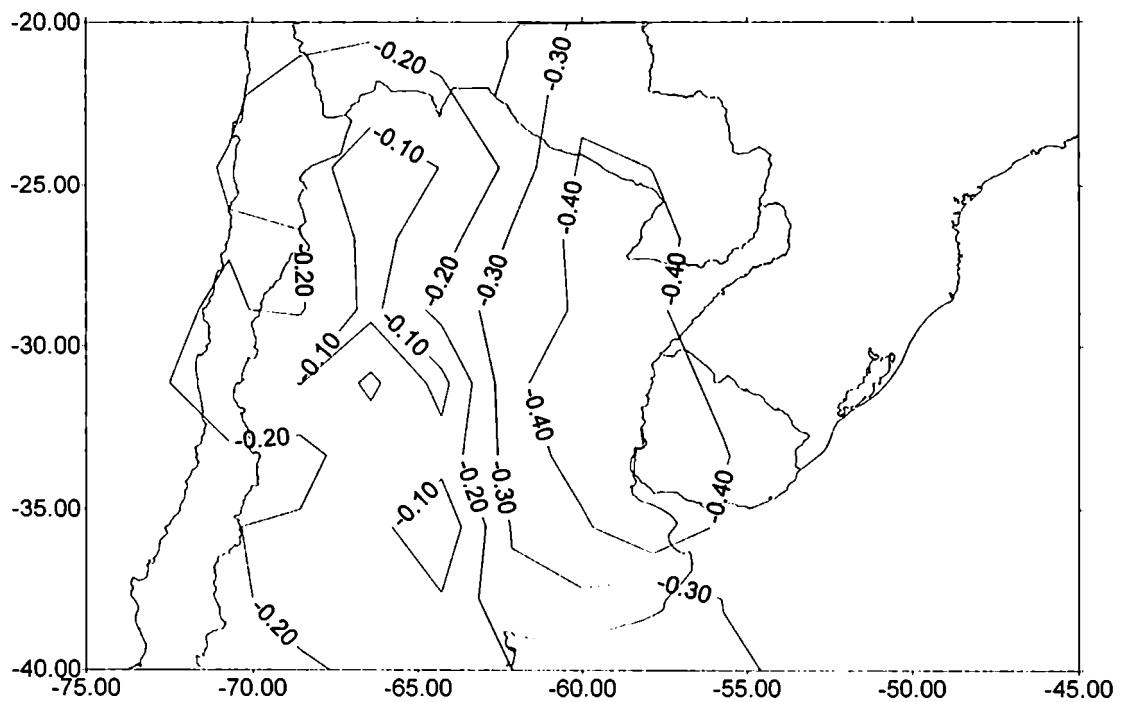


Figura 76: Correlación interanual entre el promedio de las anomalías de onset de la convección y las anomalías de precipitación los segundos 10 días de septiembre en Argentina. Las correlaciones superiores a 0.5 son significativas con el 95% de confianza, lo que corresponde a un 25% de varianza explicada.

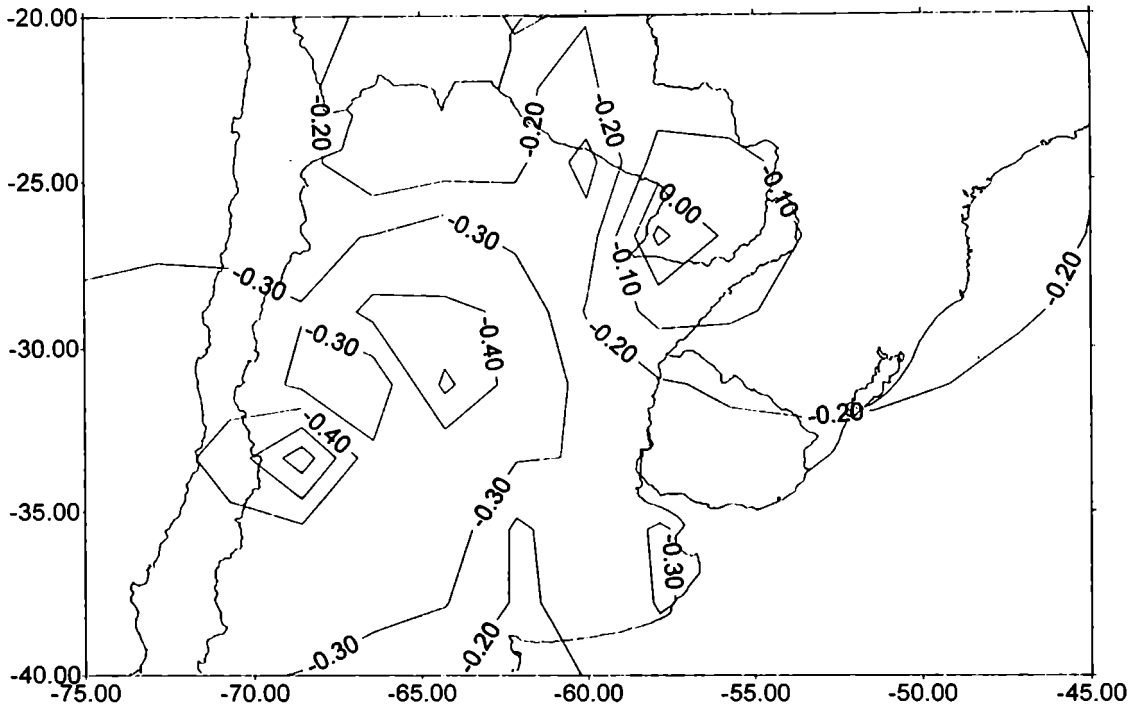


Figura 77: Correlación interanual entre el promedio de las anomalías de onset de la convección y las anomalías de precipitación los últimos 10 días de septiembre en Argentina. Las correlaciones superiores a 0.5 son significativas con el 95% de confianza, lo que corresponde a un 25% de varianza explicada.

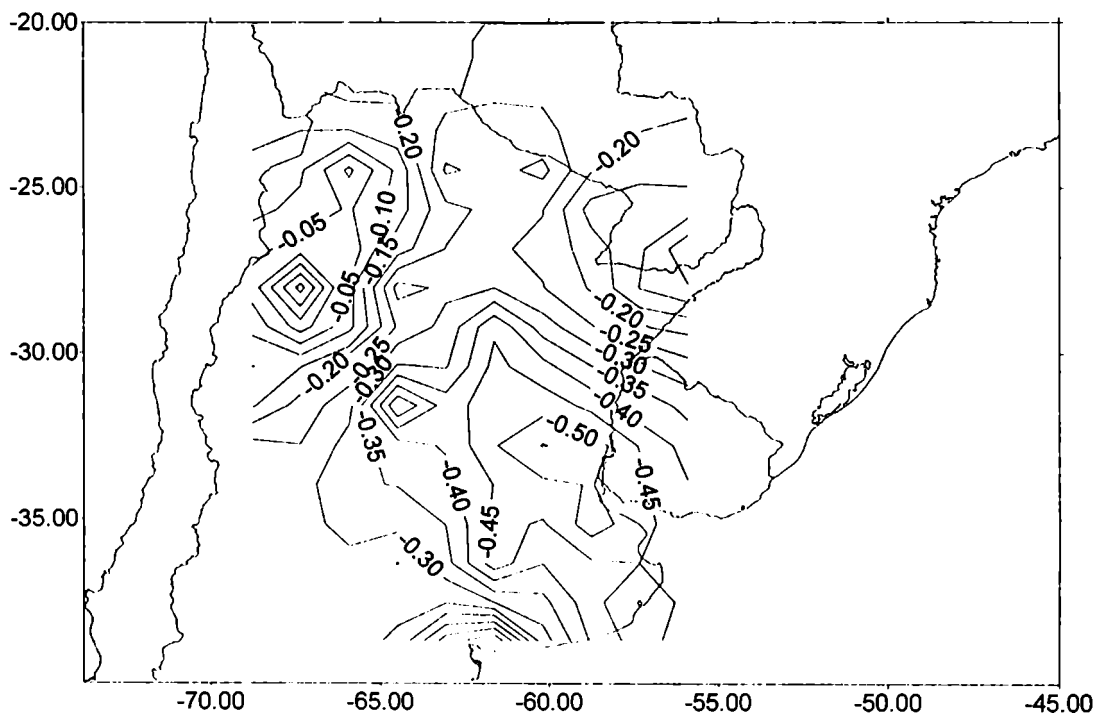


Figura 78: Correlación interanual entre el promedio de las anomalías de onset de la convección y las anomalías de precipitación en septiembre en Argentina. Las correlaciones superiores a 0.5 son significativas con el 95% de confianza, lo que corresponde a un 25% de varianza explicada.

3.2. Estratificación de casos de adelanto o atraso convectivo

De acuerdo a los valores mostrados en la TABLA XII, existen en el período considerado, cinco años cuyo adelanto en el ingreso de la convección al hemisferio sur superó los 6 días:

- * en 1979 el onset promedio se produjo 10 días antes del esperado climatológicamente
- * en 1982, 12 días antes
- * en 1983, 8 días antes
- * en 1984, 17 días antes
- * en 1985, 6 días antes.

Se observa un atraso respecto de los valores climatológicos, importante los años:

- * 1976, 6 días después de lo esperado
- * 1987, 10 días después,
- * 1991, 7 días después.

Se considera como significativo un adelanto o atraso superior a 6 días en el sentido que la unidad con que se trabajó el OLR es una péntada (5 días) y por lo tanto no es posible analizar variaciones de menor longitud temporal.

Se trata de identificar si existen patrones de comportamiento en la lluvia que se relacionen con estas anomalías en el ingreso de la convección. El campo promedio de anomalía de precipitación para los años en los cuales se observó un adelanto en el ingreso de la convección (figura 79) muestra anomalías positivas en toda el área de estudio especialmente en el centro y noreste de Argentina, con un máximo centrado aproximadamente en (32°S, 60°O). Como sólo se detectaron 5 casos de adelanto convectivo en el período 1975-91, que es la información disponible, el campo promedio de desvíos standard en ese período, fue usado para verificar la significancia de las anomalías de lluvia (figura 80). Se puede observar que las anomalías de lluvia promediada en los años con un adelanto en el ingreso de la convección significativo, son del mismo orden que el desvío promedio. Las figuras 81a, 81b, 81c, 81d y 81e muestran los campos individuales de anomalía de precipitación mensual en septiembre en 1979, 1982, 1983, 1984 y 1985 respectivamente. Se observan áreas con importantes anomalías positivas que en algunos casos superan al desvío standard medio: en 1979 se observan en el centro y norte del país, en 1982 en toda el área de estudio, en 1984 en el centro y este del país y en 1985 en el este del área de estudio. Es importante notar cómo en todos los casos la zona central parece responder de igual forma al adelanto de la convección. En cambio el año 1983 no presenta anomalías positivas de precipitación, probablemente porque otros factores están actuando simultáneamente e influyen la media mensual, compensando el efecto de la convección, sobre todo si se tiene en cuenta que en 1983 el adelanto fue uno de los menores observados. El año 1984, que presentó el mayor adelanto en el ingreso de la convección, muestra anomalías positivas de lluvia importantes en una zona coincidente con la de máxima respuesta con el área convectiva A220 cuando se utiliza un lag de 10 y 20 días (figuras 72 y 74) y con la región de máxima correlación entre ANONSET y las anomalías de lluvia acumulada en septiembre (figura 78).

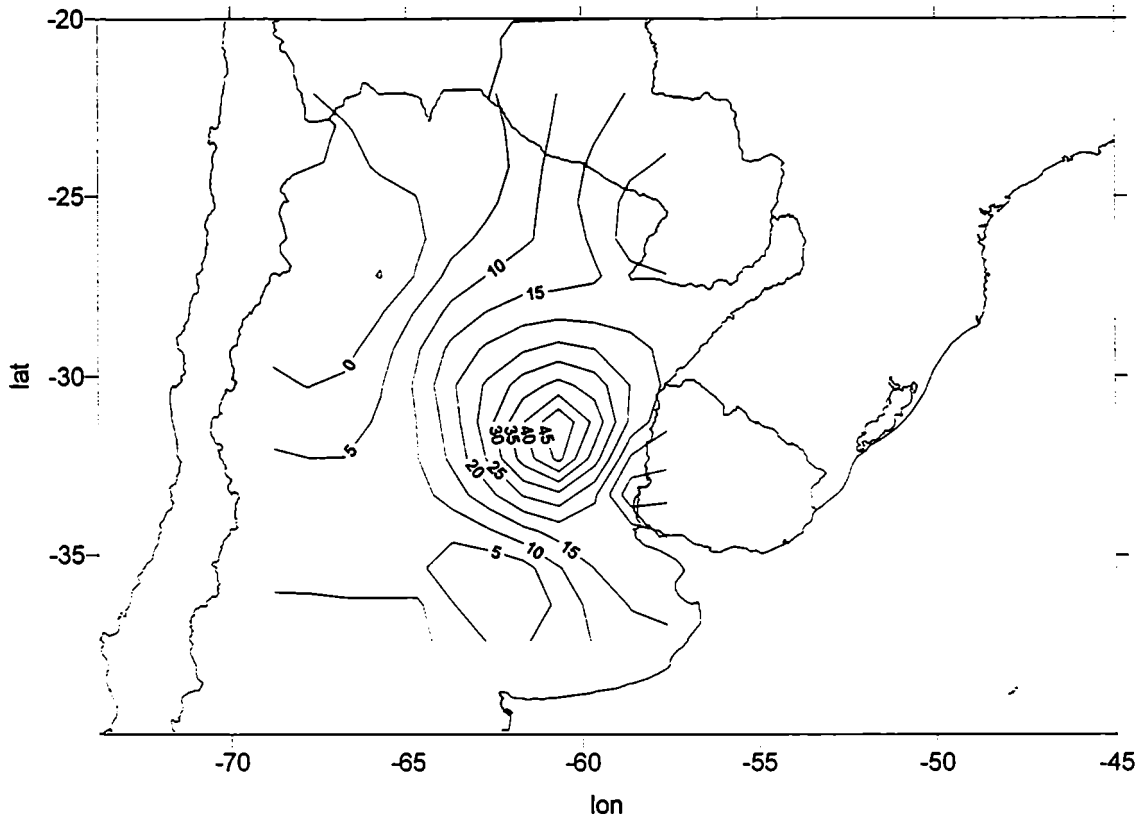


Figura 79: Campo promedio de anomalías de precipitación (en mm) en septiembre para los años donde se observó un adelanto en el ingreso de la convección al hemisferio sur (1979, 1982, 1983, 1984 y 1985)

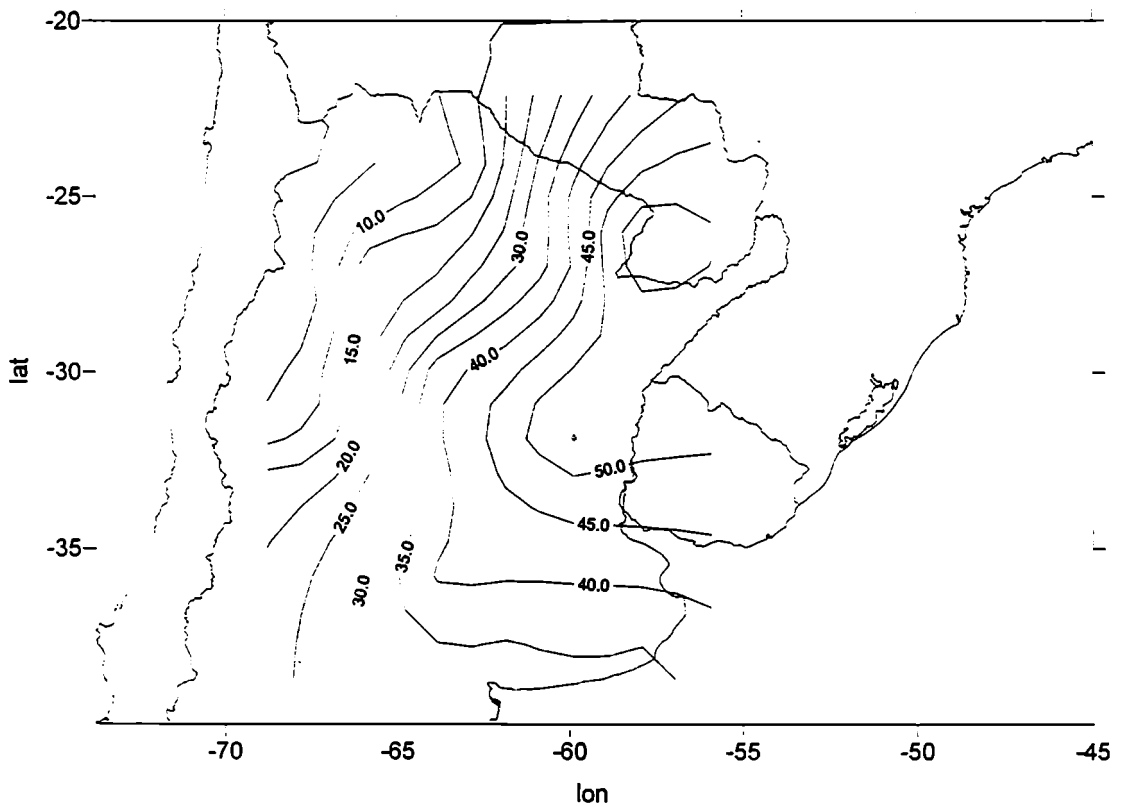
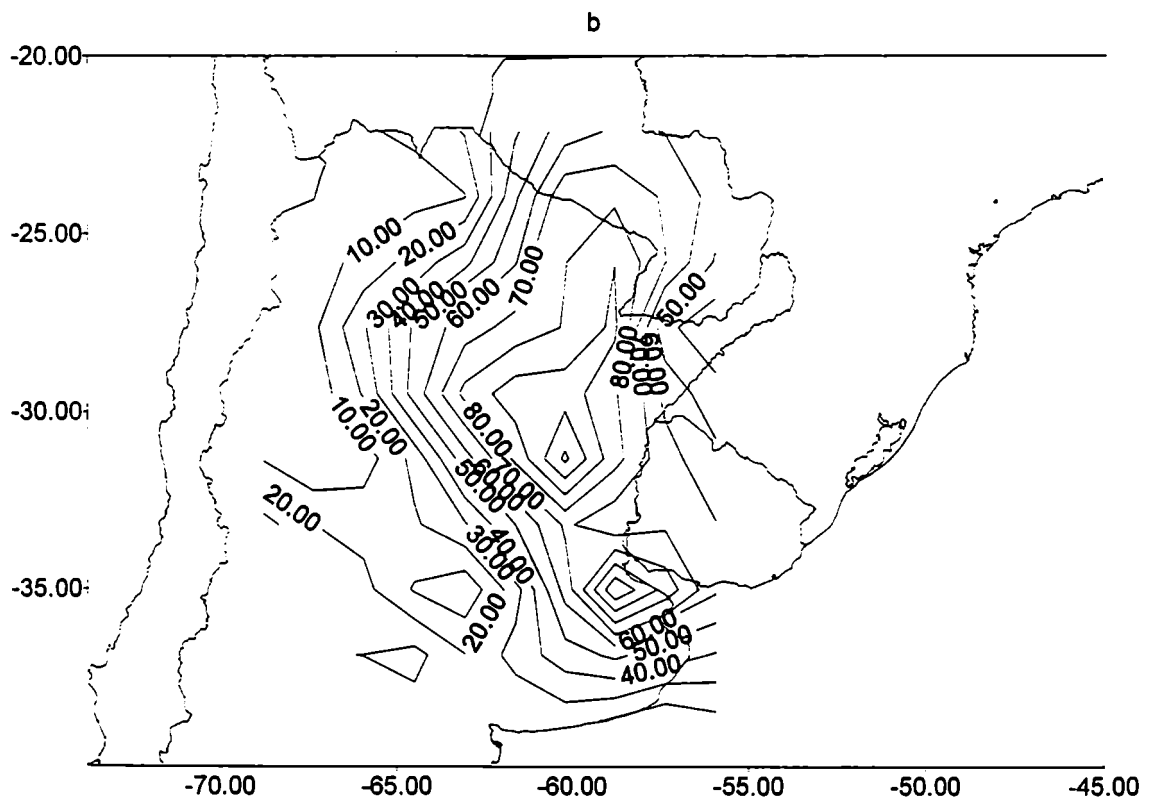
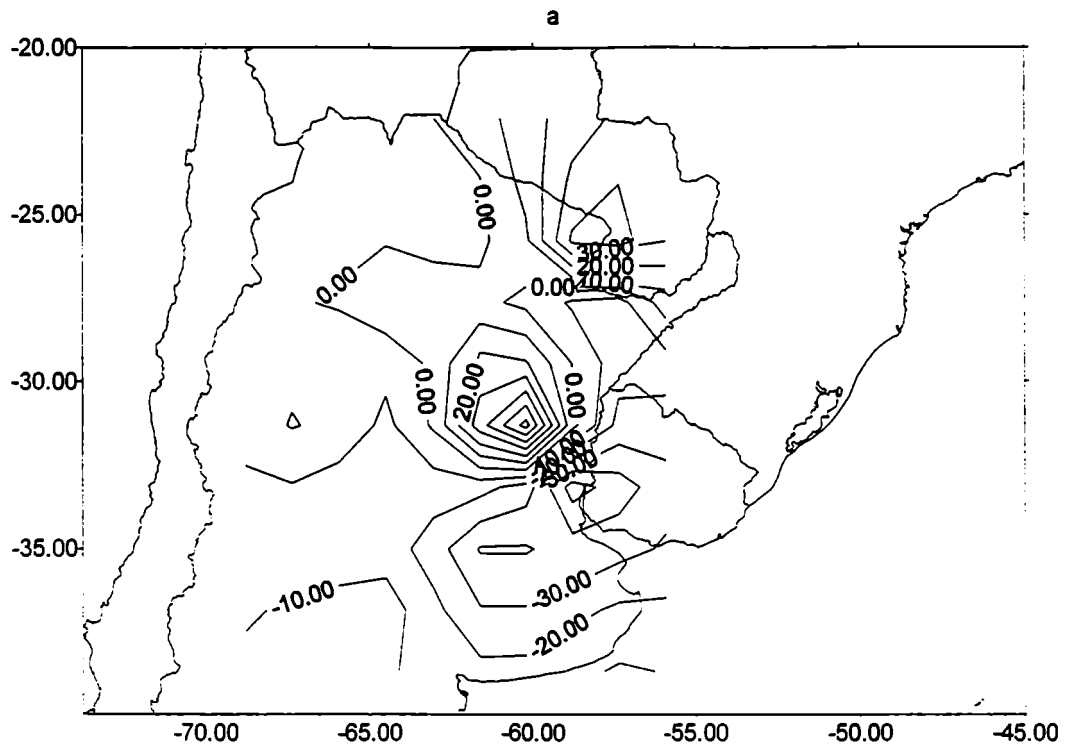
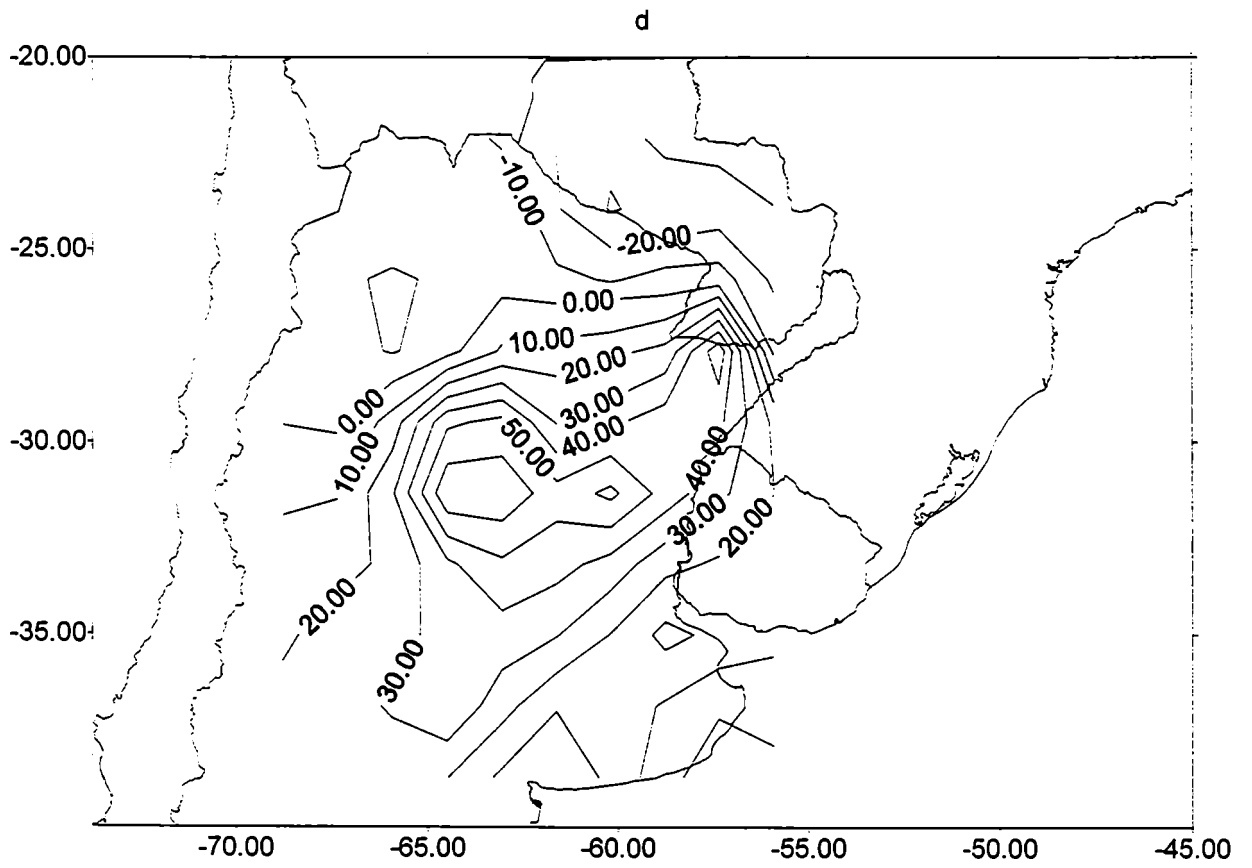
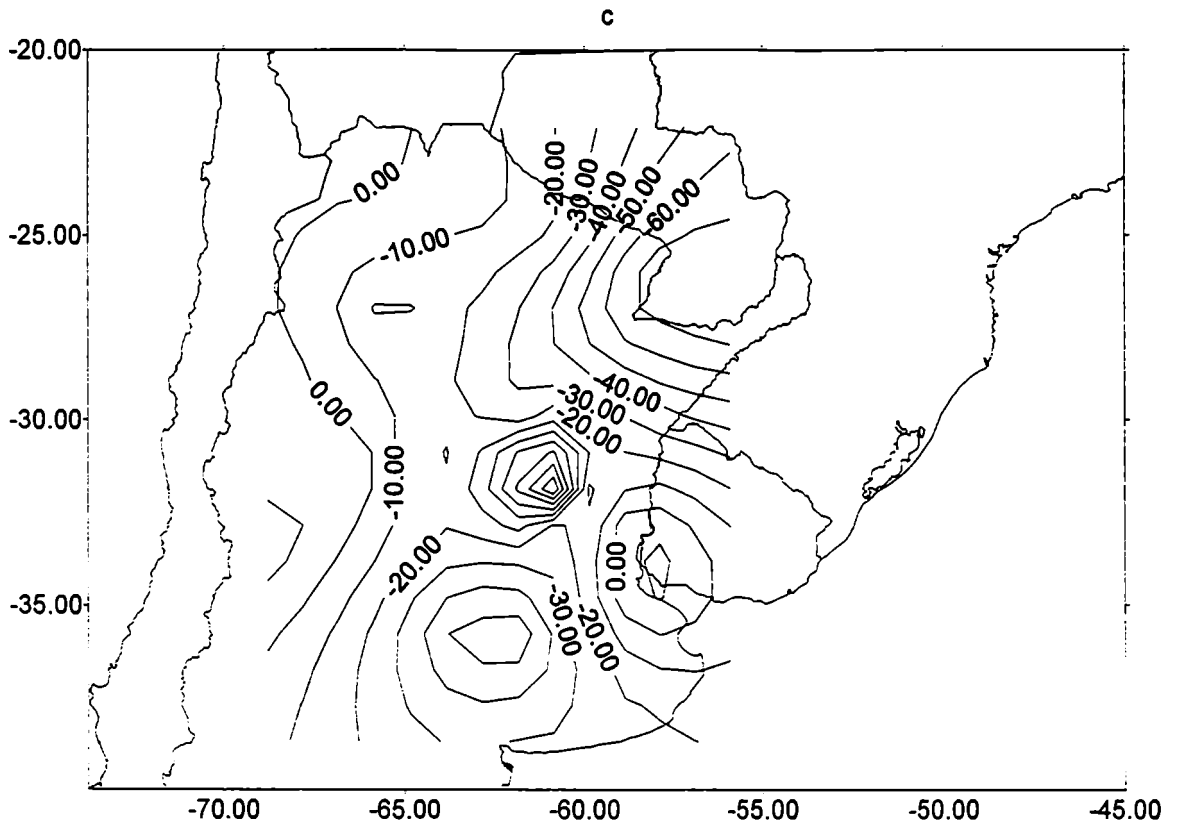


Figura 80: Desvío standard medio de las anomalías de precipitación (en mm) en el período 1975-91.





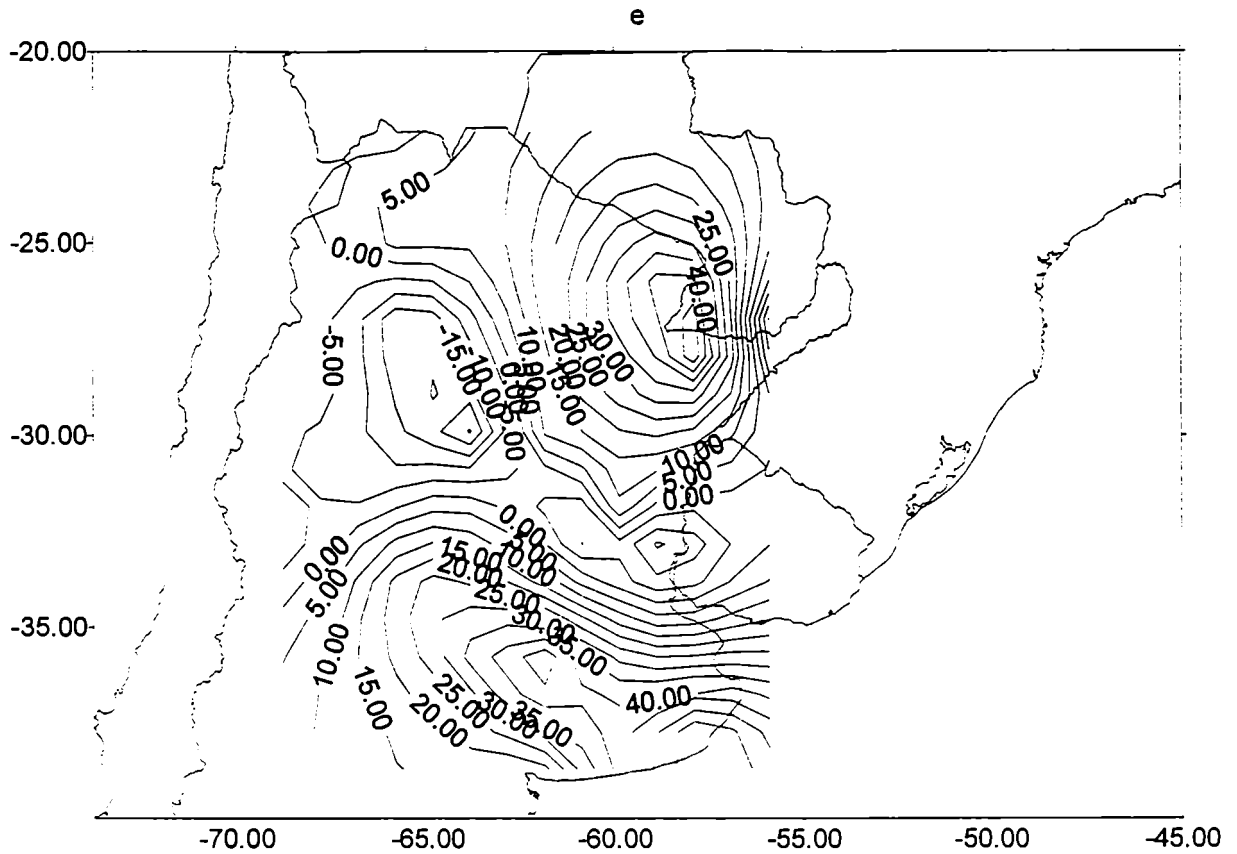


Figura 81: Campos de anomalía de la precipitación (en mm) en septiembre de a) 1979, b) 1982, c) 1983, d) 1984 y e) 1985.

La figura 82 muestra el campo promedio de anomalías de precipitación en los años en que un retraso en el ingreso de la convección superior a 6 días, fue detectado. Las anomalías son negativas sobre casi la totalidad de la región y el máximo valor negativo se ubica en la misma posición que el de la figura 79, centrado en (32°S, 60°O). Los valores son ligeramente menores que los desvíos standard mostrados en la figura 80, pero son todavía, igualmente importantes. Las figuras 83a, 83b y 83c muestran los campos individuales de anomalías de la precipitación en septiembre de 1976, 1987 y 1991 respectivamente. Todos ellos presentan anomalías negativas en grandes áreas de Argentina subtropical: en 1976 existen anomalías negativas en el centro y este, en 1987 abarcan el centro y norte del país y en 1991, el centro. En 1987 cuando el máximo atraso fue observado, las anomalías negativas son bastante más grandes que el desvío standard medio. Nuevamente el centro del país responde en las anomalías de la lluvia a un atraso en la convección.

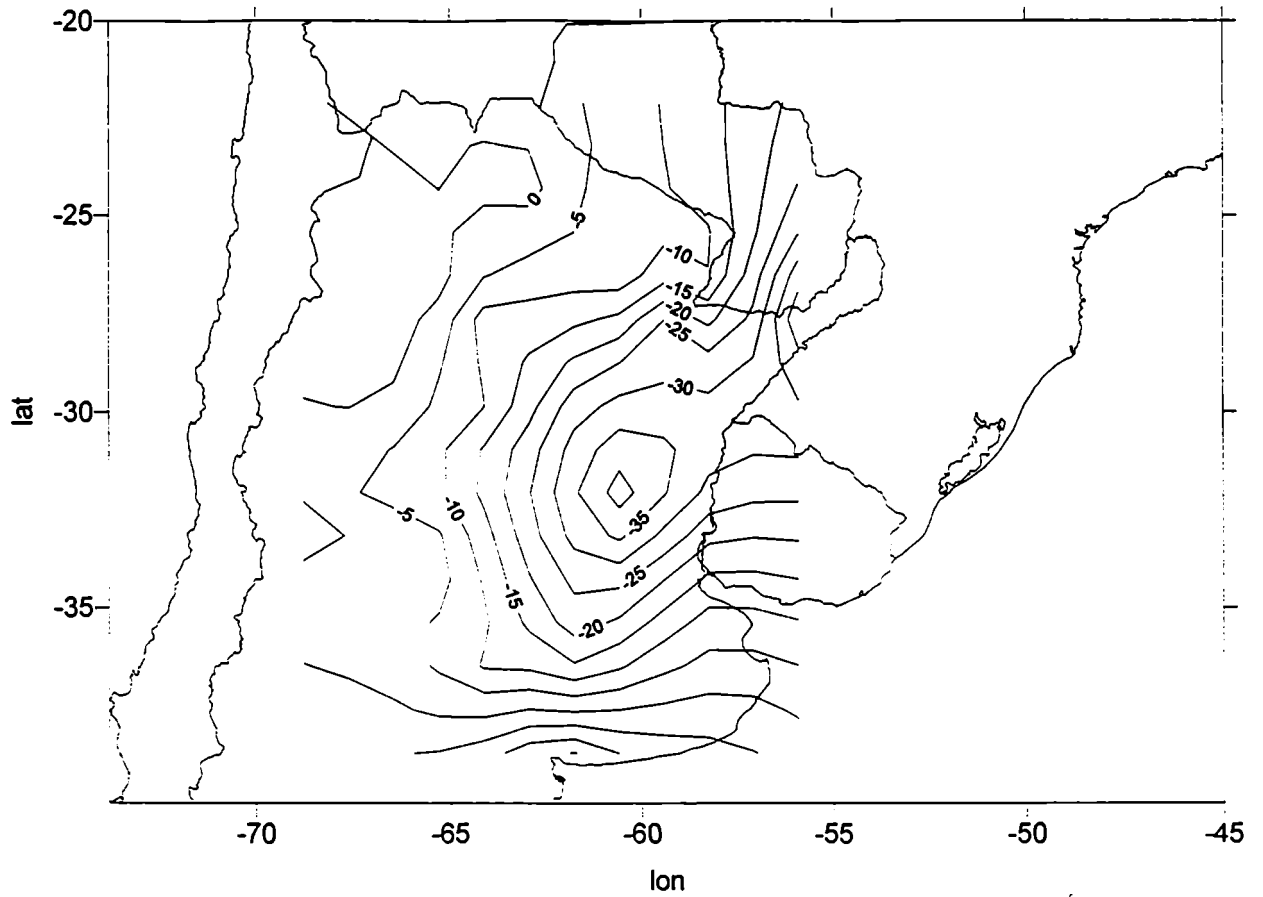
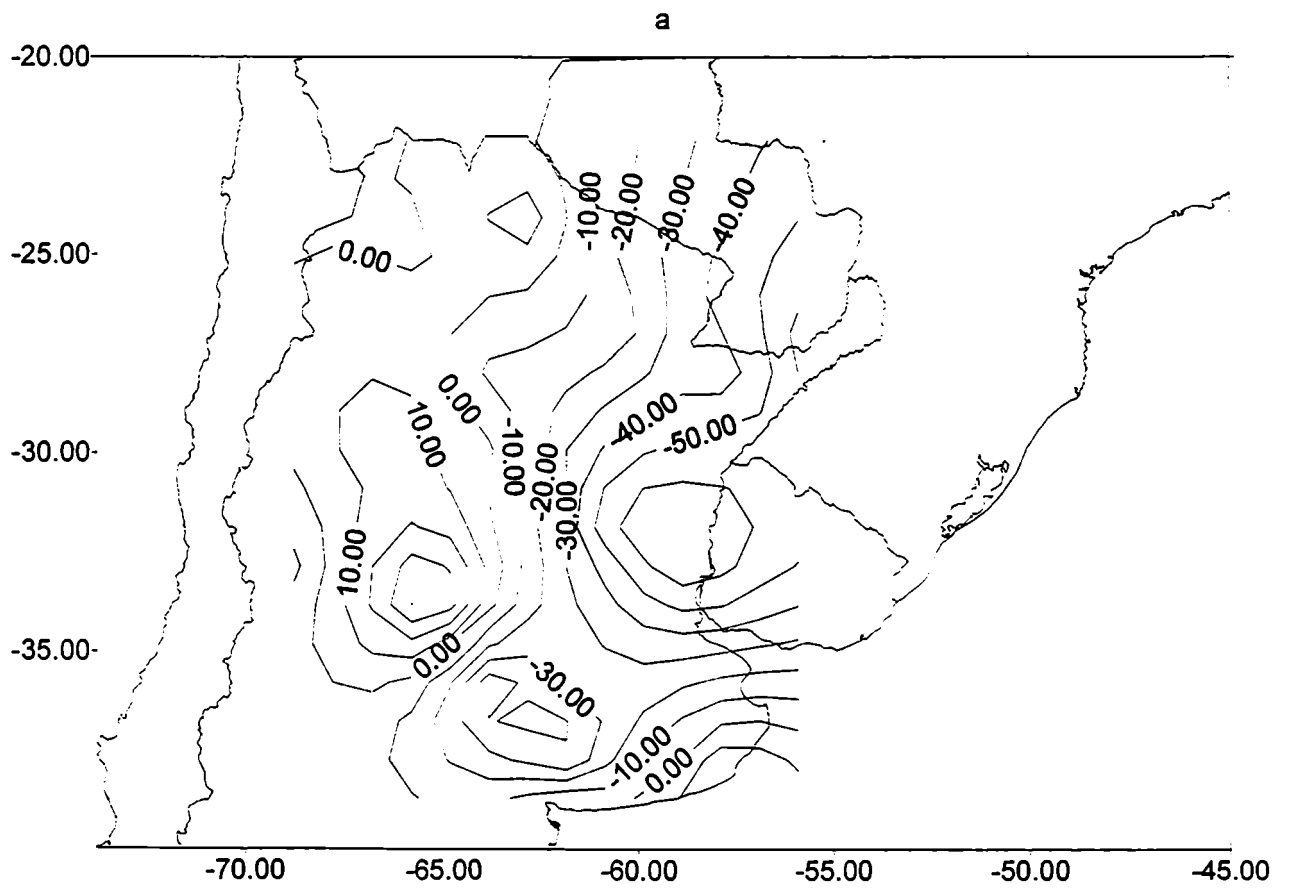


Figura 82: Campo promedio de anomalías de precipitación (en mm) en los años con un retraso en el ingreso de la convección al hemisferio sur (1976, 1987 y 1991).



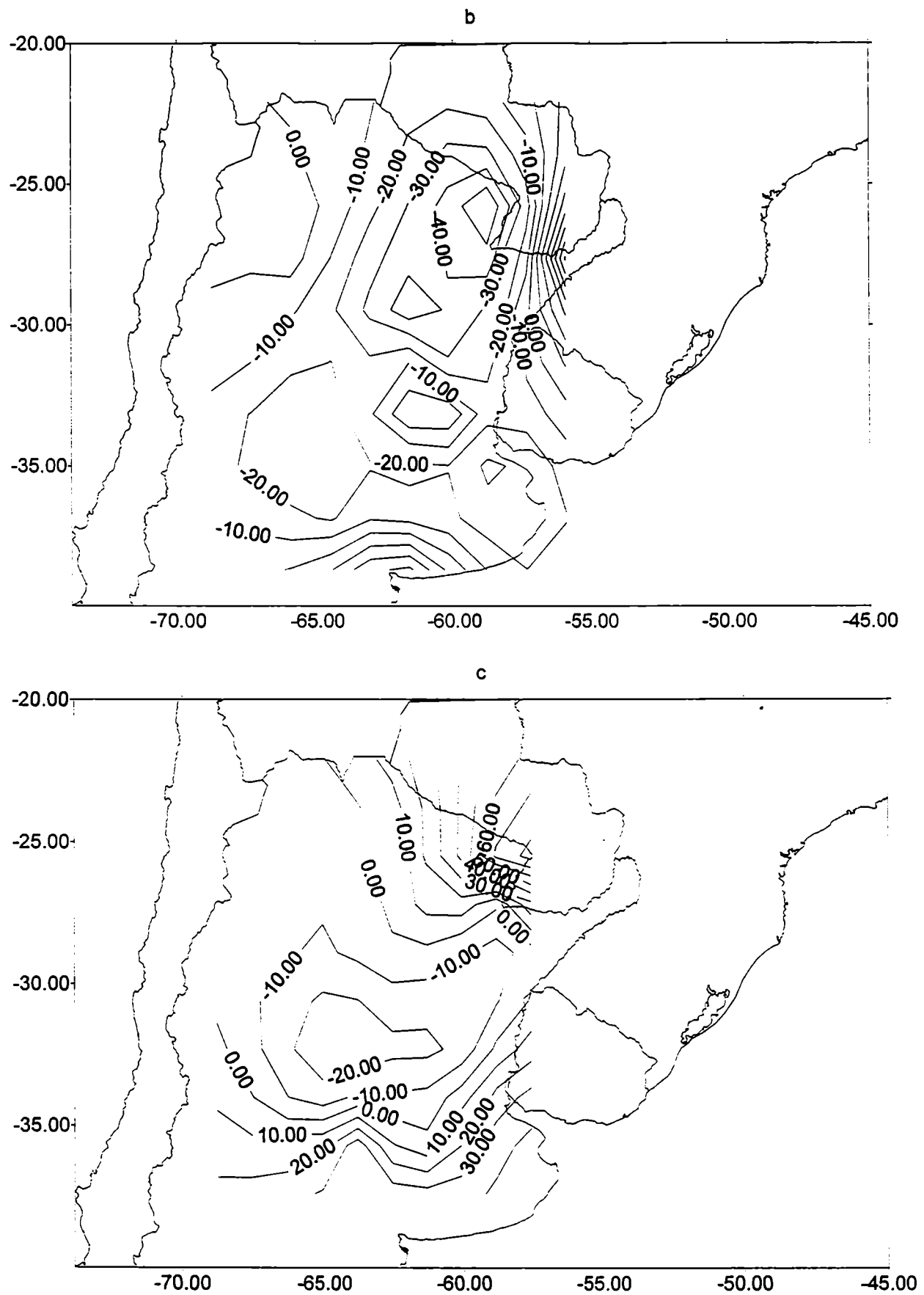
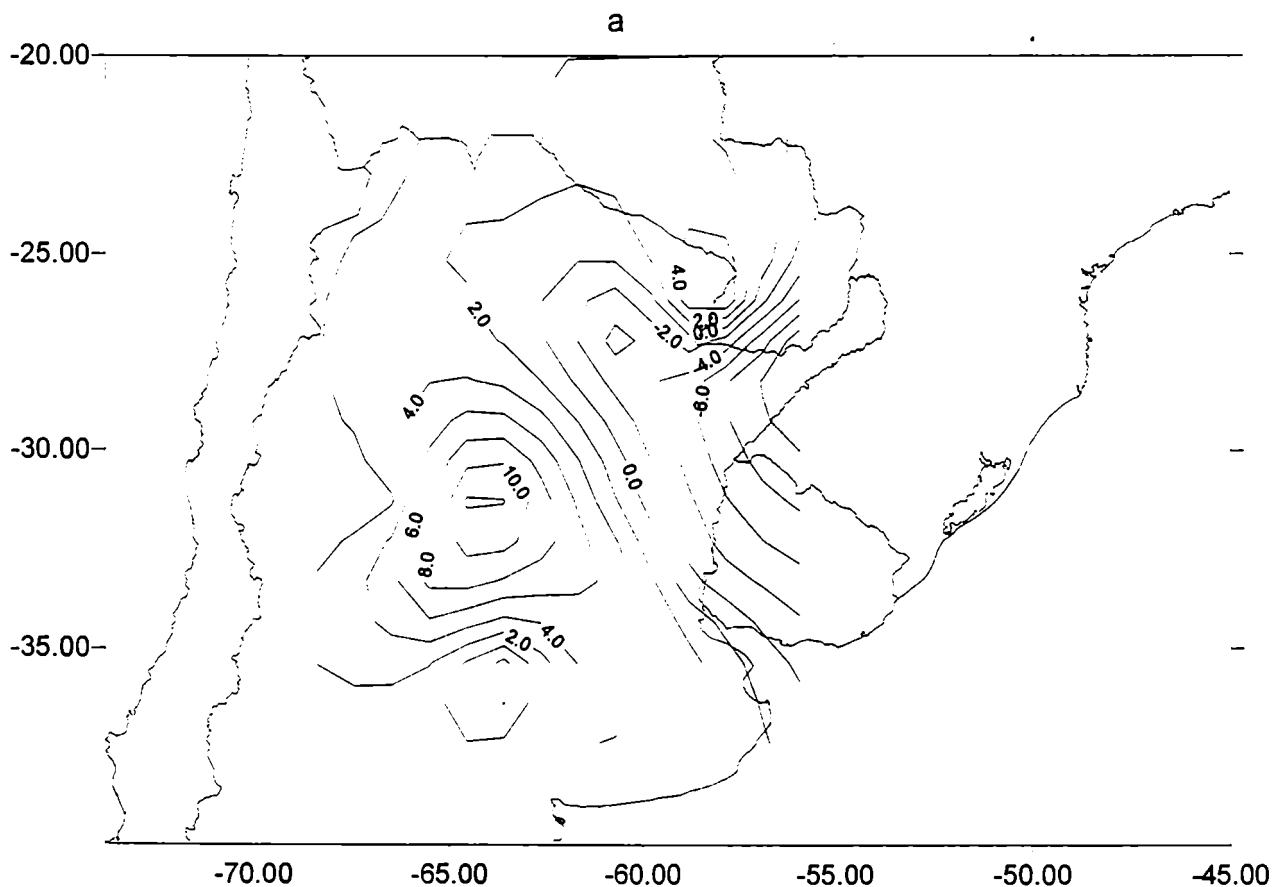


Figura 83: Campos de anomalía de la precipitación (en mm) en septiembre de a) 1976, b) 1987 y c) 1991.

El mismo análisis se realizó para cada uno de los períodos de 10 días de septiembre. Se utilizará la siguiente nomenclatura: sep1 son los primeros 10 días, sep2 es el período comprendido entre el 11 y el 20 y sep3 son los últimos 10 días de septiembre. Las figuras 84a, 84b y 84c muestran los campos promedio de anomalía de precipitación durante los años en que se observó un adelanto en el ingreso de la convección al hemisferio sur en sep1, sep2 y sep3, respectivamente. Aparentemente no existe una respuesta clara en sep1 donde sólo se observan leves anomalías positivas en el centro de la región de estudio. Pero en sep2 se observan anomalías de lluvia importantes en la región centro-este y en sep3 estas anomalías se mantienen con el máximo algo desplazado hacia el sudoeste. Si se compara estas anomalías con los campos promedio de desvío standard en el período 1975-91 para cada uno de los intervalos (sep1, sep2 y sep3) (figura 85) se nota que en la región donde se producen las máximas anomalías en sep2 y sep3, éstas son del mismo orden que el desvío standard promedio.



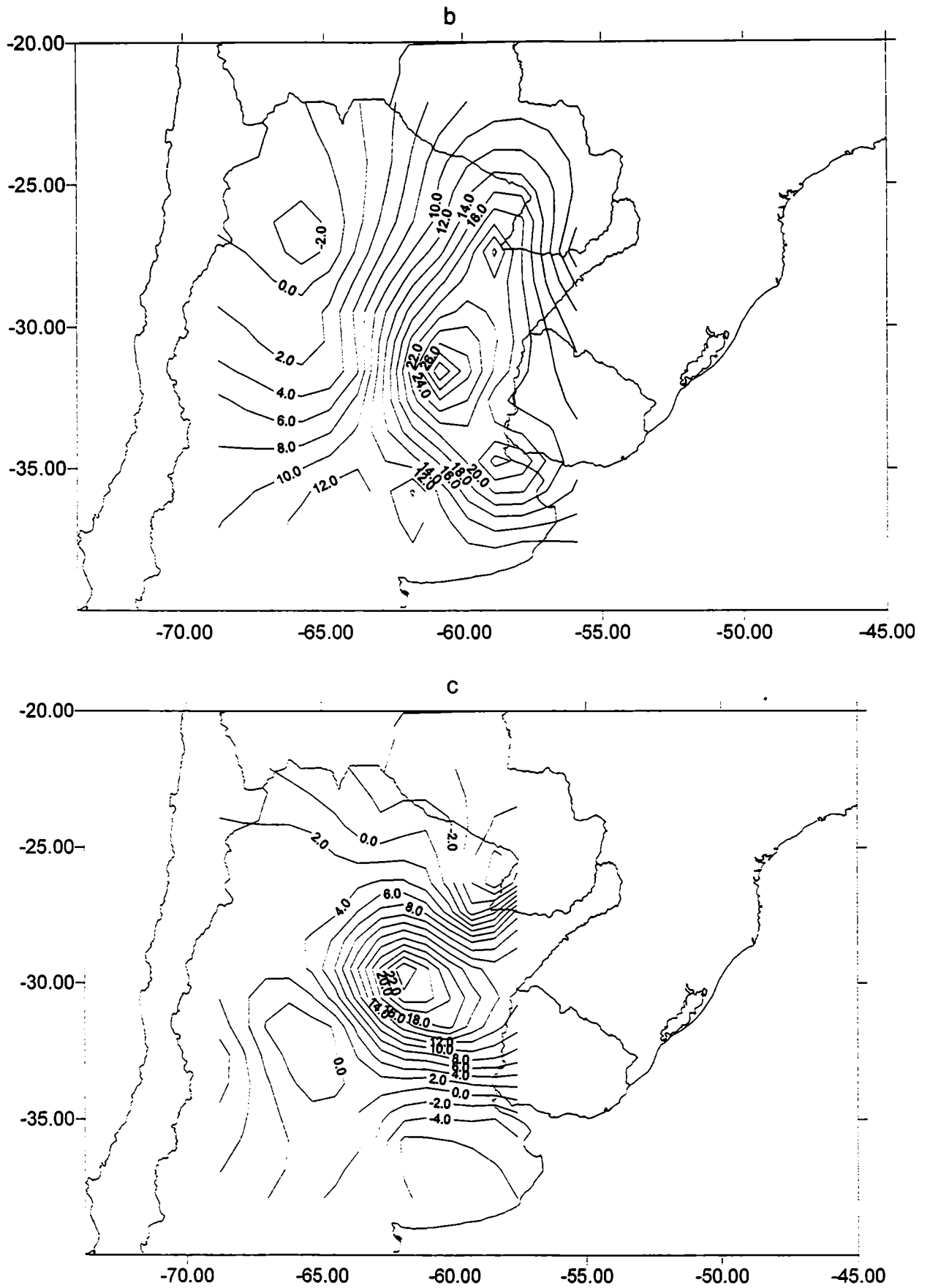
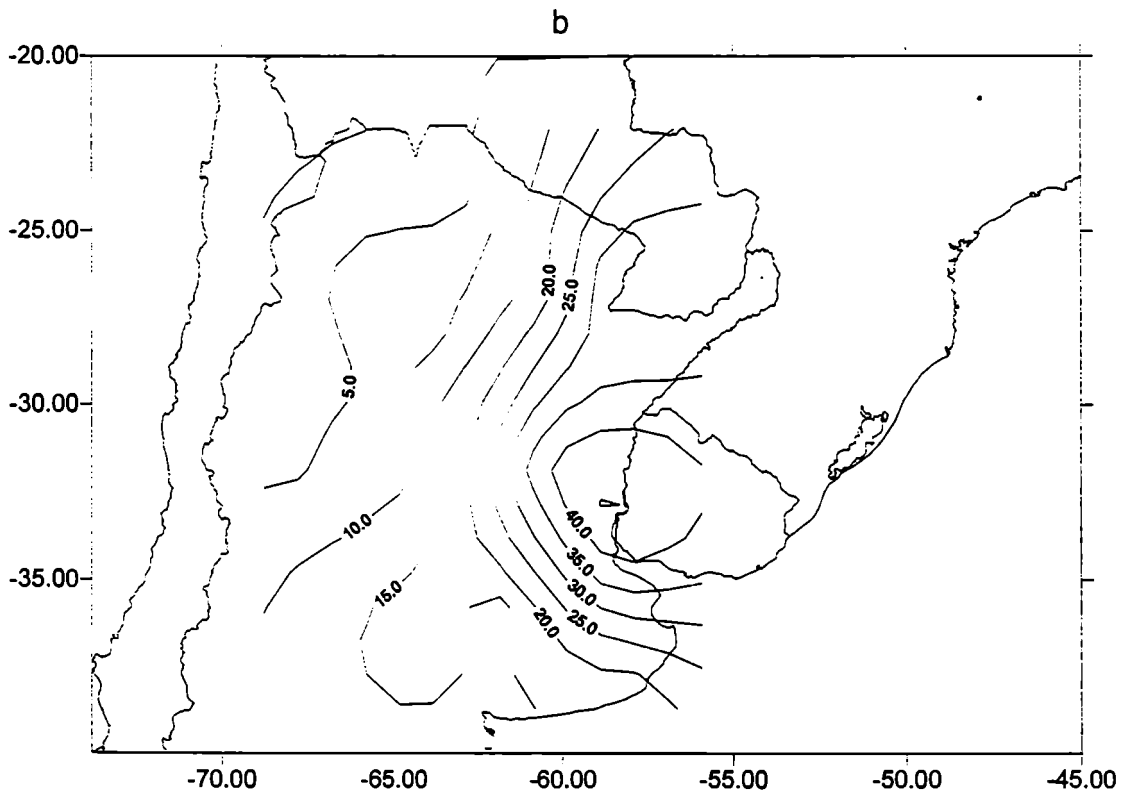
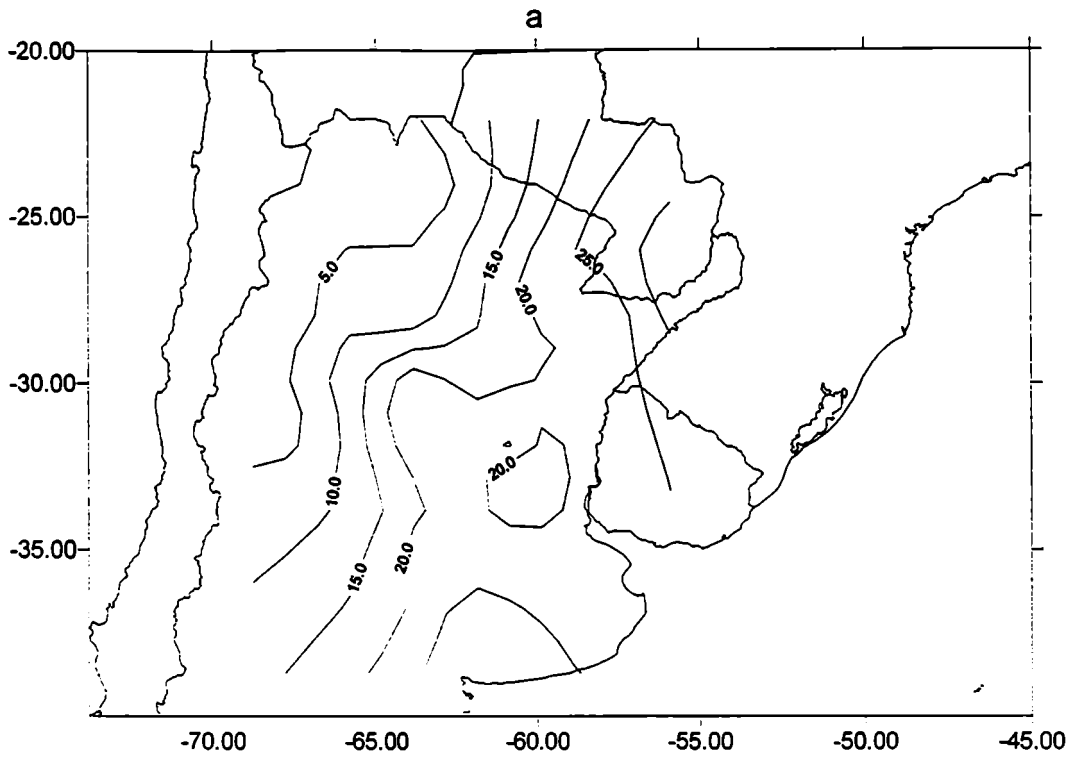


Figura 84: Campos promedio de anomalía de precipitación (en mm) durante los años en que se observó un adelanto en el ingreso de la convección al hemisferio sur (1979, 1982, 1983, 1984 y 1985) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c).



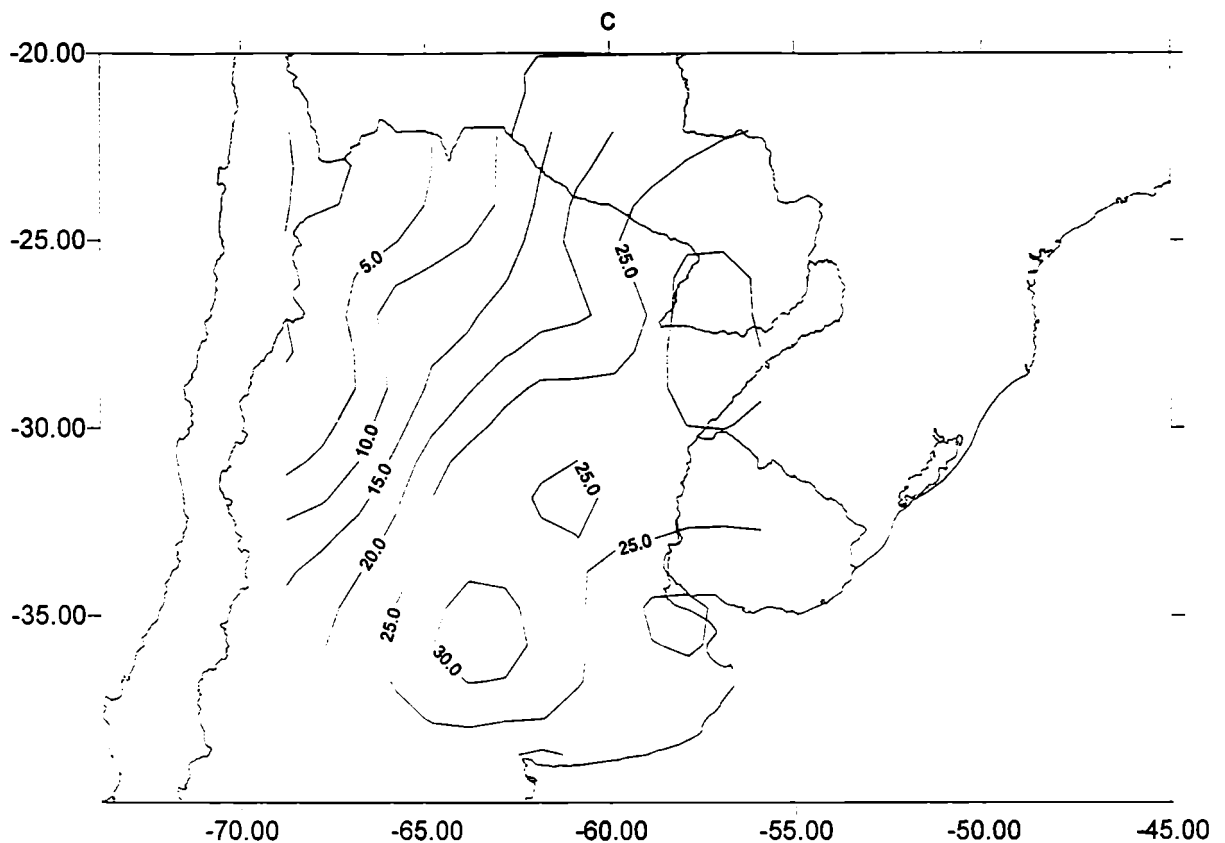
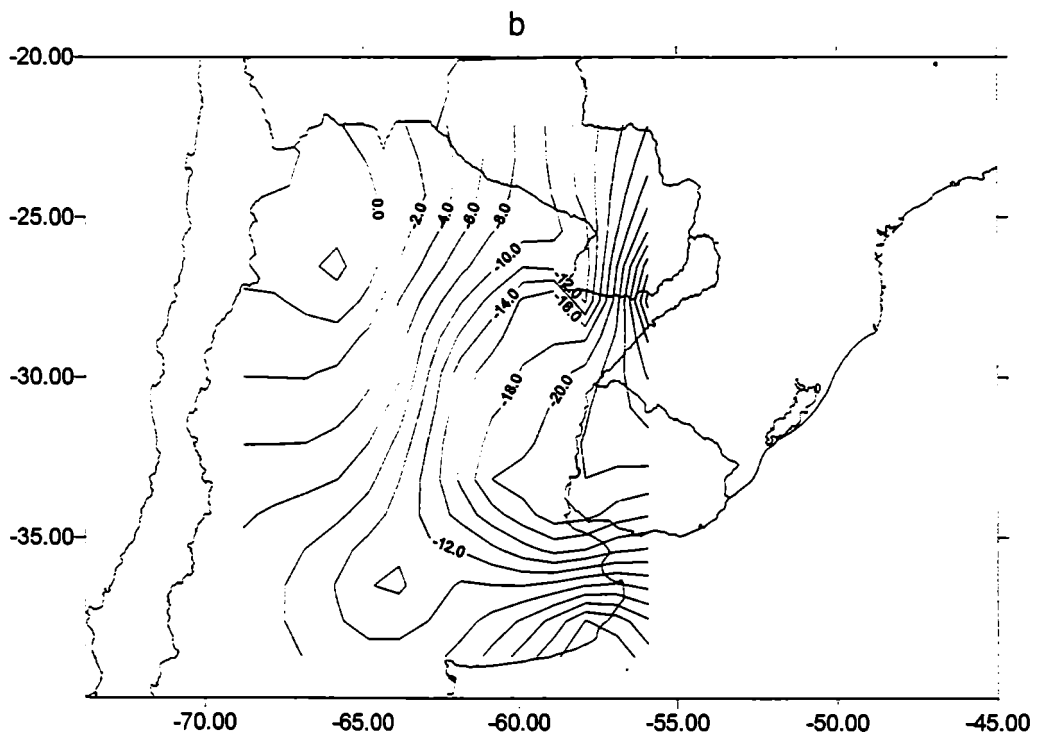
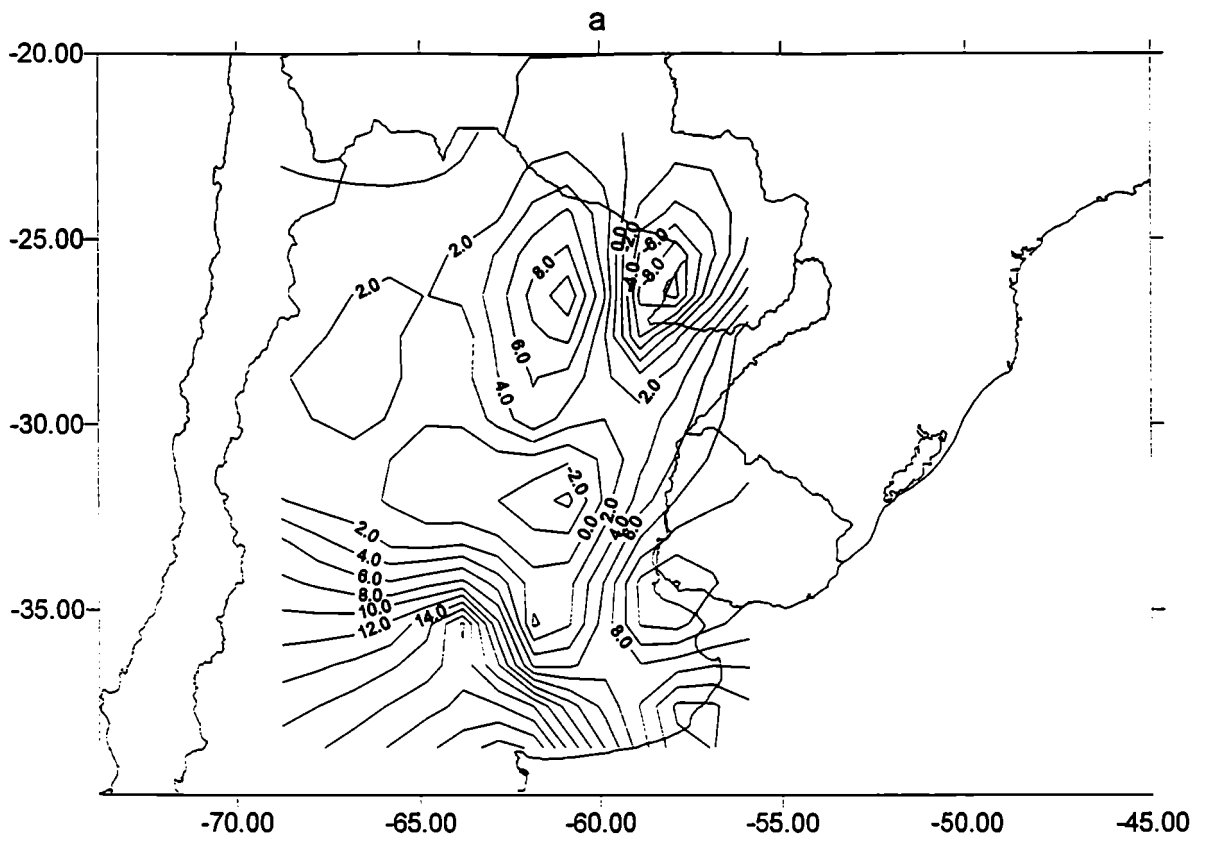


Figura 85: Campos promedio de desvío standard de anomalías de precipitación (en mm) en el período 1975-91 para sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c).

Si se analizan los campos promedio de las anomalías de precipitación durante los años donde se observó un atraso en el ingreso de la convección al hemisferio sur, en sep1, sep2 y sep3 (figura 86) se observa que en sep1 las anomalías negativas no son muy grandes y abarcan el centro de la región, existiendo también un máximo negativo al este de Formosa, en ambos casos bastante más bajos que el desvío standard medio (comparar con la figura 85). En sep2 las anomalías negativas abarcan el este y son del orden del 50% del desvío standard promedio. En sep3 el máximo de anomalías negativas se desplaza hacia el sudoeste respecto del obtenido en sep2, y tienen valores levemente más bajos que el desvío standard promedio.



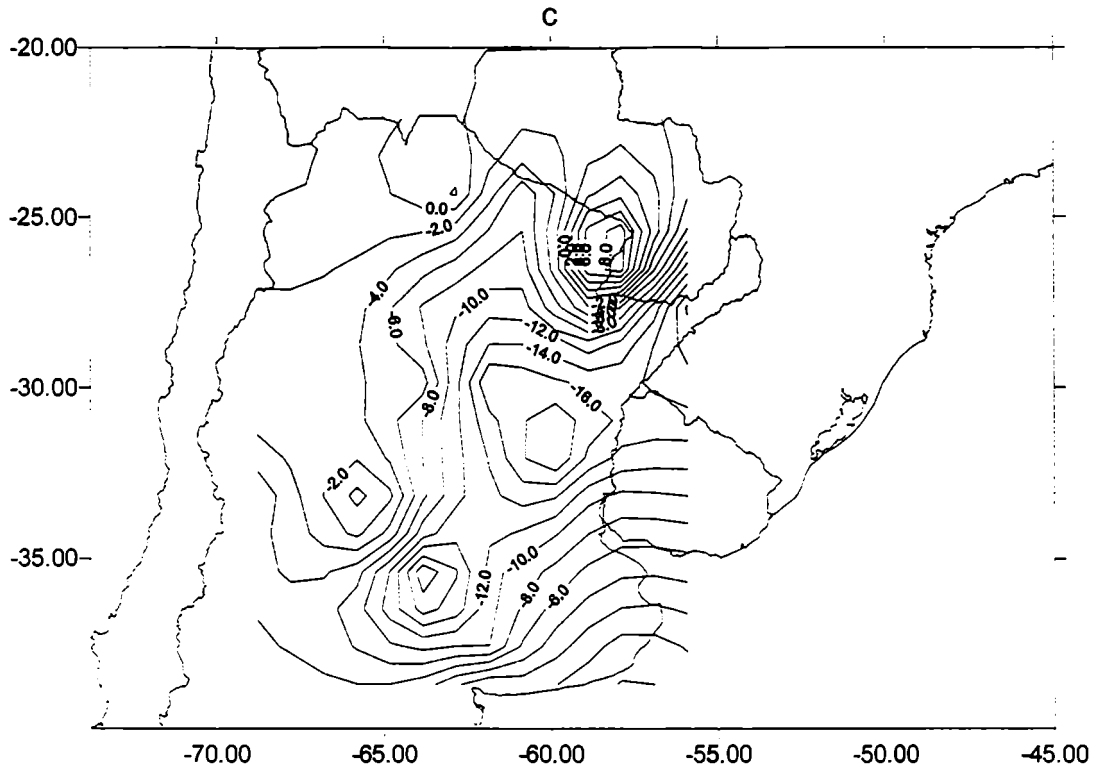
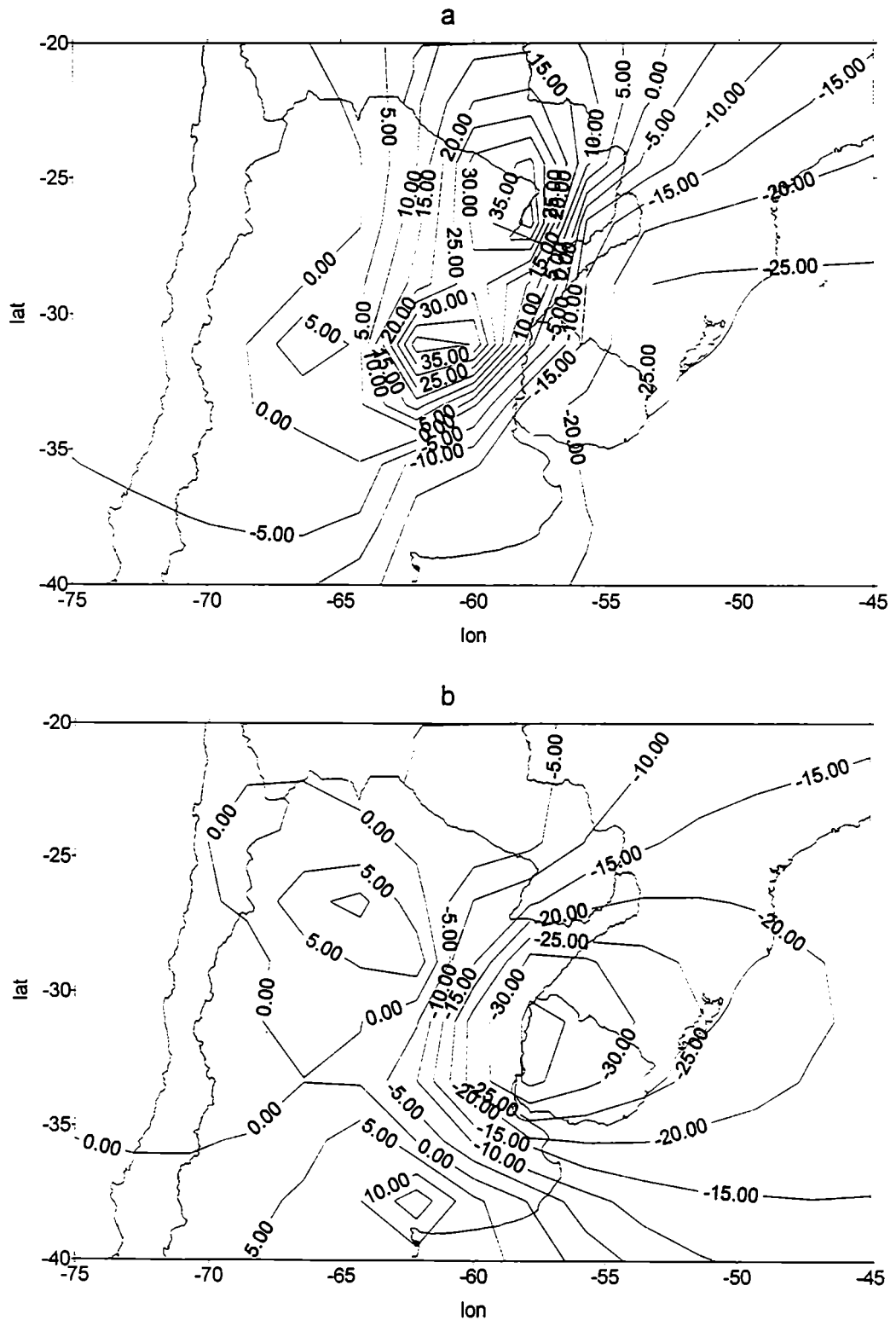


Figura 86: Campos promedio de las anomalías de precipitación (en mm) durante los años donde se observó un atraso en el ingreso de la convección al hemisferio sur (1976, 1987 y 1991), en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c).

En resumen, se puede concluir que la respuesta a un adelanto o atraso del onset del monzón americano en el hemisferio sur es más clara en la precipitación que se produce los segundos y últimos 10 días de septiembre que en los primeros, pero los máximos parecen tener distintas ubicaciones siempre dentro de la zona central-este del país: en sep2 las anomalías de lluvia son más extendidas en la región este y en sep3 los máximos presentan un corrimiento hacia el sudoeste.

3.3. Análisis individual

Si se analizan los casos individualmente se observa que las anomalías superan en casi todos los casos al desvío standard medio, sobre todo en sep2 y sep3. Las figura 87 muestra los campos de anomalía de precipitación para los primeros, los segundos y los últimos 10 días de septiembre de 1979. Se observan anomalías positivas importantes (mayores que el desvío standard medio), en sep1 cubriendo todo el centro y norte y en sep3 en el noreste.



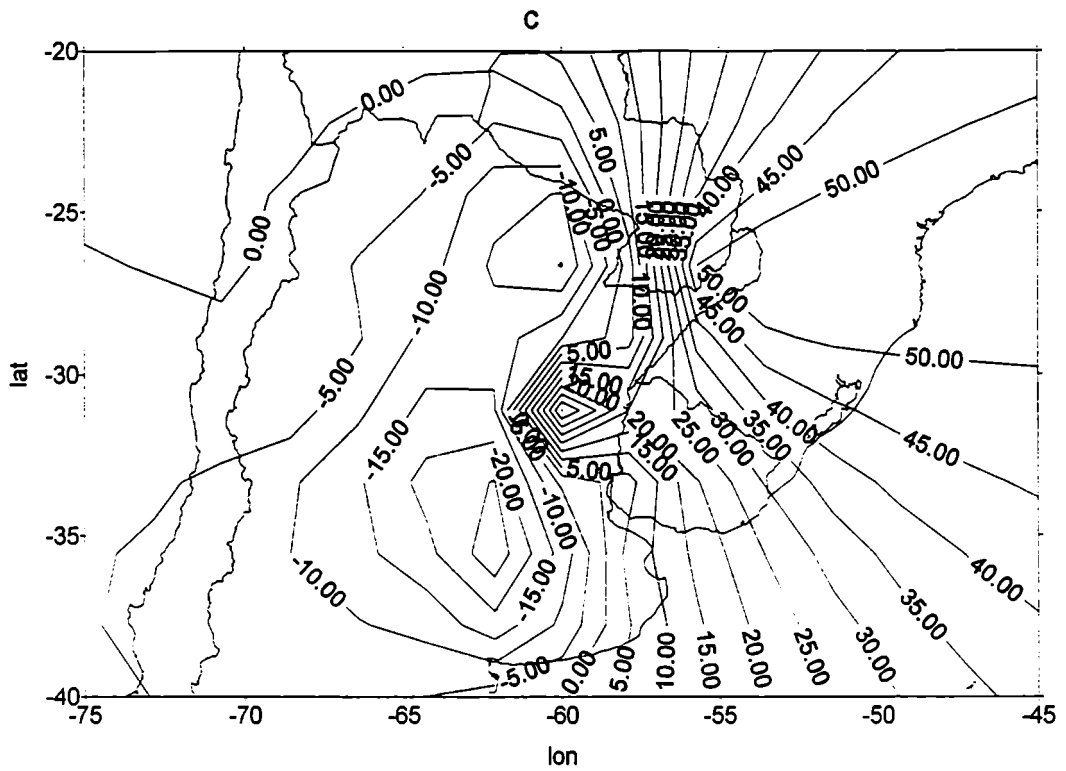
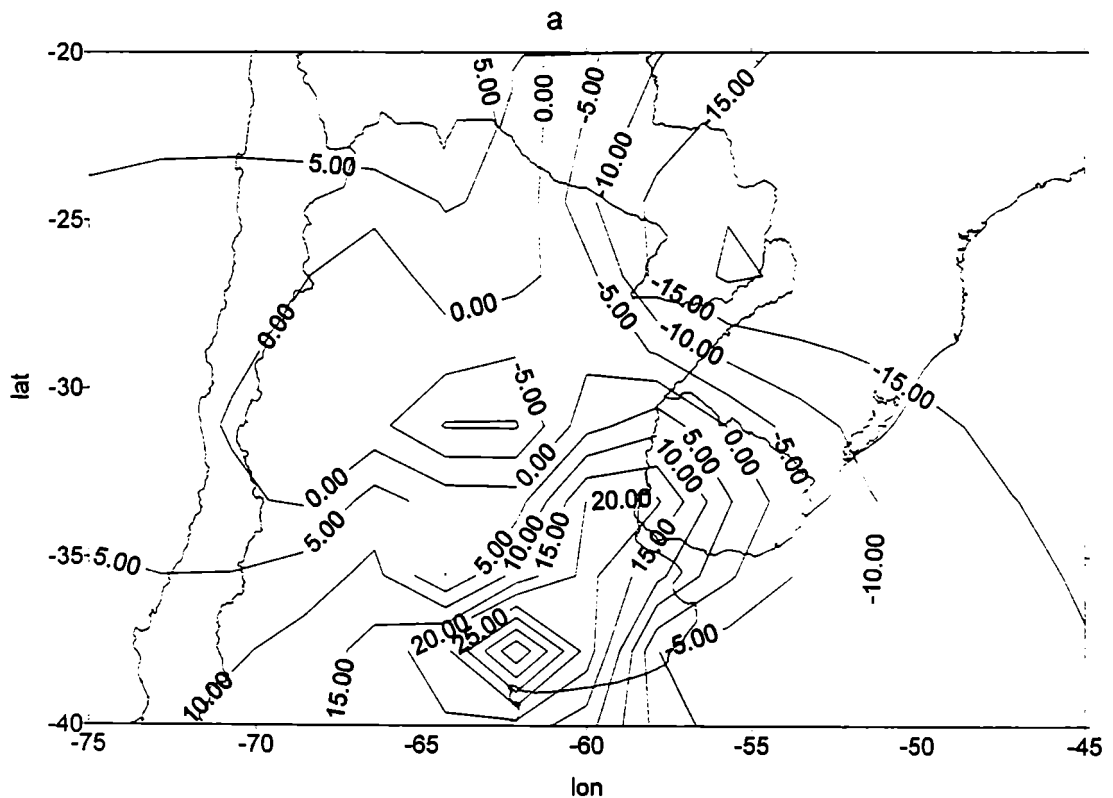


Figura 87: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b), y en sep3 (c) de 1979.

Las figura 88 muestra lo mismo para los tres períodos de septiembre de 1982. Las máximas anomalías positivas se observan en sep2 en el este de la región y en sep3 con el máximo desplazado hacia el oeste.



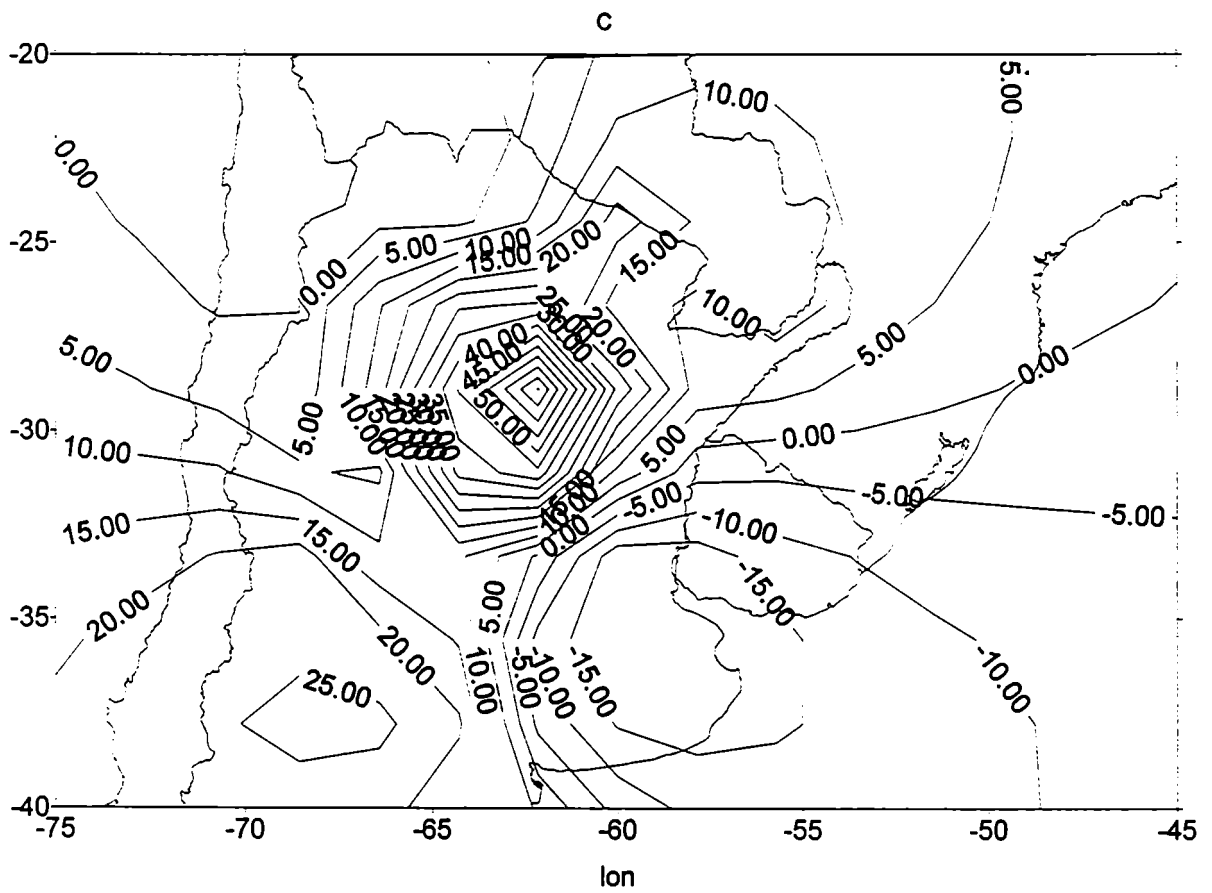
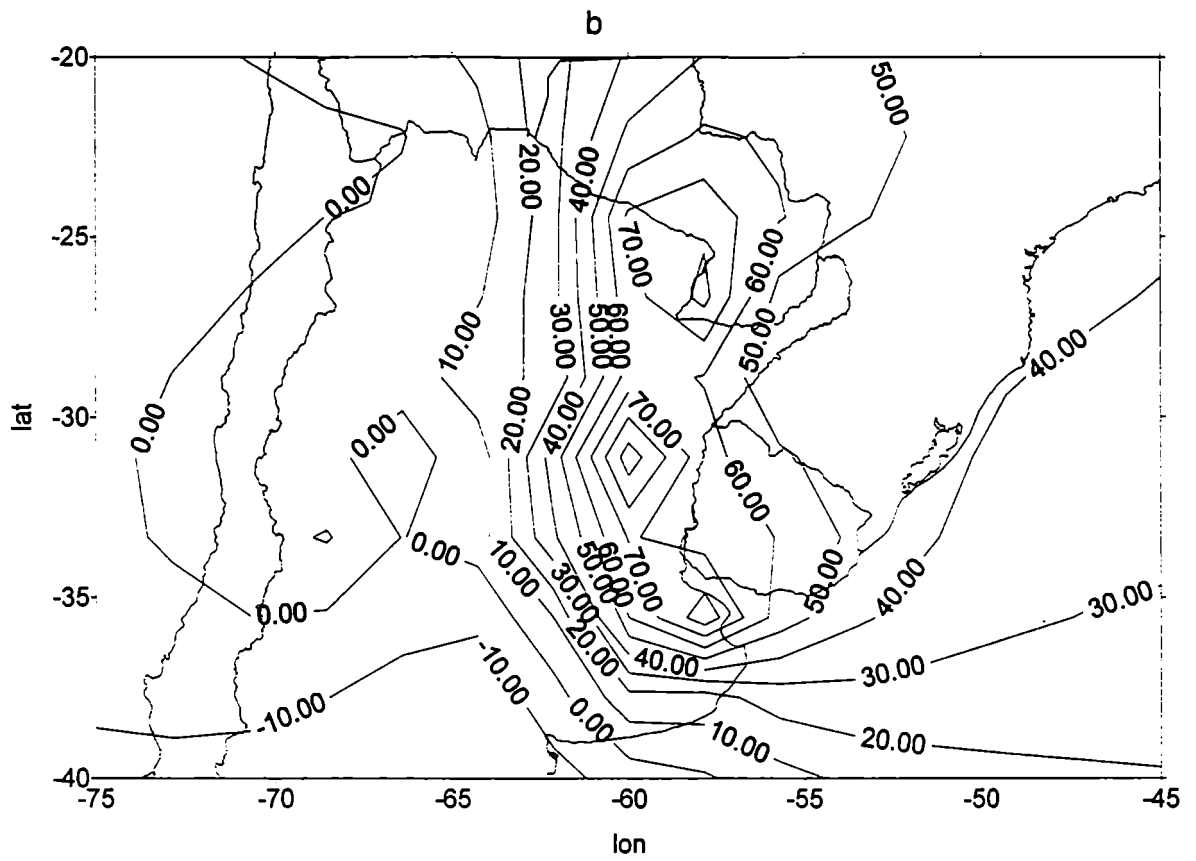
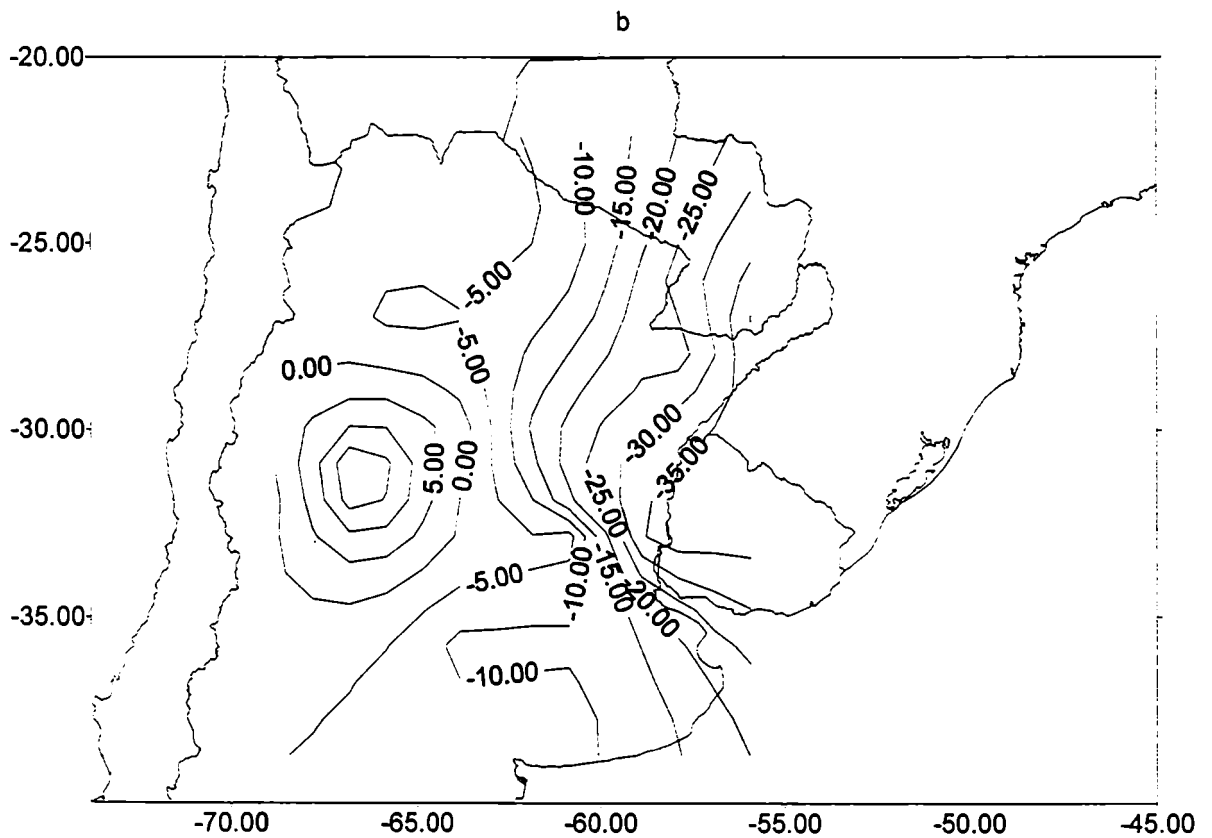
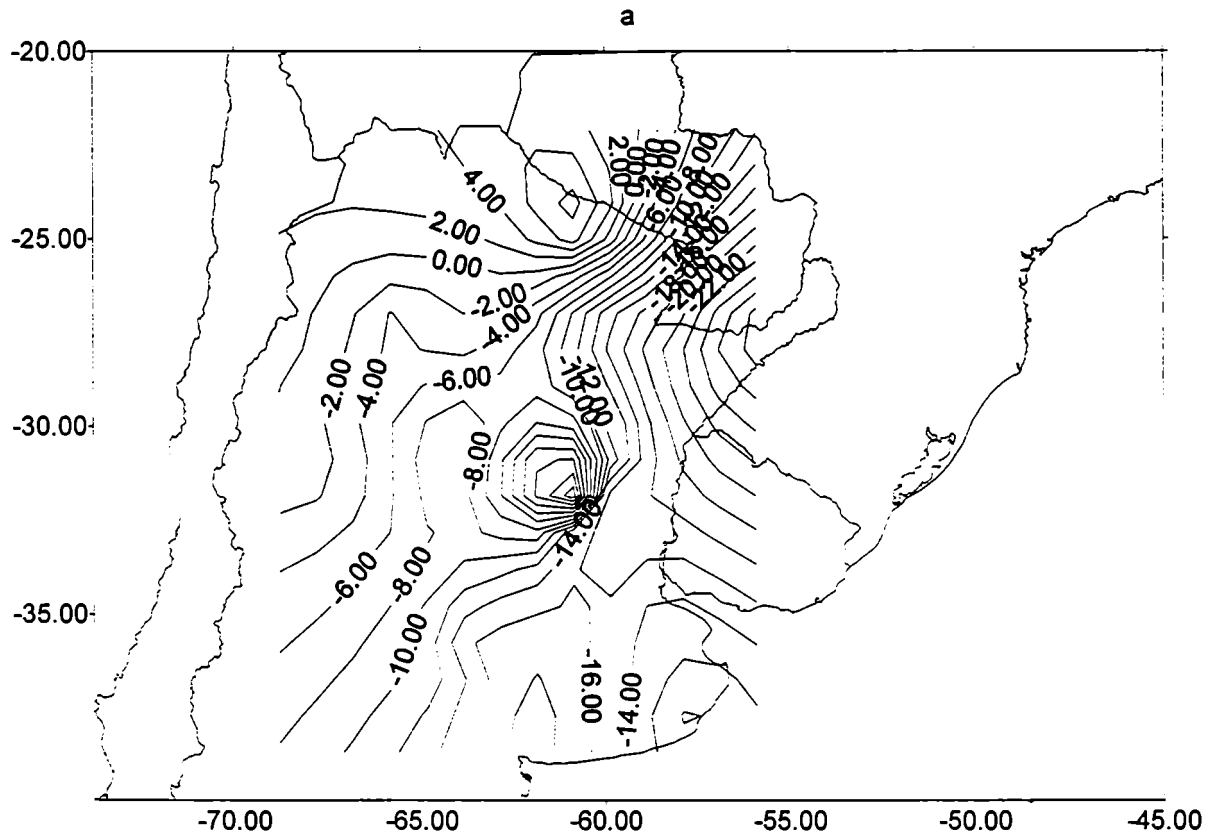


Figura 88: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1982.

La figura 89 muestra lo mismo para el año 1983. No se observan anomalías positivas importantes en estos campos salvo en sep3 al oeste del río Uruguay y en la región este de Buenos Aires.



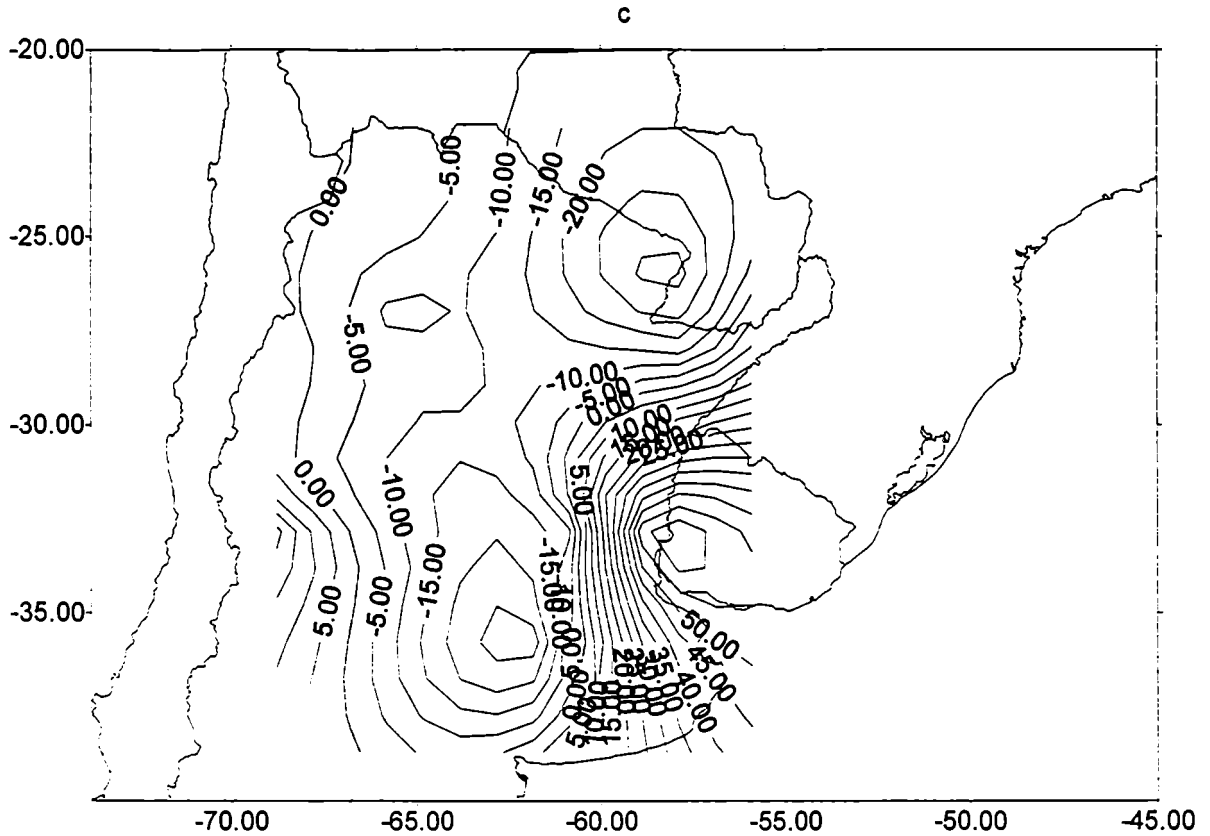
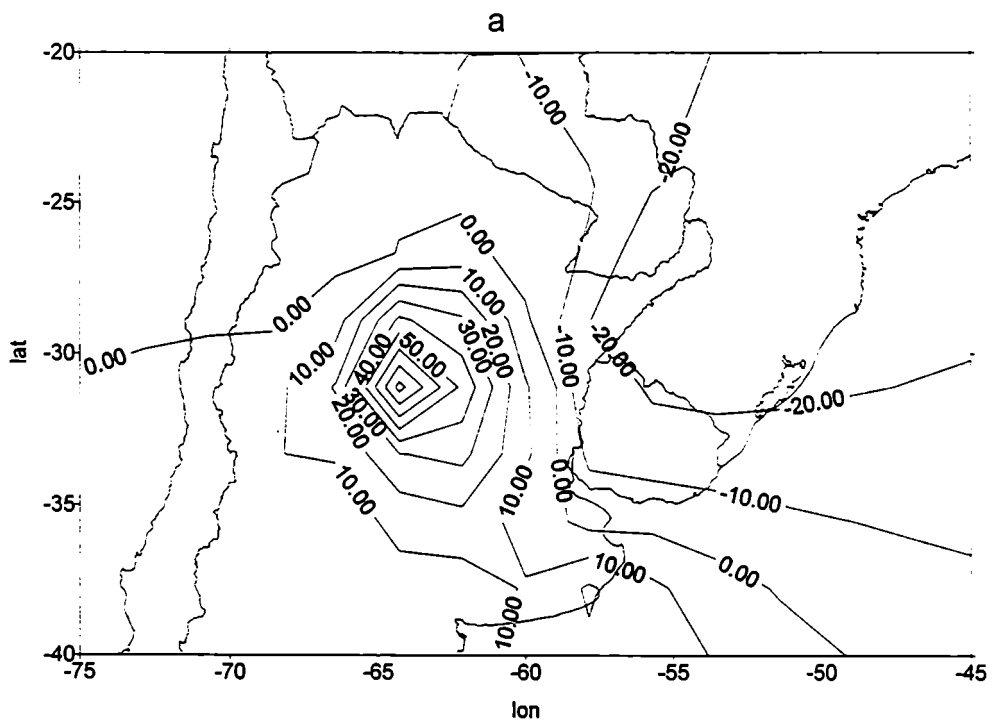


Figura 89: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1983.

La figura 90 muestra lo mismo para los tres periodos de septiembre de 1984. En todos ellos se observan anomalías positivas de lluvia en el centro del país, en los dos primeros casos extendiéndose hacia el sur y en el tercero hacia el noreste.



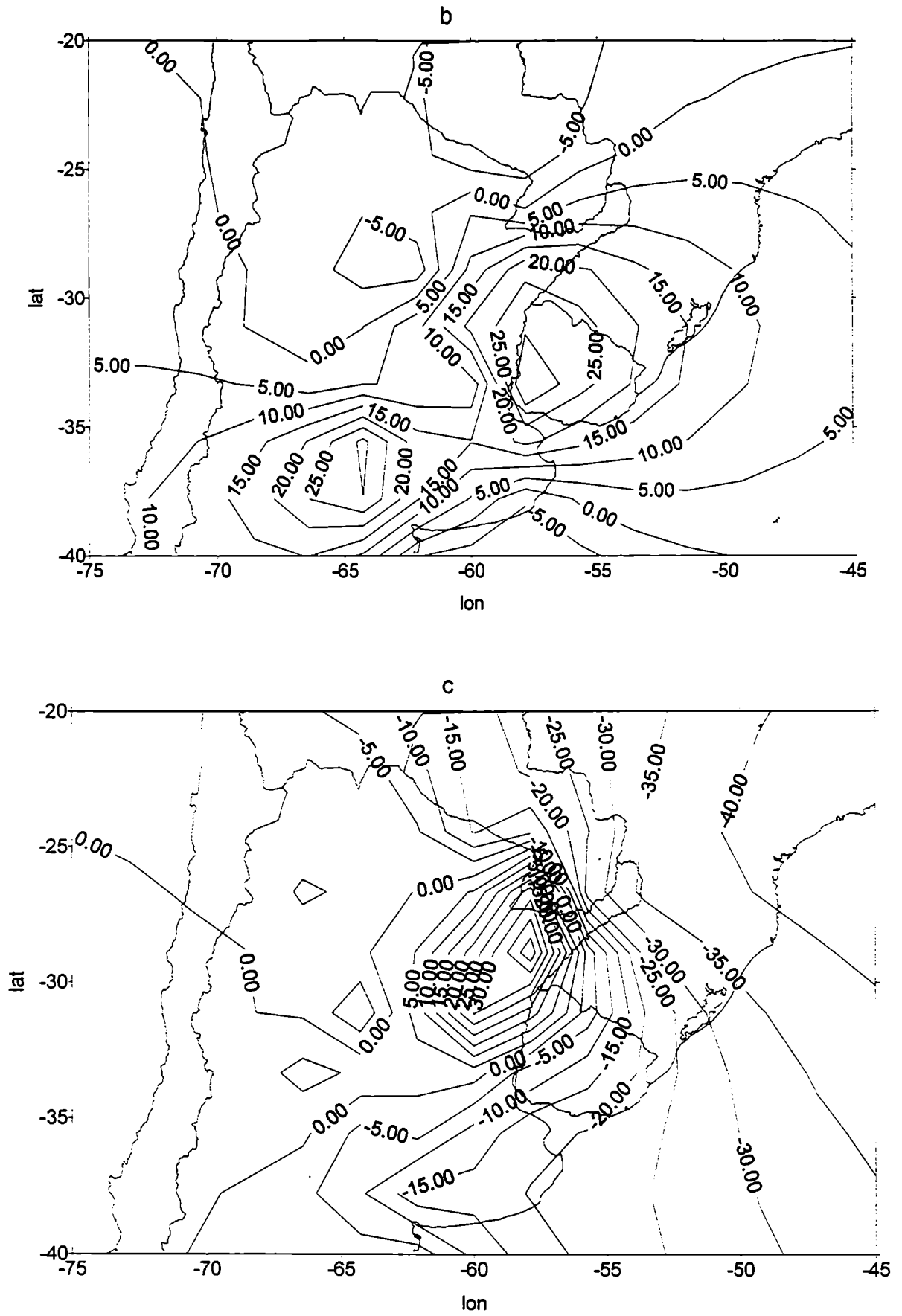
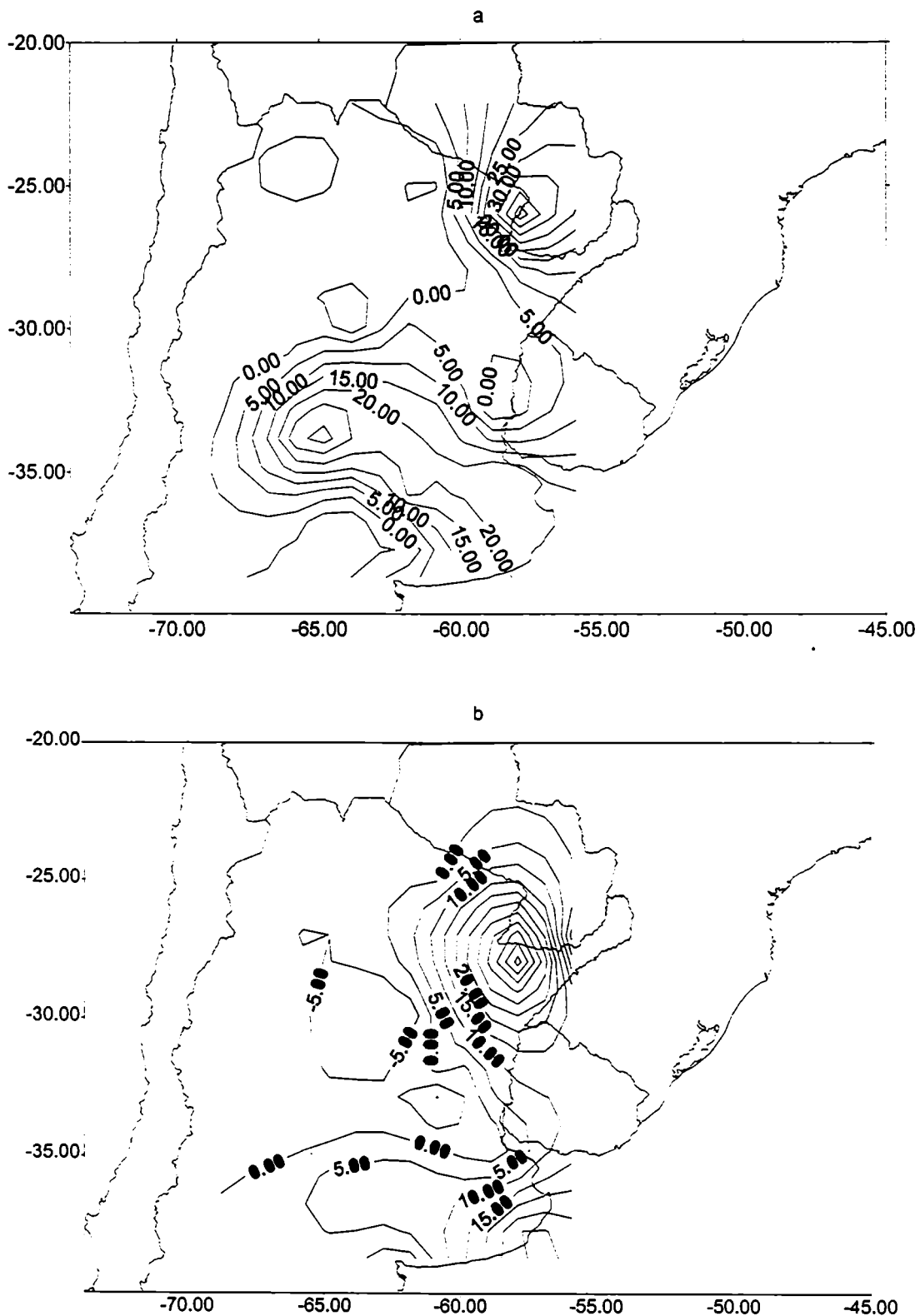


Figura 90: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1984.

La figura 91 muestra las anomalías de lluvia para los 3 períodos de septiembre en 1985. Pueden observarse anomalías positivas en el este del área de estudio en cualquiera de los tres períodos. En sep3 el máximo se desplaza hacia el oeste, respecto del observado en sep2.



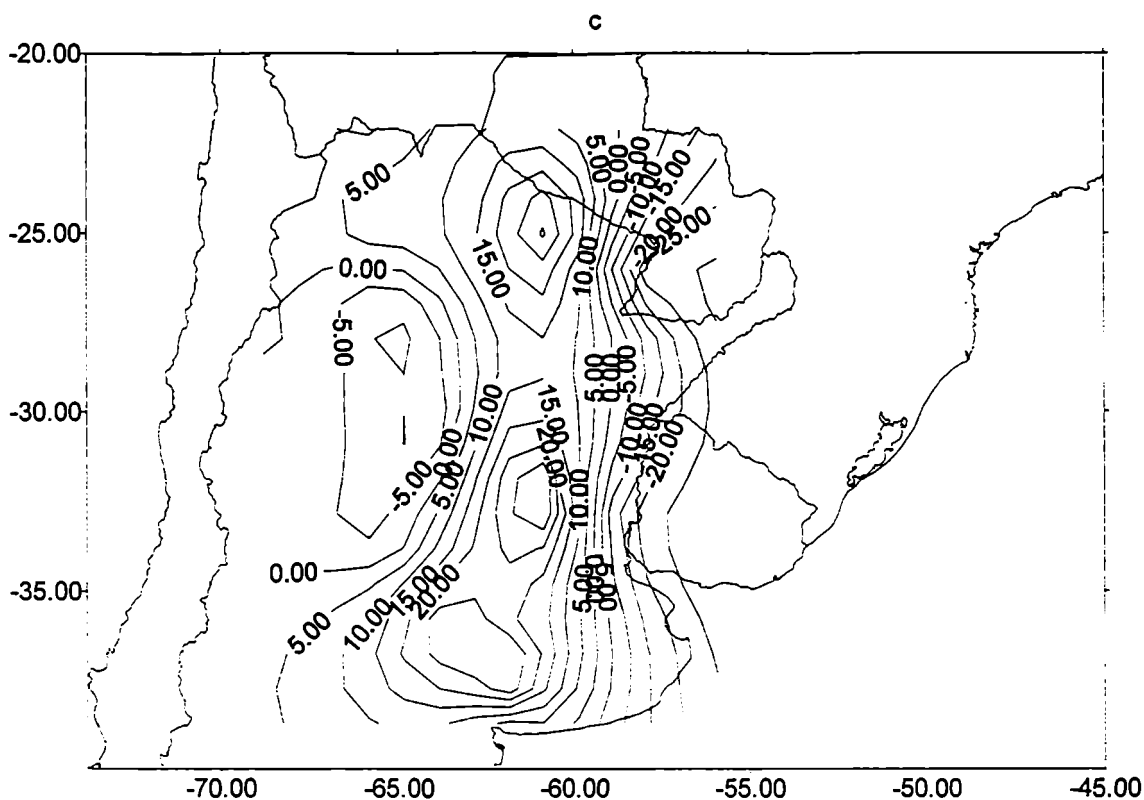
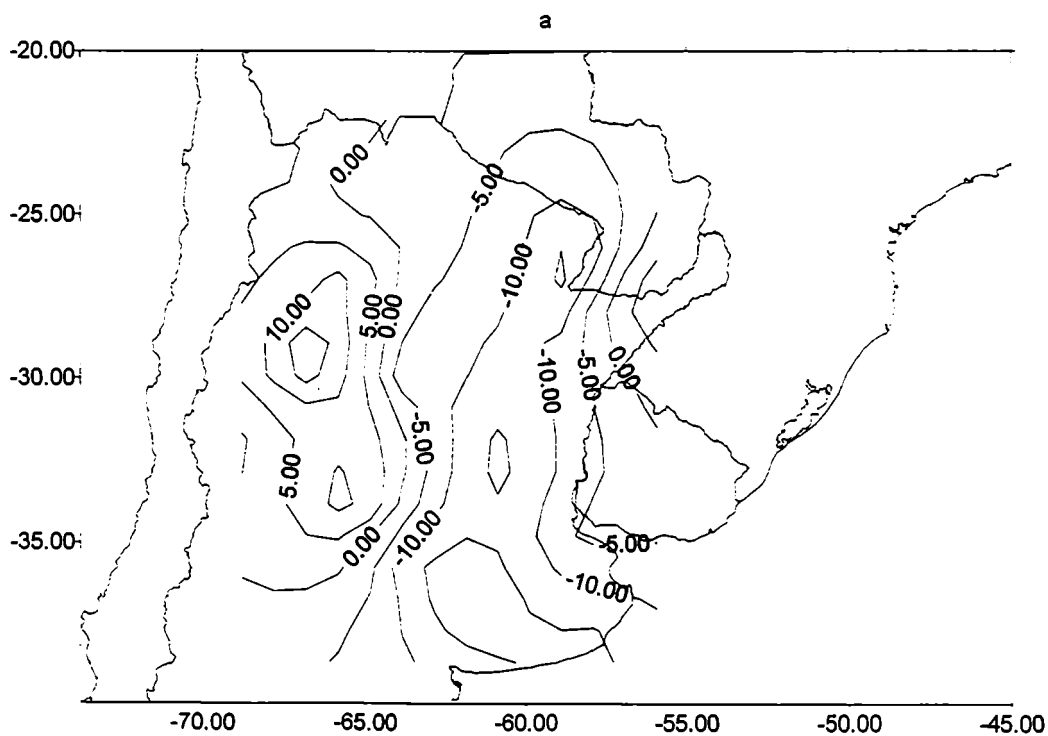


Figura 91: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1985.

La figura 92 muestra las anomalías de lluvia para los 3 períodos de septiembre en 1976. Pueden observarse anomalías negativas en el este del área de estudio. El área abarcada por las anomalías negativas domina toda la región en sep2 y se desplaza hacia el noreste en sep3.



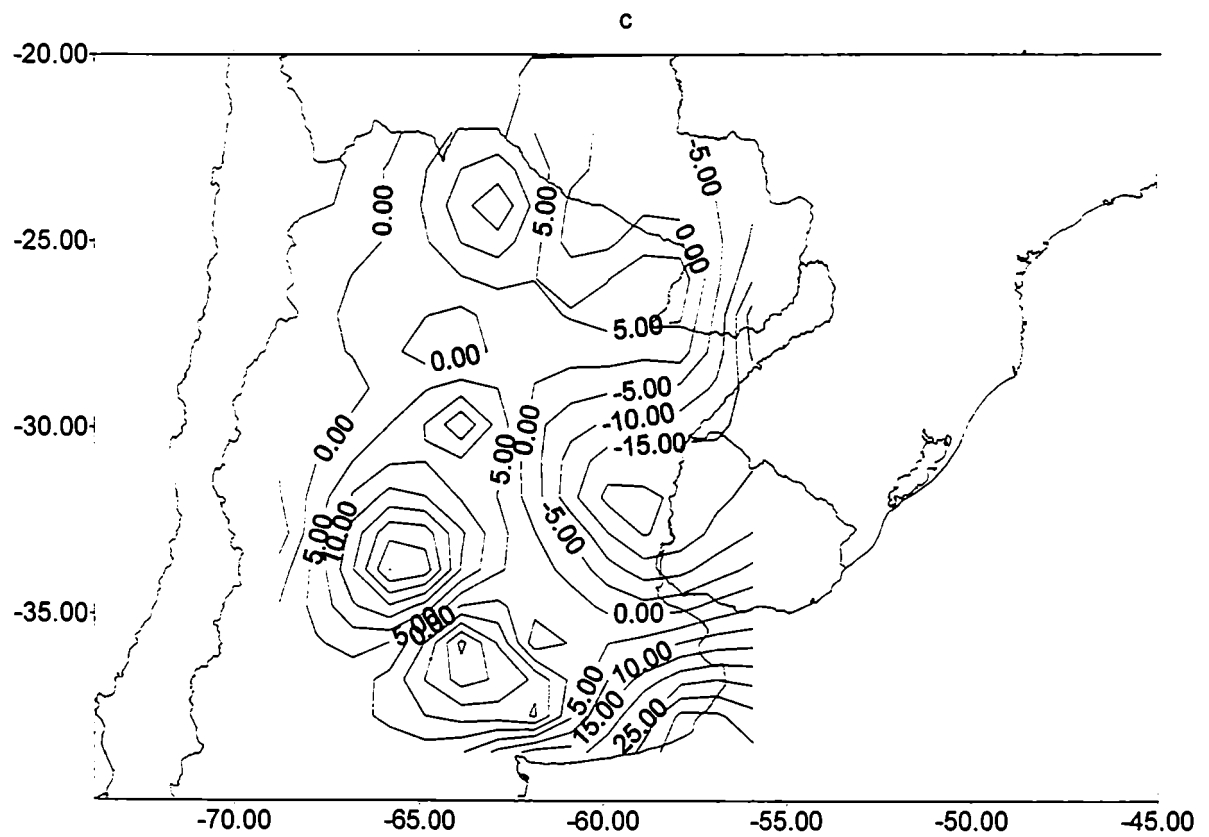
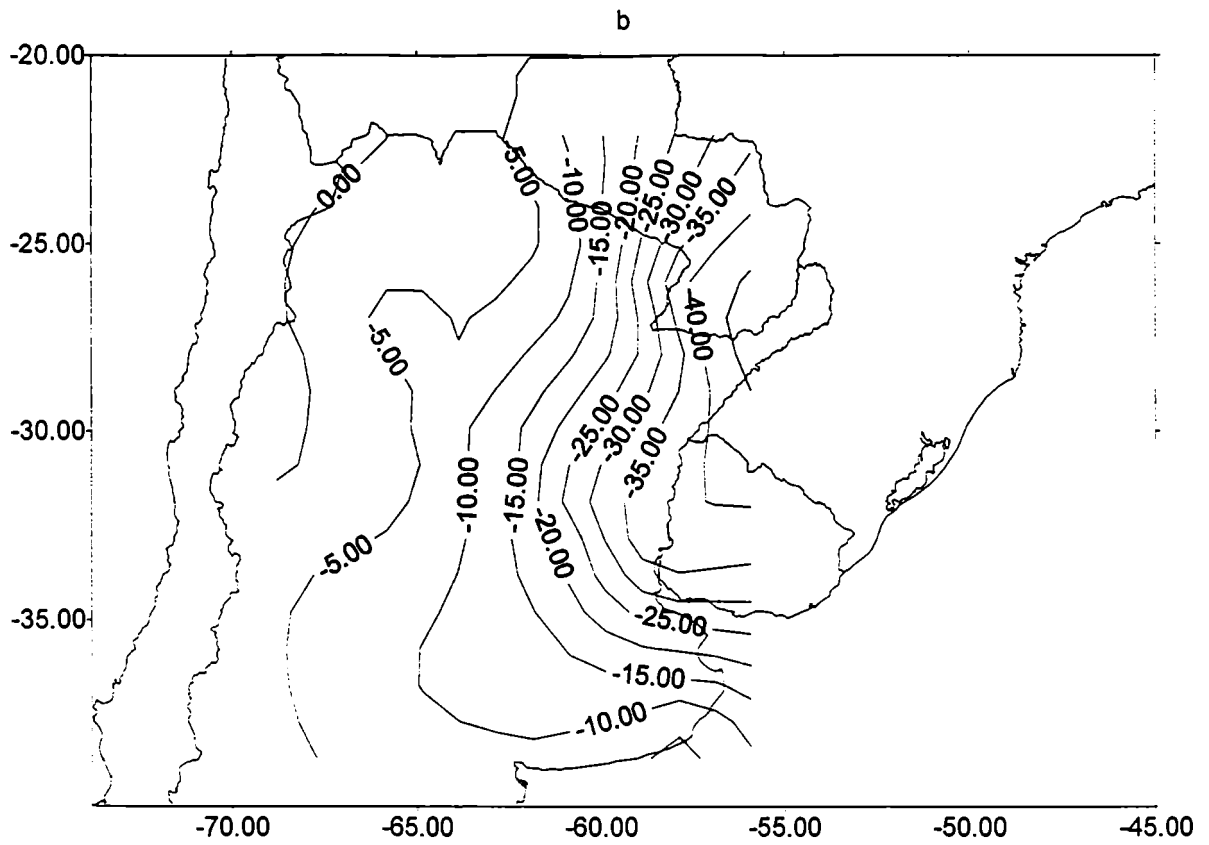
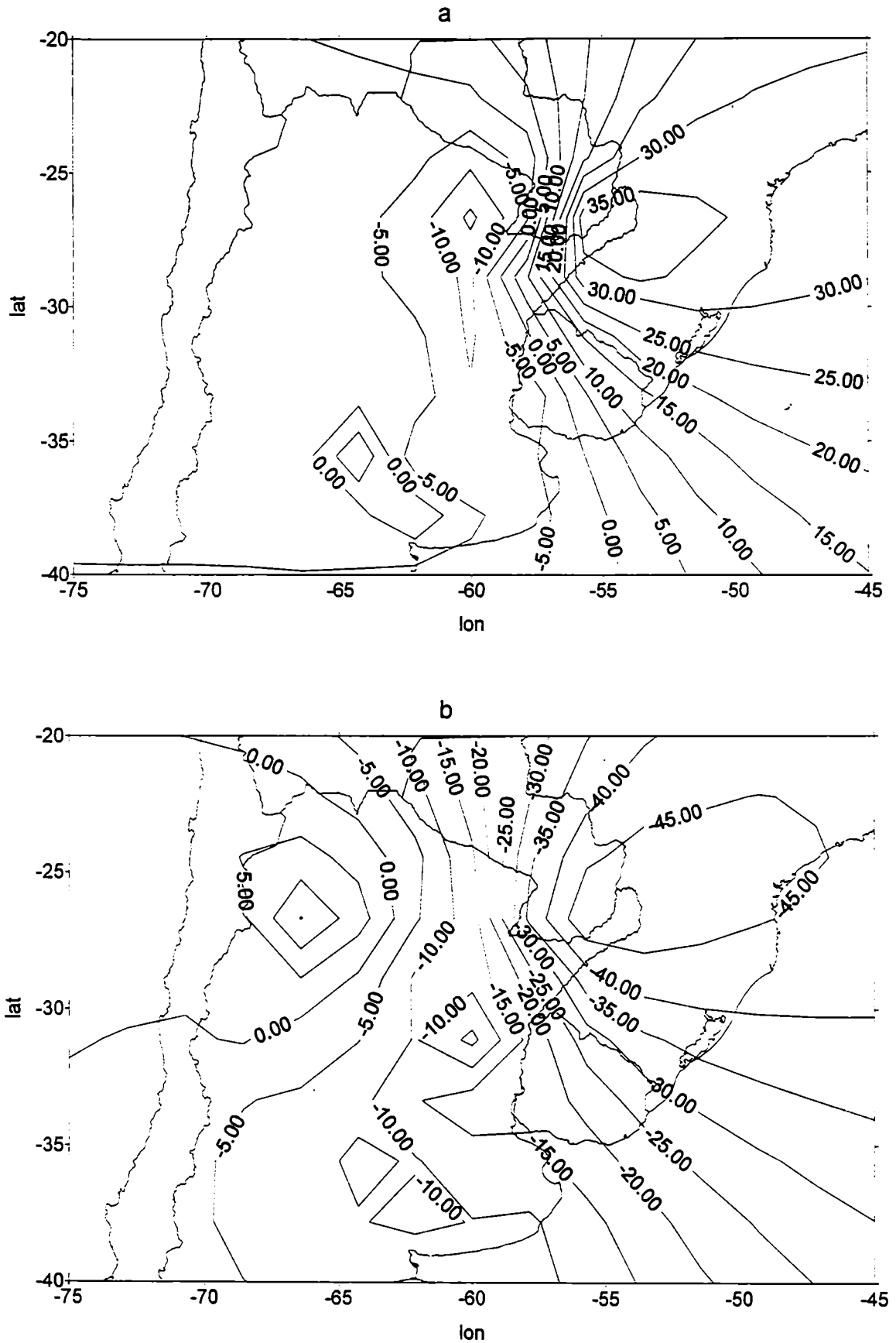


Figura 92: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1976.

La figura 93 muestra lo mismo para 1987. En sep2 las anomalías negativas cubren casi la totalidad del área excepto el noroeste y en sep3 el centro de máxima anomalía negativa se corre hacia el oeste.



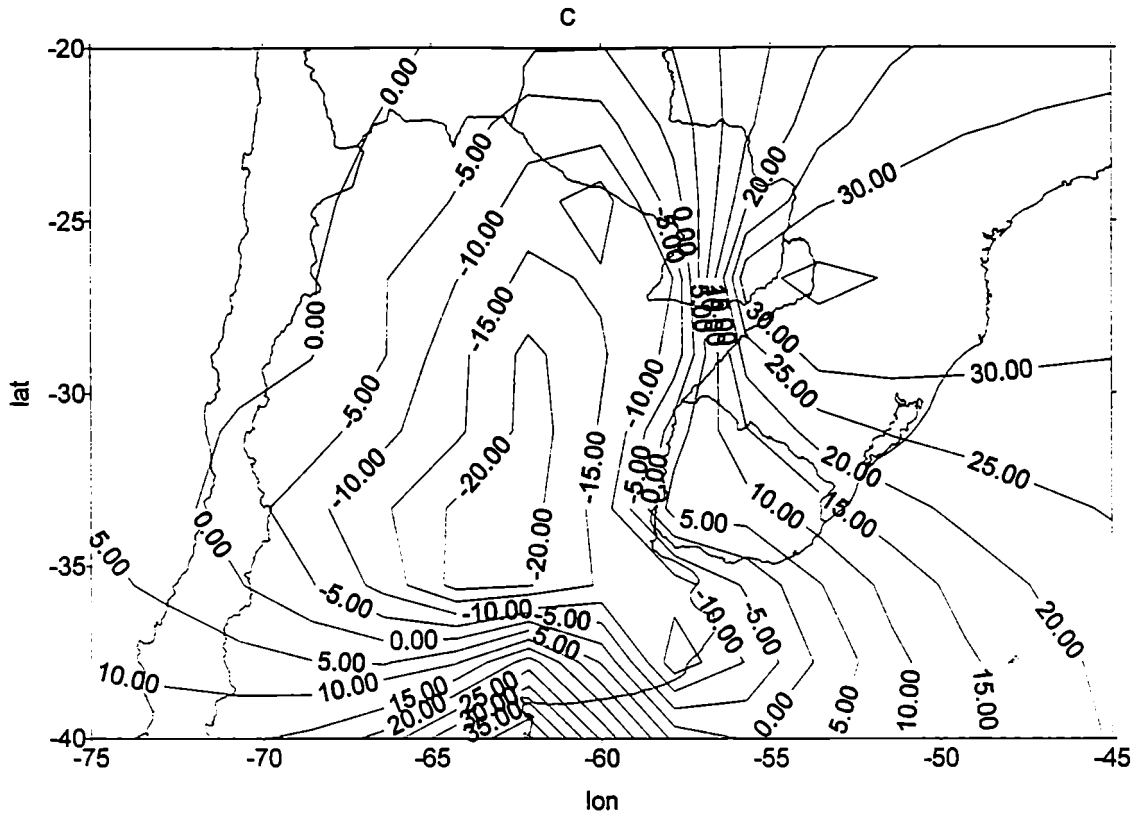
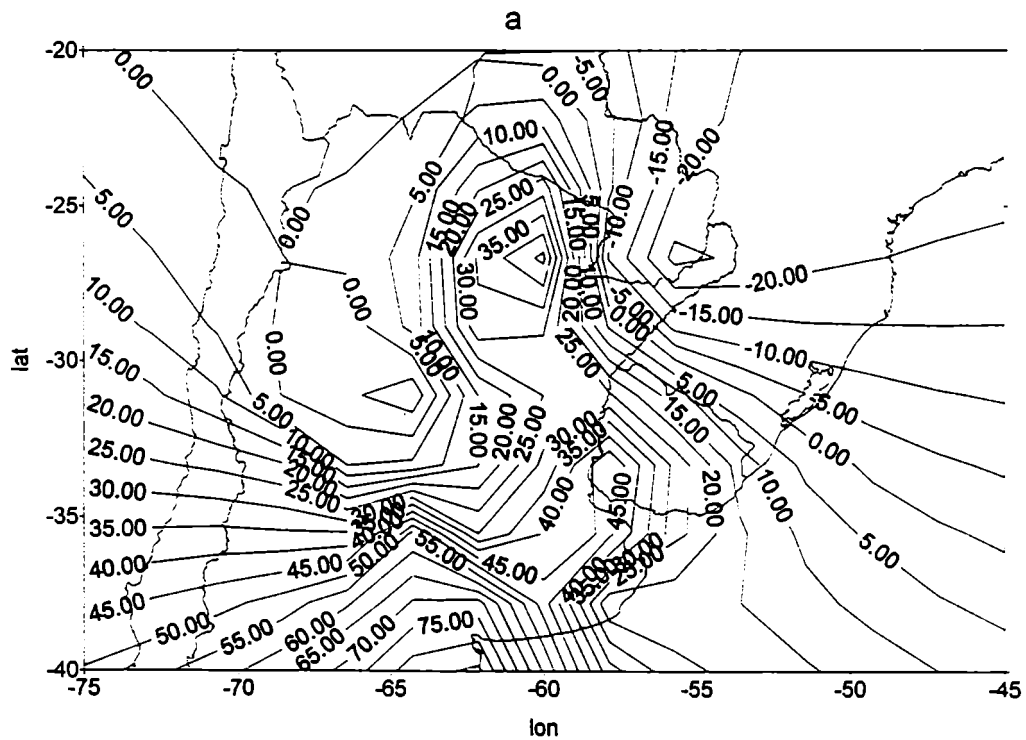


Figura 93: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1987.

La figura 94 muestra el caso de 1991. Las anomalías negativas no aparecen claramente en los primeros 10 días de septiembre pero en los otros dos periodos abarcan casi toda el área y su posición parece mantenerse entre sep2 y sep3.



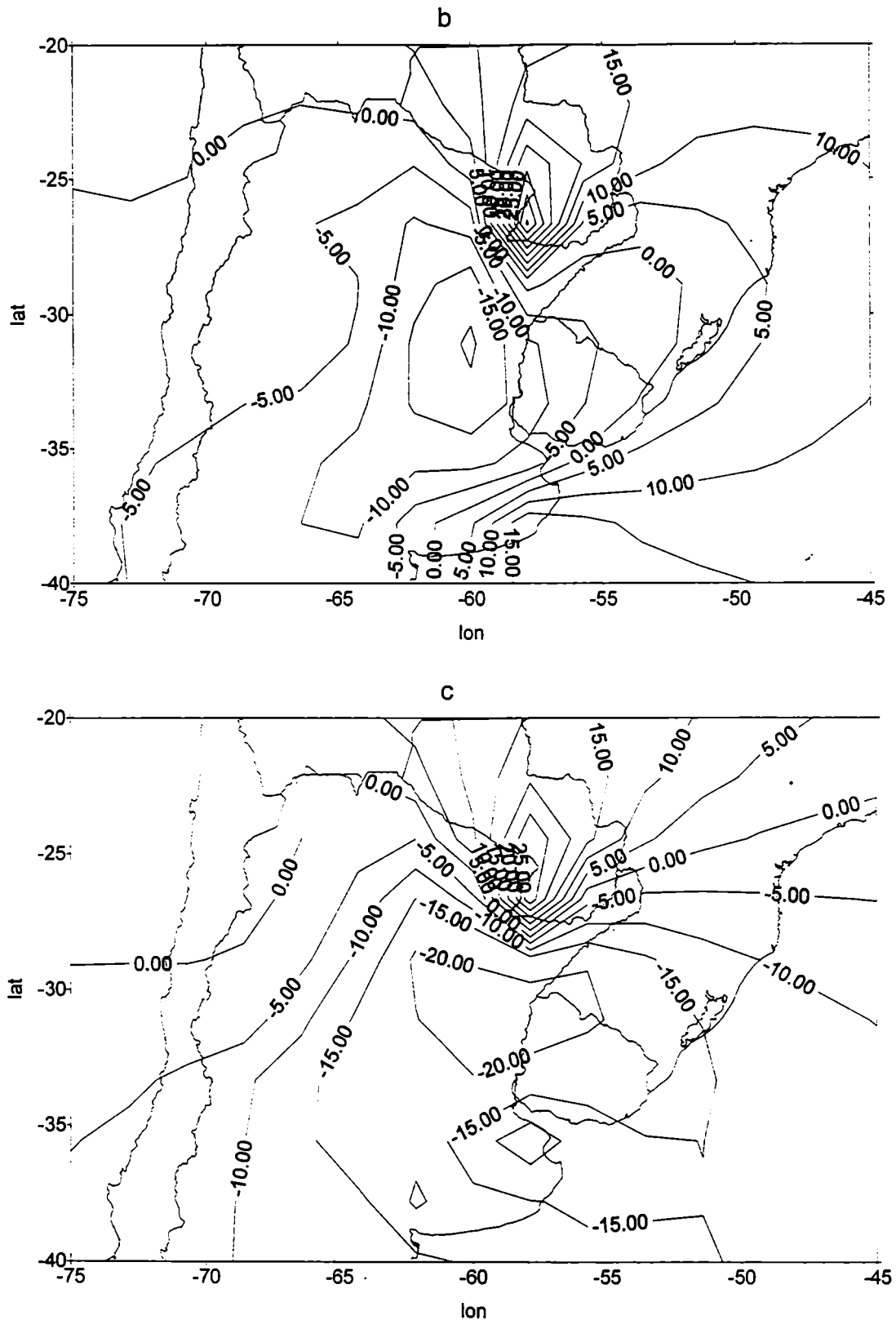


Figura 94: Campos de anomalías de precipitación (en mm) en sep1 (a), sep2 (b) y sep3 (c) de 1991.

El análisis de los casos individuales muestra que, si bien existe variabilidad espacial entre distintos años, las máximas anomalías de lluvia tienden a producirse en la región central-este del país y que son mayores en sep2 y en sep3 que en sep1.

3.4. Relación entre las anomalías de onset de la convección con algunas otras variables.

A continuación se analiza la relación entre el adelanto y/o atraso del monzón americano con algunas variables definidas anteriormente:

- a) con la fecha climatológica de la ruptura del período seco invernal, obtenida al comienzo de la tercera parte de este trabajo
- b) con los valores de precipitación de agosto y de septiembre
- c) con las áreas convectivas definidas en el ítem 2 de la tercera parte de este trabajo para el mes de agosto.

a) Relación entre el adelanto y/o atraso del ingreso de la convección al hemisferio sur con la fecha climatológica de la ruptura del período seco invernal

Como una medida de la influencia producida por la convección en la fecha de ruptura de la sequía invernal, se consideró el porcentaje de casos en que habiéndose registrado un adelanto en el ingreso de la convección al HS superior a 6 días (años 1979, 1982, 1983, 1984 y 1985), existió al menos un período de 10 días anterior a la ruptura de la sequía cuya precipitación acumulada supere el valor $(X+\sigma)$, donde X es el valor medio de precipitación acumulada para el período de 10 días considerado y σ es su desvío standard. Se estableció como fecha de ruptura de la sequía al comienzo del período húmedo en caso que éste exista y el final del seco en los casos en que no se haya podido definir un período húmedo. Los resultados se muestran en la figura 95, donde puede observarse que la sequía invernal terminó antes de lo esperado un porcentaje alto de los años en que se produjo un adelanto en el ingreso de la convección, en la zona este del área de estudio. Esto muestra la importante influencia de la convección en el comienzo de la época con precipitación en ese área.

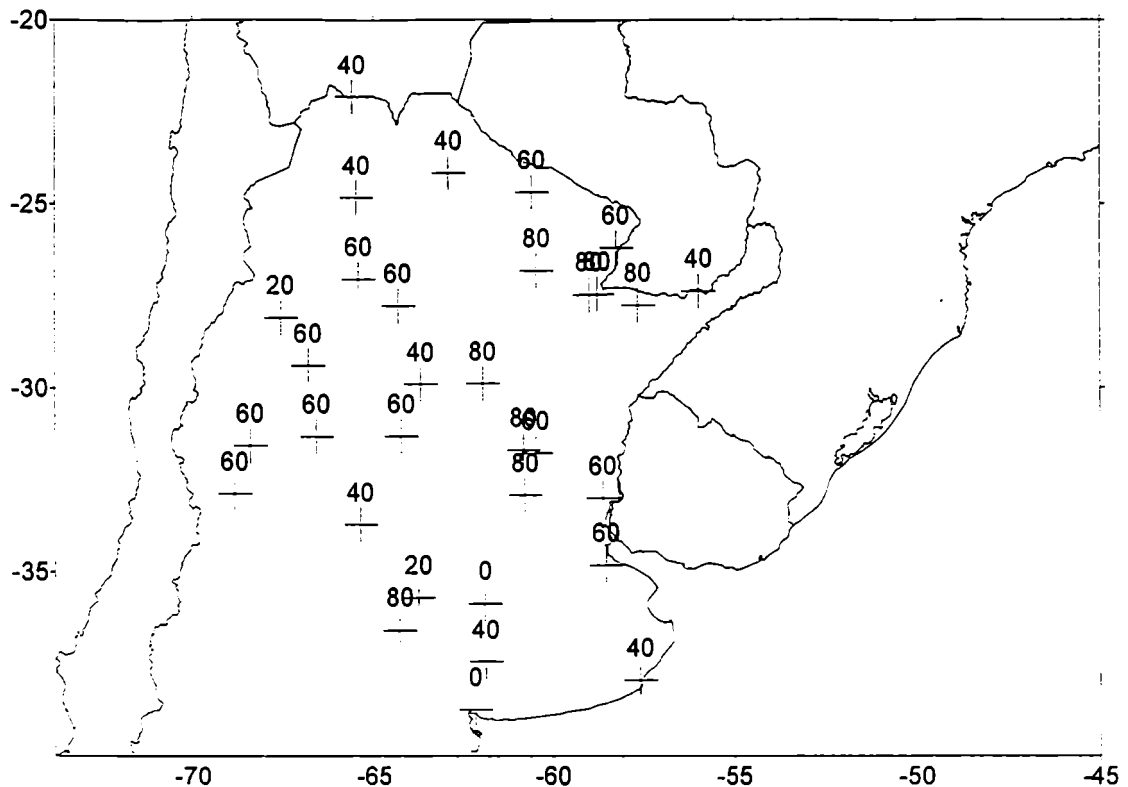


Figura 95: Porcentaje de los casos en que, habiéndose registrado un adelanto en el ingreso de la convección al HS, se observó una fecha de ruptura de la sequía anterior a la esperada.

b. Relación entre el adelanto y/o atraso en el ingreso de la convección al hemisferio sur y la cantidad de precipitación en agosto y septiembre

Se utilizaron datos de precipitación acumulada en el mes de septiembre en las estaciones argentinas con las que se ha trabajado hasta el momento durante el período 1965-1991. Este período ha sido seleccionado pues anteriormente se han detectado tendencias significativas en las lluvias de esta región (Castañeda y Barros, 1994).

Estos datos fueron utilizados para clasificar la lluvia del mes de septiembre en cada una de las estaciones en 5 categorías diferentes en función del total acumulado mensual:

- MB (muy baja): la precipitación es menor que el valor por debajo del cual caen el 20% de los datos
- B (baja): la precipitación se encuentra entre los valores donde caen entre el 20 y el 40% de los datos
- N (normal): la precipitación se encuentra entre los valores donde caen entre el 40 y el 60% de los datos
- A (alta): la precipitación se encuentra entre los valores donde caen entre el 60 y el 80% de los datos
- MA (muy alta): la precipitación es mayor que el valor por encima del cual caen el 20% de los datos

La figura 96a muestra el porcentaje de los casos con adelanto convectivo que han presentado precipitaciones en septiembre categorizadas como MA o A y la figura 96b muestra el porcentaje de los casos con atraso convectivo cuyas lluvias en septiembre se categorizaron como B o MB. Se puede observar la buena respuesta que presenta la zona central y este de Argentina a los adelantos o atrasos convectivos en septiembre, mostrando que el mayor porcentaje de las veces que hay adelanto (atraso) en el ingreso de la convección las lluvias de septiembre son categorizadas como A o MA (B o MB). Con el fin de detectar en que medida un adelanto o atraso convectivo no está relacionado con la cantidad de lluvia caída en septiembre se calculó el porcentaje de años en que habiendo un adelanto (atraso) en el ingreso de la convección se registraron precipitaciones B o MB en septiembre (A o MA) y los resultados se muestran en la figura 97a (figura 97b). Se puede observar cómo el área central y este de la región estudiada tiene mínimo porcentaje de fracasos, en el sentido de que muy raramente un adelanto (atraso) en la convección está asociado a precipitaciones bajas (altas). Se puede observar cómo la zona centrada en (32°S, 60°O) presenta el máximo porcentaje de aciertos y el mínimo de fracasos, manifestando nuevamente que es el área con mayor respuesta a la convección.

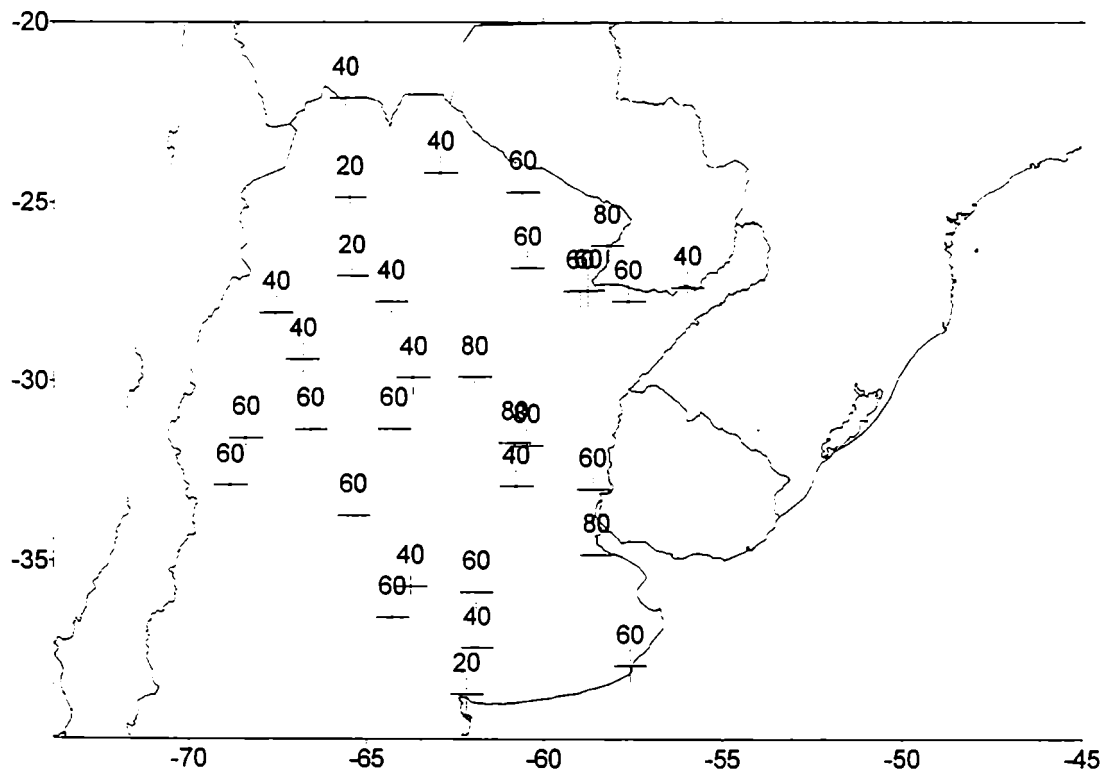


Figura 96a: Porcentaje de los casos con adelanto convectivo que han presentado precipitaciones en septiembre categorizadas como MA o A

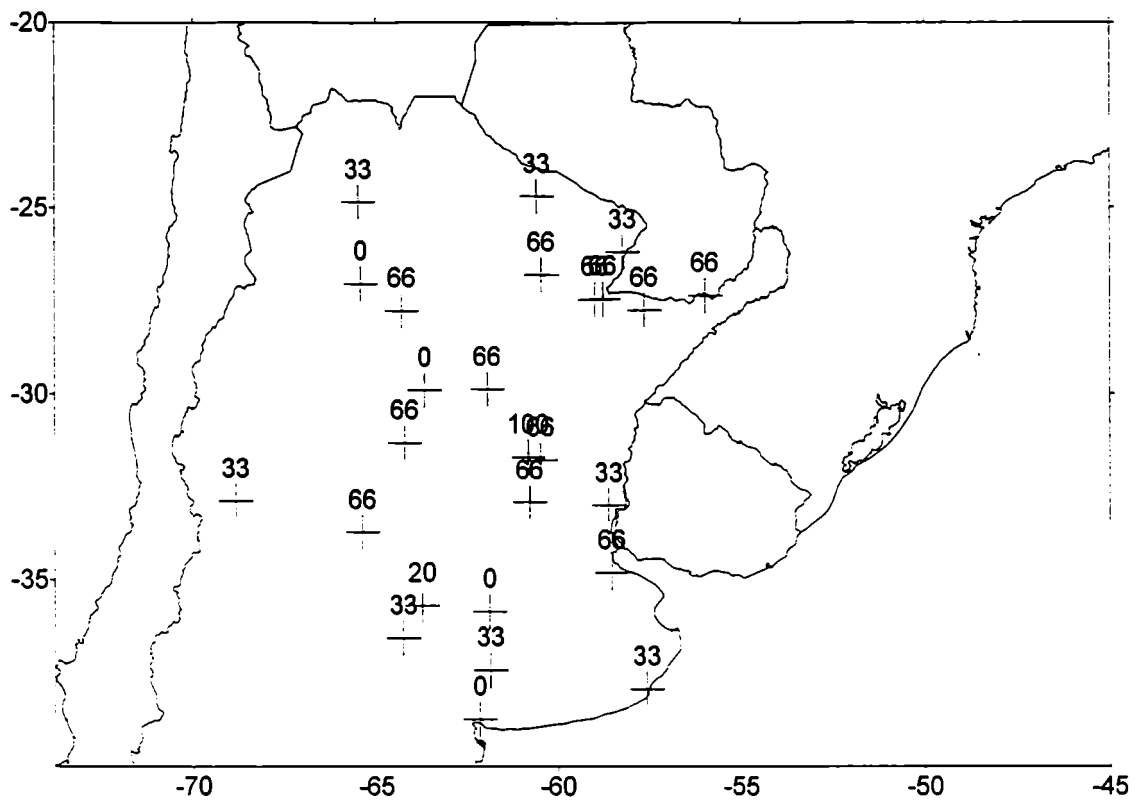


Figura 96b: Porcentaje de los casos con atraso convectivo que han presentado precipitaciones en septiembre categorizadas como MB o B

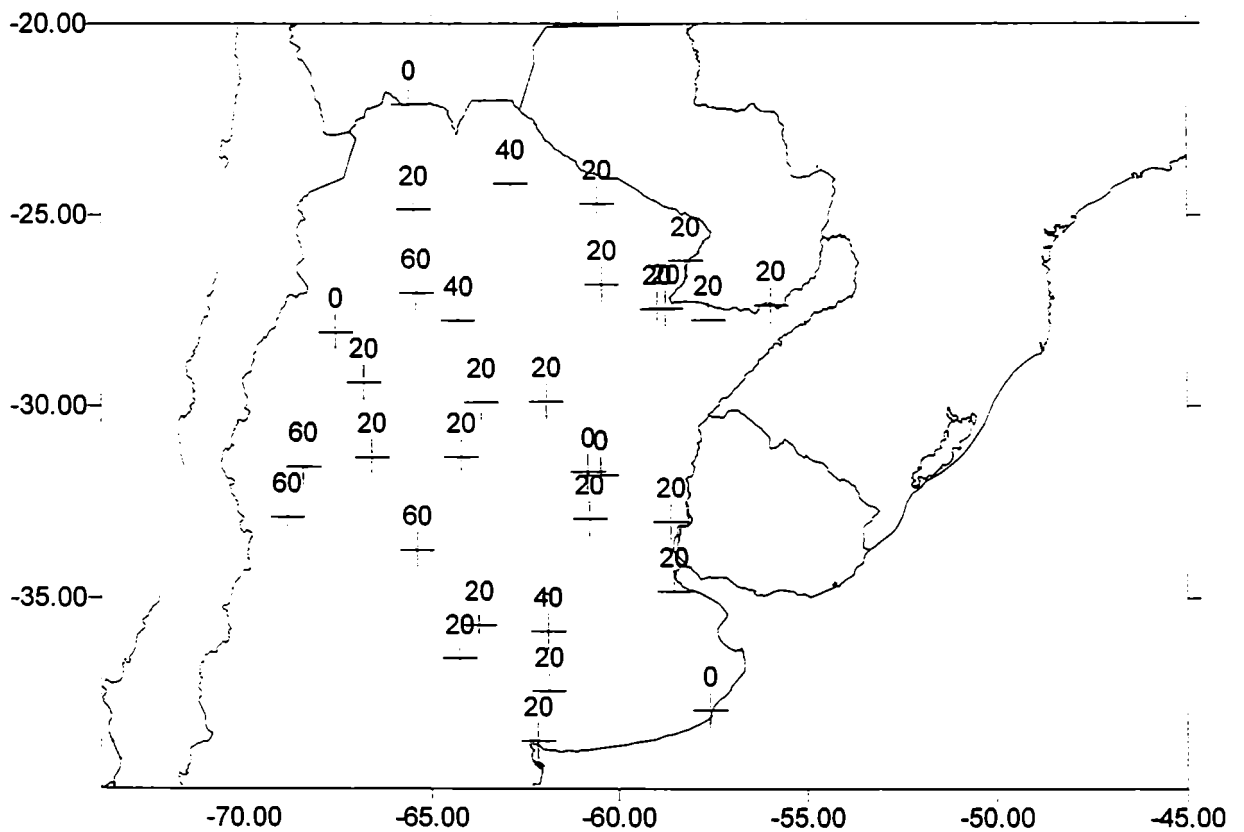


Figura 97a: Porcentaje de los casos con adelanto convectivo que han presentado precipitaciones en septiembre categorizadas como MB o B.

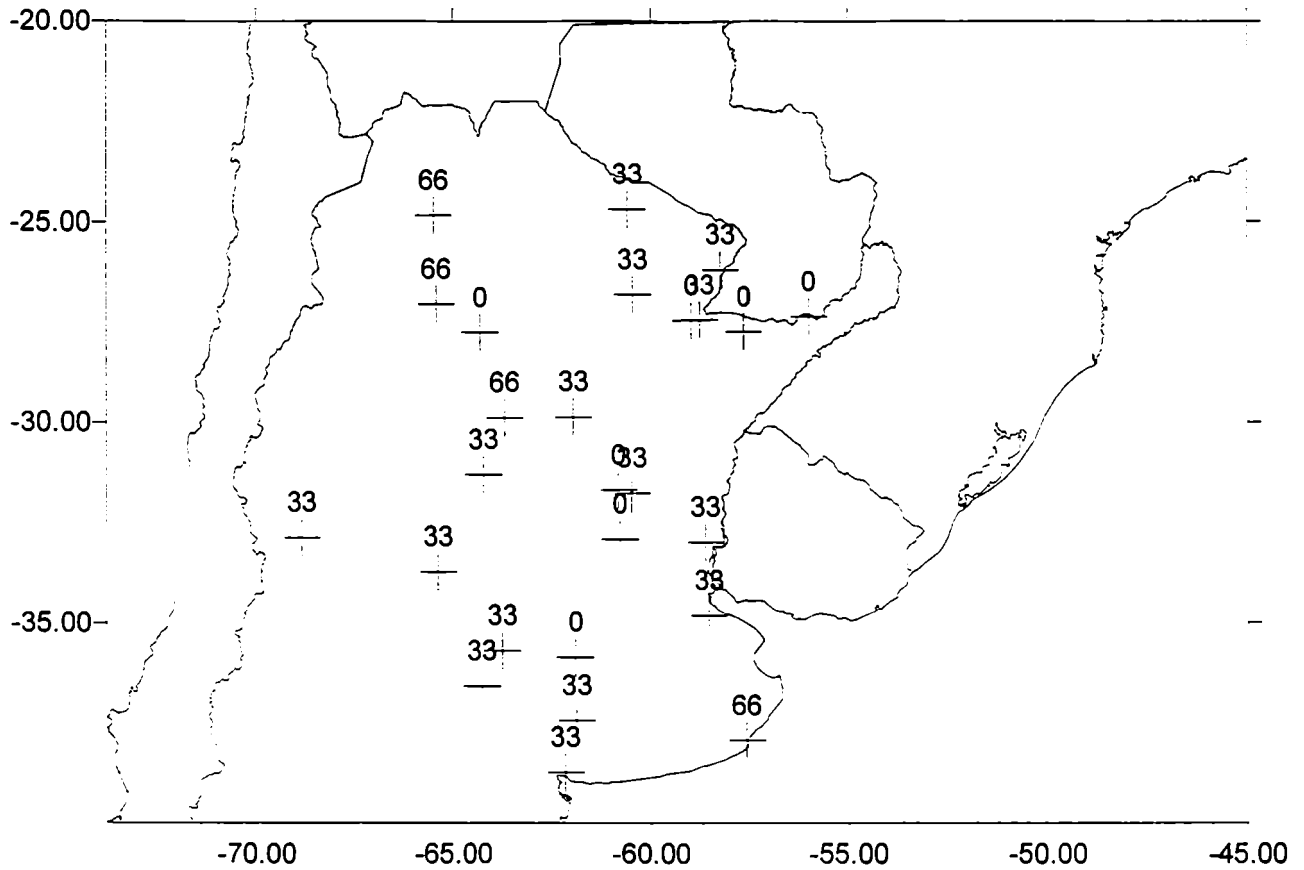


Figura 97b: Porcentaje de los casos con atraso convectivo que han presentado precipitaciones en septiembre categorizadas como MA o A.

Se ha realizado el mismo procedimiento con la precipitación de agosto. Como climatológicamente la entrada de la convección en el área considerada (entre 0° y 15°S y entre 45° y 75°W) se produce en la péntada 53 (del 18 al 22 de septiembre) solo tiene sentido considerar los casos de adelanto convectivo. La figura 98 muestra el porcentaje de los años con adelanto convectivo superior a 6 días que coinciden con precipitaciones en agosto que fueron categorizadas como A o MA. Puede observarse un predominio de la influencia de este efecto sobre la región norte del país y algunas estaciones del centro (Rosario y Córdoba) y del noreste (Posadas y General Paz). Esto indica que en un alto porcentaje de casos un adelanto en el ingreso de la convección podría generar un aumento de la cantidad de lluvia caída aún en agosto.

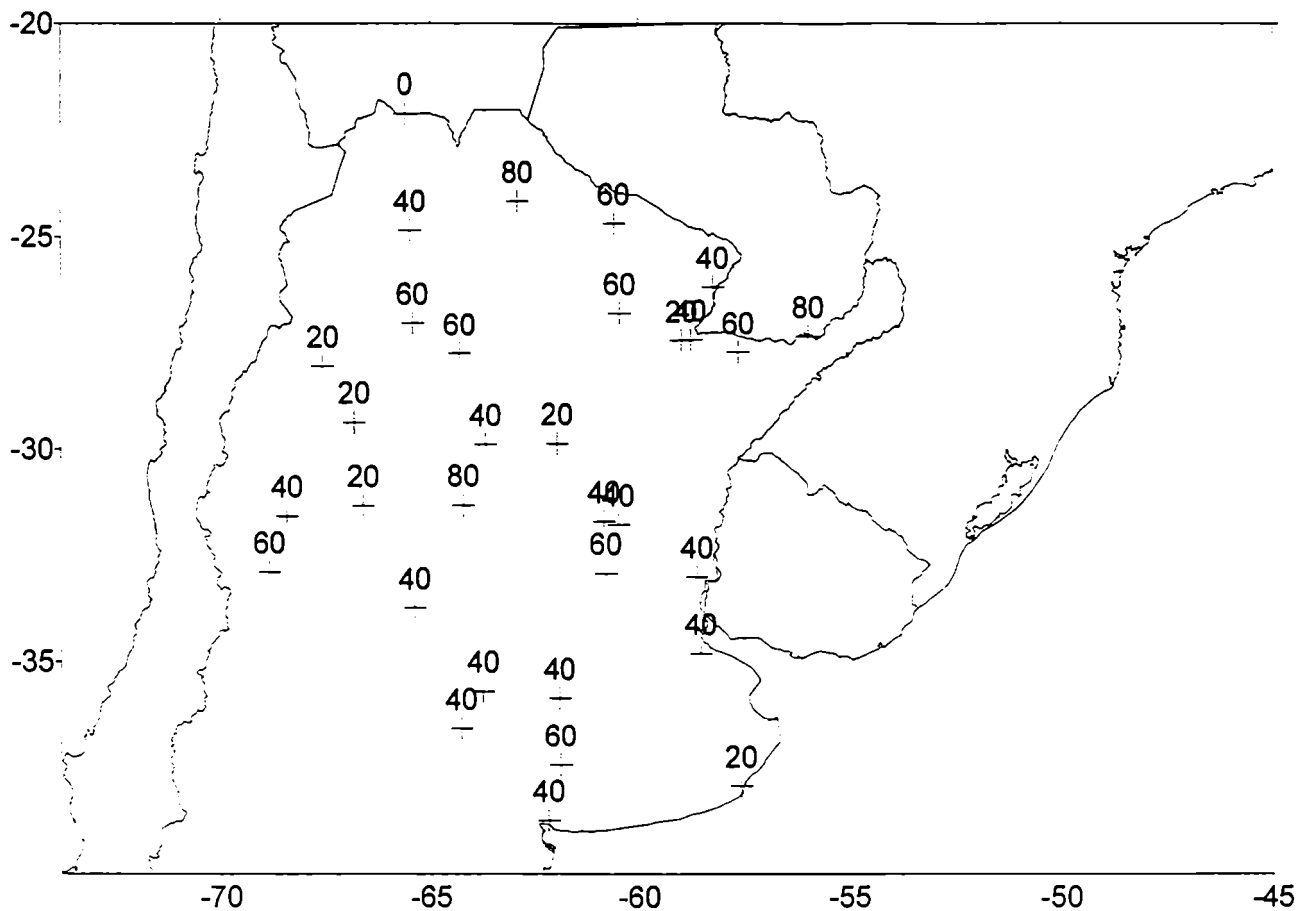


Figura 98: Porcentaje de los casos con adelanto convectivo que han presentado precipitaciones en agosto categorizadas como MA o A

c. Relación entre los atrasos y adelantos en el ingreso de la convección al hemisferio sur y las áreas abarcadas por la convección en agosto.

Es importante establecer si un posible adelanto o atraso en el ingreso de la convección al HS, puede ser anticipado a través de las características observadas en el mes de agosto. Climatológicamente el ingreso de la convección al HS, según la definición de onset que se ha utilizado en este trabajo y según se comentó anteriormente, se produce en la péntada 53 que equivale al período desde el 18 al 22 de septiembre.

Se calcularon las áreas climatológicas A220 y A240 definidas anteriormente, esto es, el promedio que ellas ocupan en cada péntada para el período 1975-91 (TABLA XIII) y se calcularon las anomalías en cada péntada de cada año respecto de ellas (AN22 y AN24). Como los adelantos o atrasos observados nunca superaron los 20 días, se consideró el promedio de las AN22 y AN24 en las últimas 3 péntadas de agosto (péntadas 47, 48 y 49, que corresponden al período desde el 19 de agosto al 2 de septiembre), arrojando los valores de la TABLA XIV

TABLA XIII: Valores climatológicos de las áreas abarcadas por puntos con valor de OLR menor que 240 y 220 watt/km², para el período 1975-91 (en número de puntos de reticulado) en las péntadas correspondientes a los meses de agosto y septiembre.

PENTADA	A240	A220
44	15.3	1.7
45	17.2	4.8
46	23.0	6.5
47	24.5	7.6
48	29.0	6.8
49	31.1	8.9
50	33.7	11.1
51	32.7	10.5
52	34.3	11.9
53	49.2	18.5
54	56.6	25.4
55	60.2	30.0

TABLA XIV : Promedio en las últimas 3 péntadas de agosto de las anomalías en el área abarcada por la convección respecto de las climatológicas del período 1975-91 (en péntadas).

AÑO	AN24 (péntadas)	AN22 (péntadas)
75	3.7	2.8
76	-10.5	-3.1
77	-9.2	-5.1
78	-	-
79	25.1	14.3
80	-3.8	-6.4
81	-1.8	0.2
82	-4.5	-4.7
83	0.8	3.9
84	20.1	11.9
85	1.4	-0.7
86	5.8	3.6
87	-9.5	-3.7
88	-8.5	0.5
89	3.1	-1.4
90	5.4	-3.4
91	-16.2	-6.7

Se puede observar que los años con un atraso convectivo mayor de 6 días (1976, 1987 y 1991) presentan los valores negativos más altos sobre todo en el área de 240 w/m² y los años de adelanto convectivo superior a 6 días (1979, 1982, 1983, 1984 y 1985) presentan valores positivos. Los años 1983 y 1985 presentaron los

menores adelantos convectivos (8 y 6 días) y son justamente los que presentan anomalías positivas de áreas convectivas más pequeñas o casi nulas. Observar que en el año 1983 las anomalías de lluvia son generalizadamente negativas, al contrario de lo que ocurre en el resto de los años en que se observó un adelanto en el ingreso de la convección. En el caso del año 1982 otros factores que influyen en la producción de precipitación pueden haber empañado este efecto. Aparentemente se obtienen mejores resultados al considerar A240 que al considerar A220. Si bien en algunos casos se ha observado una buena correspondencia entre el área abarcada por la convección en agosto y el onset, éste no ocurre en otros casos. Los resultados llevan a concluir que éste puede ser un elemento necesario pero no suficiente para la posible predicción de la precipitación de septiembre y que no debe utilizarse sin la observación y el análisis de otros parámetros conjuntamente.

4. Conclusiones Parciales

Siendo el invierno la estación seca, las reservas de agua en el suelo suelen agotarse al acercarse la primavera. Por ello se obtuvo una aproximación a la fecha de fin del período seco y de principio del período húmedo. Entre ambas fechas la región agrícola de Argentina subtropical sufre la incertidumbre de las lluvias, resultando septiembre un mes clave para el estudio de la forma en que las anomalías en la entrada de la CIT al hemisferio sur pueden modificar la precipitación en Argentina y en qué regiones su influencia es mayor. Para ello analizaron tres aspectos diferentes: se relacionaron las anomalías de precipitación en Argentina subtropical con la anomalía de OLR en Brasil, con el área abarcada por la convección y con la anomalía de la fecha de onset del monzón americano.

Las correlaciones entre las anomalías de precipitación mensual en septiembre y el valor de OLR en la zona tropical evidencia que las estaciones del sur de Argentina subtropical tienen mayor respuesta al inicio de la convección, las del centro y el sur del litoral se correlacionan mayormente en un eje NW-SE (desplazamiento de CIT) y las del noroeste tienen respuesta en el oeste de Brasil. En el centro del país (Villa María, Chepes, Ceres, Santiago del Estero) la máxima correlación se obtiene con un lag de 20 días, el noreste (Las Lomitas, Resistencia, Formosa, Corrientes, P.R.S. Peña, General Paz) con 10 días de lag, el sur (General Pico, Santa Rosa) y el noroeste sin lag. Bahía Blanca y Mar del Plata ya no presentan correlaciones significativas con el OLR tropical.

El área con valores de OLR inferiores a 220 w/m^2 tiene alta correlación interanual con las anomalías mensuales de precipitación en septiembre en el centro y este de Argentina. En particular en la zona central esta alta correlación se mantiene aún cuando se considere la lluvia 10 y 20 días después que el valor de OLR, dando una importante herramienta predictiva.

La relación entre la fecha de onset del monzón americano en el hemisferio sur y las anomalías de lluvia en septiembre es altamente

significativa. Se observan anomalías positivas (negativas) en la lluvia en el centro-este de Argentina subtropical los años en que un adelanto (atraso) en el ingreso de la convección fue detectado. Este hecho es más notorio en sep2, con anomalías más extendidas hacia el este, y en sep3 con el máximo de anomalías levemente desplazado hacia el sudoeste respecto de sep2. Se observaron en la región central-este lluvias mucho más (menos) intensas que lo normal en septiembre en los años con adelanto (atraso) en el ingreso de la convección. Se observó un alto porcentaje de casos en que un adelanto en el ingreso de la convección está relacionado con una ruptura prematura de la sequía invernal. Se determinó que las áreas convectivas, sobre todo la que comprende valores de OLR inferiores a 240 w/m^2 , en la segunda mitad de agosto, permite, en algunos casos, detectar anticipadamente un adelanto o atraso en el ingreso de la convección al hemisferio sur y por lo tanto puede utilizarse conjuntamente con otros parámetros, como una herramienta más para la posible predicción de la lluvia de septiembre.

DISCUSION GENERAL

El análisis de los campos medios indica que el verano es la estación lluviosa por excelencia en la totalidad de Argentina subtropical, como puede observarse en la figura 37 que muestra la precipitación media los primeros 10 días de febrero. La región noreste del área de estudio presenta lluvias debidas a la humedad proveniente de la zona tropical, mientras que el sur de Argentina subtropical se ve influenciado por la humedad entrante desde el océano Atlántico. Durante esta época el anticiclón del Atlántico ocupa su posición más austral, produciendo vientos del este, manifestados por un POSMP negativo a partir de septiembre (figura 45a). Una alta correlación positiva entre LATVM y el primer autovector de precipitación media (0.61) (Tabla VII), con máxima variabilidad en el este (figura 40a), indica la incidencia de la humedad atlántica, en la producción de lluvia. El análisis del contenido isotópico del agua de lluvia en Bahía Blanca (figura 19b) muestra que septiembre y diciembre son meses donde el origen del vapor es predominantemente atlántico, componente ésta que se incrementa paulatinamente a partir de julio. Por otro lado, se observan en verano, los máximos valores de POSCH (figura 45a), indicando la existencia de viento norte, portador de vapor proveniente de la selva tropical brasilera. Esto se pone de manifiesto en el norte de Argentina subtropical, donde se observa un contenido isotópico del agua de lluvia típicamente continental en el noreste (Corrientes) (figura 17) en la época estival. Esto es coincidente con la alta correlación positiva observada entre POSCH y el segundo autovector de precipitación media (0.55) (Tabla VII), con máxima variabilidad en el noroeste (figura 40b). La correlación significativamente importante y positiva entre el segundo autovector de precipitación media y el segundo autovector de OLR medio (0.93) (Tabla VIII), que presenta máxima variabilidad en el centro de la selva amazónica que representa el desplazamiento anual de la convección entre ambos hemisferios (figura 51), pone de manifiesto la incidencia del monzón americano en las lluvias medias estivales del noroeste argentino.

En el invierno, en cambio, la precipitación media presenta un claro mínimo en el noroeste que es progresivamente menos acentuado hacia el este y desaparece en el noreste de la región, como puede observarse en la figura 38 que muestra la precipitación media los últimos 10 días de julio. El anticiclón del Atlántico se desplaza hacia el norte produciendo precipitación generada por vapor de origen oceánico en el sector norte, lo que se manifiesta por contenidos isotópicos del agua de lluvia típicamente atlánticos en estaciones como Corrientes, Salta y Los Perales (figuras 17 y 18a y b). Esto también está relacionado con el hecho que la zona con mayor baroclinicidad se corre hacia el norte. La alta correlación entre LATVM y el 2º autovector de precipitación media (-0.91) (Tabla VII) indica que las escasas precipitaciones del noroeste son debidas a la falta de humedad de la región. Sólo eventualmente algo de humedad es transportada por los alisios y se generan algunas escasas aisladas precipitaciones.

Este comportamiento de la lluvia media en verano e invierno genera como consecuencia, una gran varianza de la onda anual en el oeste, que decrece hacia el este (figura 30), de forma que en el centro-oeste la onda anual resulta muy marcada, como puede observarse en la figura 27b para Córdoba, mientras que no existe demasiada diferencia entre la lluvia del verano y del invierno en el este, como muestra la onda anual de precipitación en Posadas en la figura 28b.

Se observa el dominio de la onda semianual al norte y de la estacional al sur de Argentina subtropical (figura 29). El contenido isotópico del agua de lluvia en Bahía Blanca (figura 19b) presenta un máximo en abril y otro en septiembre, representativos de la doble onda que estadísticamente se registra y permite suponer que estos dos máximos están asociados a lluvias generadas por vapor con distinto origen predominante: por reciclado continental en abril y del Atlántico en septiembre, ya que, como fue antes mencionado, se observa un aumento del contenido atlántico desde julio. Los máximos de lluvia en los equinoccios también se observan en las estaciones ubicadas al sur mesopotámico, sur de Santa Fé y Buenos Aires, asociado al 3° autovector de precipitación media (figura 39b) con máximos en noviembre y marzo y máxima variabilidad en esa zona (figura 41a). La correlación significativa negativa entre el 3° autovector de precipitación media y POSMP (-0.35) (Tabla VII) indica que esos máximos se deben a un debilitamiento de los oestes permitiendo la entrada de humedad atlántica en primavera y probablemente representando alguna incidencia del monzón americano en el ciclo medio según los resultados que se detallan en el estudio de las anomalías. Se advierte también la probable incidencia de la SACZ en la lluvia media máxima que presentan los equinoccios en esa zona, como muestra la correlación positiva y significativa entre el 1° autovector de OLR medio y el 3° autovector de precipitación media (Tabla VIII).

*El oeste de Argentina subtropical presenta características secas durante todo el año, mientras que en el centro y en el este, en general, es posible definir la existencia de un período de transición entre un período típicamente seco y otro húmedo (figura 57). Esta transición ocurre entre septiembre y octubre (figuras 55 y 56). Como climatológicamente el inicio de la estación lluviosa producida por el monzón americano se produce en la péntada 53 (18-22 septiembre) (figura 47), en promedio en el área de máxima variabilidad del 2° autovector de OLR medio (figura 51), se estudió la posibilidad de que las anomalías de este inicio se relacionen con las anomalías de lluvia en Argentina subtropical. **Los resultados indican la existencia de una zona en el centro-este de Argentina, centrada en (32°S, 60°O) donde la respuesta es máxima y el valor predictivo de la OLR es mayor con respecto a la precipitación en septiembre. Además la respuesta es más concreta en sep2 y sep3 que en otros períodos, coherentemente con el inicio climatológico del monzón americano.***

Por un lado el área abarcada por la convección más profunda, con valores de OLR inferiores a 220 w/m², en septiembre, se encuentra bien correlacionada interanualmente con las anomalías de precipitación en el

noreste (figura 71a) pero si la correlación se realiza con la precipitación producida 10 días después (figura 72) la mejor correlación se encuentra en la zona centro-este centrada en (32°S, 60°O). Si el lag se aumenta a 20 días (figura 74) la mejor respuesta se encuentra en un área levemente desplazada hacia el sudoeste de la anterior. Esta mayor predictabilidad también se ve manifestada en los mapas de correlación entre las anomalías de precipitación de cada estación y las anomalías de OLR en la selva tropical brasilera, ya que las máximas correlaciones se dan para un lag de 20 días en el centro (Córdoba, Villa María, Ceres, Santiago del Estero y Chepes), como se muestra para Córdoba en la figura 66. En el noreste (Las Lomitas, Resistencia, Formosa, Corrientes, General Paz y P.R. Saenz Peña) son máximas para un lag de 10 días, como se muestra para Las Lomitas en la figura 67, y las estaciones intermedias tienen un comportamiento de transición. Es cierto que no se ha podido explicar la tendencia que existe a que en las estaciones del sur de Argentina subtropical, como muestra la figura 70a para General Pico, las máximas correlaciones en septiembre se producen con la región norte de la selva tropical brasilera, como respondiendo al inicio del monzón, mientras que en el centro y sur del litoral logran su mayor correlación con una zona con eje en dirección NE-SO, como muestra la figura 70c para Paraná. Las estaciones del noroeste se correlacionan principalmente con la región sudoeste, como muestra la figura 70b para Salta. Esto es, en cierta forma, esperable pues la convección se desplaza del noroeste al sudeste y luego en octubre se ensancha hacia el oeste, momento éste en que comienzan las lluvias en el noroeste argentino. Por lo tanto, si este hecho se adelanta a septiembre es esperable tener precipitaciones anómalamente altas en septiembre en el noroeste.

Además, el área centro-este, centrada en (32°S, 60°O) corresponde a la que presenta mayores anomalías positivas (negativas) de precipitación en septiembre (figura 79 y 82), que en la mayoría de los casos supera (es inferior a) al valor medio más (menos) el desvío standard (figura 80), en los años en que un adelanto (atraso) en el inicio del monzón americano fue detectado, observando que estas anomalías predominan en sep2 y sep3 (figuras 84 y 86). Las anomalías de esa zona son cuantitativamente importantes (figuras 96a y b), resultando pocos casos en que la respuesta es inversa, es decir, precipitaciones muy superiores (inferiores) a lo normal en años con atraso (adelanto) en el ingreso convectivo (figuras 97a y b) En esa misma zona también se observa un adelanto en la fecha de ruptura de la sequía invernal, estimada en este trabajo en los años en que el inicio del monzón americano se produjo con anterioridad (figura 95).

CONCLUSIONES

- *El contenido isotópico de O18 en el agua de lluvia y el exceso de deuterio ($d=DEU\text{-pendiente}\cdot O18$) fueron utilizados para discriminar entre situaciones donde la humedad tuvo una procedencia predominantemente Atlántica o Continental, obteniendo una recta que divide el espacio (O18,d) en 2 sectores, cada uno representativo de cada grupo.*
- **Se observó que en Corrientes la lluvia se debe a humedad de origen atlántica en invierno y de origen tropical en verano. Las pocas precipitaciones de invierno en el noroeste parecen tener su origen en la humedad transportada desde el este. Bahía Blanca presenta dos máximos de lluvia que parecen derivar de humedad con diferente origen: atlántico el de diciembre y continental el de marzo. Ciudad Universitaria y La Suela presentan un origen más mezclado, aparentemente como una transición entre el comportamiento en el norte y en el sur de Argentina subtropical. La falta de datos impide un cuadro más concluyente.**
- *En distintos lugares de Argentina subtropical el ciclo anual de precipitación no reviste igual importancia. Es más importante en el oeste, con condiciones secas durante todo el invierno y menos dominante en el este. La relación entre la varianza del ciclo anual y la de la variabilidad interanual decrece de oeste a este. La onda 36 explica el 90% en Córdoba y el 16% el Posadas.*
- **Se evidencia una relación estrecha entre la onda anual de precipitación y los gradientes zonal y meridional de presión, que influyen los aportes de humedad desde el Atlántico y desde la selva tropical brasilera. La advección de aire húmedo desde el Atlántico es máxima en septiembre y se mantiene hasta enero mientras que la humedad de origen tropical es preponderante en verano. Evidentemente ambos factores se potencian dando mayores precipitaciones en el verano en toda Argentina subtropical. El mínimo de lluvias se produce en invierno pero es más marcado en el oeste y centro de la región.**
- *Se estudió en detalle el campo medio de la variable OLR, representativa de la nubosidad convectiva en la zona tropical, observando que el segundo autovector representa el desplazamiento de la convergencia intertropical hacia el hemisferio sur en el verano de ese hemisferio y hacia el hemisferio norte en el invierno.*
- **Se determinó una fecha climatológica para la entrada y la salida de la CIT al hemisferio sur.**

- *Se observó una fuerte correlación entre el segundo autovector del campo medio de precipitación en Argentina subtropical y el segundo autovector del campo medio de OLR en la zona tropical (0,93), indicando la influencia del desplazamiento de la convección en la producción de lluvias en Argentina subtropical. Esta correlación se mantiene altamente significativa cuando se adelanta la precipitación 10 (0.89) y 20 días (0.81) respecto del OLR, indicando la existencia de cierto valor predictivo para la lluvia.*
- **Se obtuvo una aproximación a la fecha de fin del período seco y de principio del período húmedo. Entre ambas fechas la región agrícola de Argentina subtropical sufre la incertidumbre de las lluvias, resultando septiembre un mes clave en este sentido.**
- *Las correlaciones entre las anomalías de precipitación mensual en septiembre y el valor de OLR en la zona tropical evidencia que las estaciones del sur de Argentina subtropical tienen mayor respuesta al inicio de la convección, las del centro y el sur del litoral se correlacionan mayormente en un eje NW-SE (desplazamiento de CIT) y las del noroeste tienen respuesta a la OLR en el oeste de la región de Brasil.*
- **En el centro del país (Villa María, Chepes, Ceres, Santiago del Estero) la máxima correlación se obtiene con un lag de 20 días, el noreste (Las Lomitas, Resistencia, Formosa, Corrientes, P.R.S. Peña, General Paz) con 10 días de lag, el sur (General Pico, Santa Rosa) y el noroeste sin lag. Bahía Blanca y Mar del Plata ya no presentan correlaciones significativas con el OLR tropical.**
- *El área con valores de OLR inferiores a 220 w/m^2 tiene alta correlación interanual con las anomalías mensuales de precipitación en septiembre en el centro y este de Argentina. En particular en la zona central esta alta correlación se mantiene aún cuando se considere la lluvia 10 y 20 días después que el valor de OLR, dando una importante herramienta predictiva.*
- **La relación entre la fecha de onset del monzón americano en el hemisferio sur y las anomalías de lluvia en septiembre es altamente significativa. Se observan anomalías positivas (negativas) en la lluvia en el centro-este de Argentina subtropical los años en que un adelanto (atraso) en el ingreso de la convección fue detectado. Este hecho es más notorio en sep2, con anomalías más extendidas hacia el este, y en sep3 con el máximo de anomalías levemente desplazado hacia el sudoeste respecto de sep2.**
- *Se observaron en la región central-este lluvias mucho más (menos) intensas que lo normal en septiembre en los años con adelanto (atraso) en el ingreso de la convección.*
- **Se observó un alto porcentaje de casos en que un adelanto en el ingreso de la convección está relacionado con una ruptura prematura de la sequía invernal.**
- *Se determinó que las áreas convectivas, sobre todo la que comprende valores de OLR inferiores a 240 w/m^2 , en la segunda mitad de agosto, permite, en algunos casos, detectar anticipadamente un adelanto o atraso*

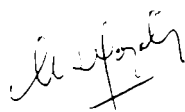
en el ingreso de la convección al hemisferio sur, resultando una herramienta necesaria pero no suficiente para la posible predicción de la lluvia de septiembre.

PROYECTO FUTURO

Este ha sido el primer intento en el estudio de la incidencia del monzón americano en el comienzo de las lluvias de primavera en Argentina subtropical. Los resultados obtenidos indican que el tema debe profundizarse e interrelacionarse para conocer más detalladamente los procesos generadores del comienzo de la etapa húmeda, tanto desde el punto de vista de la entrada de humedad como de los sistemas dinámicos que proveen el ascenso necesario para la producción de precipitación. Además debería estudiarse más exhaustivamente la tendencia en la variabilidad de la lluvia, que en este trabajo se muestra.

Para un entendimiento más completo de los mecanismos productores de precipitación es imprescindible el estudio de la humedad proveniente del sector Atlántico, que se ha mencionado pero no se analizó en profundidad en este trabajo. Es necesario además cuantificar los efectos de advección de humedad, determinando qué proporción de la lluvia de verano es generada por humedad advectada desde el trópico y cuánta desde el Atlántico.

También se debe considerar la posibilidad de estudiar el resto de la estación lluviosa, tal vez considerando otros parámetros representativos de la convección que deberán establecerse oportunamente, como así también la salida de la convección del hemisferio Sur y su relación con las lluvias de otoño en Argentina subtropical y el inicio de la estación seca.



Referencias bibliográficas

Aceituno, P., 1988: "On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: surface climate", *Monthly Weather Review*, 116, 505-524.

Albero, M.C. y Panarello, H.O., 1980: "Tritio e isótopos estables en aguas de precipitaciones en América del Sur", Preprint Interamerican Symposium on Isotope Hydrology, IAEA, Colombia, Agosto 1980, 91-109.

Arkin, P.A. y Ardanuy, P.E., 1989: "Estimating climatic-scale precipitation from space: a review", *Journal of Climate*, 2, 1229-1238.

Arkin, P.A. y Meisner, B.N., 1987: "The relationship between large scale convective rainfall and cold cloud on the Western Hemisphere during 1982-84", *Monthly Weather Review*, 115, 51-74.

Barros, V., Castañeda, M. E. y Doyle, M. E., 1995: "Recent precipitation trends in Southern South America to the east of Los Andes: an indication of a mode of climatic variability", *Southern Hemisphere Paleo and Neoclimatic concept methods. Problems*. Cambridge University Press. 41pp.

Castañeda, M.E. y Barros, V., 1994: "Las tendencias de la precipitación en el cono sur de Sudamerica al este de Los Andes", *Meteorológica*, 19, nº 1 y 2 , 23-32.

Davis, J., 1973: "Statistics Data Analysis in Geology", John Wiley and Sons, Nueva York, 442-472.

Diaz, E.L., 1959: "Fluctuaciones de la continentalidad y en las lluvias", *Anal. Soc. Cient. Tom. CLXVII*, 73-97.

Doyle, M.E., 1994: "Los máximos de viento de 200 y 300 Hpa en el sector Sudamericano y Atlántico adyacente ", Seminario de Licenciatura, Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas, UBA.

Gibson, T.T., 1992: "An observed poleward shift of the Southern Hemisphere subtropical wind maximum - a greenhouse symptom?", *Int. Journal of Climatology*, 12, 637-640.

Green, P., 1978: "Analyzing Multivariate Data", Capítulos 8 y 9, Dryden Press Hinsdale, Illinois, 519 pp.

Gruber, A. y Krueger, A.F., 1984: "The status of the NOAA outgoing longwave radiation data set", *Bulletin of American Meteorological Society*, 65, 958-962.

Hastenrath, S., 1984: "Interannual Variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climates in the tropical America sector", *Monthly Weather Review*, 112, 1097-1107.

- Heddinghaus, T.R. and Krueger, A.F., 1981: "Annual and Interannual variations of OLR over the tropics", *Monthly Weather Review*, 109, 1208-1218.
- Horel, J.D., Hahmann, A.N. y Geisler, J.E., 1989: "An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas", *Journal of Climate*, 2, 1388-1403.
- Janowiak, J.E., Krueger, A.F., Arkin, P.A. y Gruber, A., 1985: "Atlas of OLR derived from NOAA satellite data", NOAA, Atlas n°6, NOAA/NWS/NESDIS, US Department of Commerce, Silver Spring, Maryland, 20907, 44 pp.
- Kousky, V.E., 1979: "Frontal influences on Northeast Brazil", *Monthly Weather Review*, 107, n°7, 1140-1153
- Kousky, V.E., 1988: "Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South America sector", *Revista Brasileira de Meteorología*, 3, 217-231.
- Lau, K., y Chan, P., 1983: "Short term climate variability and atmospheric teleconnections from satellite observed outgoing longwave radiation. Part I: Simultaneous Relationships", *Journal of Atmospheric Sciences*, 40, n° 12, 2735-2750
- Madden, R.A. y Julian, P.R., 1971: "Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the Tropical Pacific", *Journal of Atmospheric Science*, 28, 702-708.
- Madden, R.A. y Julian, P.R., 1972: "Description of global scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period", *Journal of Atmospheric Science*, 29, 1109-1123.
- Marengo, J., 1992: "Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin", *Journal of Climate*, 12, 853-863.
- Minetti, J.L. y Vargas, W.M., 1983: "Comportamiento del borde anticiclónico subtropical en Sudamérica. I° parte.", *Meteorológica*, XIV, N°1-2.
- Mitchell, T. y Wallace, J., 1992: "The annual cycle in equatorial convection and sea surface temperature", *Journal of Climate*, 5, 1140-1156.
- Morrissey, M.L. y Graham, N.E., 1996: "Recent trends in rain gauges precipitation measurements from the tropical Pacific: Evidence for an enhanced hydrological cycle", *Bulletin of American Meteorological Society*, 1207-1219.
- Penalba, O.C., 1995: "Algunas propiedades específicas del régimen pluvial en Buenos Aires", trabajo de doctorado, Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Prohaska, F.J., 1976: "Climates of Central and South America" *World Survey of Climatology*, Elsevier Cientific Publishing Company, Amsterdam.
- Rao, V.B., Satyamurty, P. y De Brito, J.I.B., 1986: "On the 1983 drought in the Northeast Brazil", *International Journal of Climatology*, 6, 43-51.

Rozanski, K., Araguas, L. y Gonfiantini, R., 1993: "Isotopic patterns in modern global precipitation", Climatic Change in Continental Isotopic Records, Geophysical Monograph 78.

Salati, E. , Molion, L y Marques, J., 1978: "Origen y distribución de las lluvias en el Amazonas" , Revista Interciencia, 3, 200-205

Salles, A. y Compagnucci, R., 1992: "Climatología sinóptica de los campos de presión de superficie para el sur de Sudamérica", Preprint Congreso Meteo'92, España, 221-226.

Schmetz, J. and Liu, Q., 1988: "Outgoing longwave radiation and its diurnal variation al regional scales derived from Meteosat", Journal of Geophysical Research, 11, 192-203.

Schotterer,U., Oldfield, F. and Frohlich, K., 1996: "Global Network for Isotopes in precipitation" publicación de la IAEA, PAGES, WMO and IAHS, Switzerland

Smith, G. y Rutan, D., 1994: "Spatial variability of outgoing longwave radiation', Journal of Atmospheric Sciences, 51, nº 13, 1808-1822.

Wang, M. y Paegle, J., 1996: "Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux", Journal of Geophysical Research, 101, 7291-7303.

Ward, M. y Folland C., 1991: "Prediction of the seasonal rainfall in the north northeast of Brazil using eigenvectors of sea surface temperature", International Journal of Climatology, 11, 711-743.

GLOSARIO

A220: número de puntos de reticulado cuyo valor de OLR es menor que 220 w/m^2

A240: número de puntos de reticulado cuyo valor de OLR es menor que 240 w/m^2

AN22: anomalías de A220 respecto de su valor climatológico

AN24: anomalías de A240 respecto de su valor climatológico

ANONSET: promedio de las anomalías que presenta el onset de la convección en el área comprendida entre 0°S y 15°S y entre 45°O y 75°O .

CIT: convergencia intertropical

d: exceso de deuterio

DEU: deuterio

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

LATVM: latitud media de los vientos máximos observados en 200 Hpa calculados con el conjunto de datos del Centro Europeo.

O18: oxígeno 18

OLR: Radiación de onda larga saliente

ONSET: término que identifica el proceso por el cual la convección ingresa al hemisferio sur durante la primavera y se establece un régimen diferente del que existía antes.

POSMP: diferencia de presión entre Posadas y Mar del Plata

POSCH: diferencia de presión entre Posadas y Chepes

SACZ: South Atlantic Convergence Zone

SEP1: período correspondiente a los primeros 10 días de septiembre

SEP2: período comprendido entre el 11 y el 20 de septiembre.

SEP3: período correspondiente a los últimos 10 días de septiembre

TRI: tritio