

Tesis Doctoral

Aspectos de la climatología y de los rendimientos de maíz y soja en zonas productoras mundiales. Coherencias regionales y análisis de extremos

Llano, María Paula

2011

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:

Llano, María Paula. (2011). Aspectos de la climatología y de los rendimientos de maíz y soja en zonas productoras mundiales. Coherencias regionales y análisis de extremos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Cita tipo Chicago:

Llano, María Paula. "Aspectos de la climatología y de los rendimientos de maíz y soja en zonas productoras mundiales. Coherencias regionales y análisis de extremos". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2011.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires



**Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos**

**Aspectos de la climatología y de los rendimientos de maíz y soja
en zonas productoras mundiales.**

Coherencias regionales y análisis de extremos

**Tesis presentada para optar por el título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires
en el área Ciencias de la Atmósfera y los Océanos**

María Paula Llano

**Director: Dr. Walter Mario Vargas
Director Asistente: Dr. Gustavo Naumann
Consejero de Estudios: Dr. Walter Mario Vargas**

**Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos
Buenos Aires, 2011**

Resumen

Es conocido el impacto que tiene la variabilidad del clima sobre los saldos exportables de maíz y soja en los países productores y exportadores. Esta situación obliga a estudiar la variabilidad climática y de los rendimientos en los principales países productores y exportadores (Argentina, Brasil, Estados Unidos y China).

Este estudio pretende tipificar los regímenes climáticos de cada región de los cuatro países tratando de lograr el mayor grado de homogeneidad y representatividad regional de los rendimientos y de las variables climáticas medidas por las estaciones. Posteriormente se ocupa de estudiar la variabilidad conjunta tomando como unidad de interés las campañas y las etapas de cultivo. Análisis de la variabilidad de las series en función de varios efectos (diferentes estaciones, diferentes etapas, condicionamientos del rendimiento) y análisis de correlación simple entre las variables climáticas y de los cultivos demuestran la necesidad de una representación de la serie de rendimientos mediante modelos de correlación múltiple coincidiendo con la mayoría de los antecedentes bibliográficos.

Visto que el mayor impacto sobre los rendimientos de los cultivos en los países está dado por los extremos en las variables climáticas y como un aporte al estudio de la climatología sinóptica se sintetiza la circulación asociada a los eventos secos y húmedos por regiones. Esto lleva a dilucidar cuál es el grado de coherencia entre extremos climáticos y rendimientos entre países. Los resultados dan una estimación de los riesgos de extremos conjuntos entre países. Independientemente de las estimaciones de estos riesgos se estudian dos casos particulares de extremos intensos que afectaron a Argentina, Estados Unidos y Brasil, que impactaron notablemente en los rendimientos.

El objetivo general de esta tesis es desarrollar un diagnóstico de condiciones climáticas en estos cuatro países mayores productores de maíz y soja, y analizar las relaciones con los rendimientos y estudiar situaciones climáticas de ocurrencia de extremos.

Palabras Claves: *Rendimiento, Coherencia, Variabilidad Climática.*

Aspects of climatology and yields of corn and soybeans in producing world areas.

Regional coherences and analysis of extremes

Abstract

It is known the impact on the exportable balance of corn and soybean due to the climate variability. This compels to study the climate variability and the yields in the main producing and exporting countries (Argentina, Brazil, the United States of America and China).

This study is intended to typify the climate regimes of each producing zone of the four countries trying to achieve the biggest level of homogeneity and regional representation of the climate variables measured by stations. The present study also analyses the joint variability taking as an unit of interest the campaigns and growing stages. The analysis of the variability of the series related to several effects (different stations, stages, and yield conditioning) and the one of the simple correlation between the climatic variables and the cultivation, show the necessity of a representation of the yields by the multiple correlation models. This representation coincides with most of bibliographic backgrounds.

Considering that the biggest impact on the cultivation yields in the above mentioned countries occurs because of the extremes in the climatic variables, and as a contribution to the synoptic climatology work, here it is studied by regions the circulation associated to the dry and wet events. This explains what is the grade of coherence between the climatic extremes and the different yields among countries.

The results of this work give an estimate of the risks of the extreme joints. Independently, two specific cases of intense extremes that affect Argentina, the United States of America and Brazil are studied, extremes that impacted remarkably on the yields.

The main goal of the present thesis is the developing of a climatic conditions diagnosis in the mentioned four countries and the analysis of its relationship with the different yields. Another important aim of this thesis is the study of the occurrence of extreme climatic situations.

Keywords: *Yield, Coherence, Variability.*

A la memoria de mis padres

Hoy solo deseo que estén orgullosos de mí

Agradecimientos:

- A las becas otorgadas por la UBA y el CONICET, por financiar mis estudios doctorales.
- A los proyectos UBA X228, CONICET PIP 112-200801-00762 y FONCyT PICT 2008-1820.
- Al Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, por formarme y otorgarme el lugar de trabajo.
- Al Dr. Walter Vargas, por aceptar ser mi director, por guiarme y principalmente por tolerar mis locuras en la oficina.
- Al Dr. Naumann (en versión formal). A Gustavo, por ser al comienzo mi compañero de oficina, para terminar siendo mi Director Asistente (que nivel!!!).
- A la Dra. Carolina Vera, por sus valiosas opiniones y sugerencias.
- A mis amigos del DCAO, con quienes cursé, estudié, me divertí... y me indigné!!!
- A todos los que pasaron por “el cuarto del Pueblo” y compartieron unos mates, haciendo más amena esta tarea... siguen siendo todos bienvenidos!!!
- A mi hermana Karina, por estar siempre a mi lado.
- A mi gran familia adoptiva (hermanos, padres y abuelas) y a todos los amigos que Dios puso en mi camino para ayudarme a transitar la vida.
- Finalmente, a todos los que me dieron su palabra de aliento en los últimos tramos de este trabajo.

Índice

Resumen	i
Abstract	ii
Introducción	6
Capítulo 1: Análisis de la Producción de Maíz y Soja. Información Utilizada.....	12
1.1. ¿Por qué se eligen estos cultivos?.....	12
1.2. Exigencias climáticas de los cultivos seleccionados	12
1.3. ¿Por qué se seleccionan estos países productores?	13
1.4. Rendimiento.....	19
1.5. Campañas	24
1.6. ¿Qué variables se utilizan para caracterizar el clima?.....	28
Capítulo 2: Análisis Climático	32
2.1. Diagnóstico Climático por Regiones	32
2.1.1. Argentina	32
Análisis general	32
Descripción de cada estación en particular	37

2.1.2. Brasil.....	43
Análisis general	43
Descripción de cada estación en particular	46
2.1.3. Estados Unidos.....	50
Análisis general	50
Descripción de cada estación en particular	53
2.1.4. China.....	57
Análisis general	57
Descripción de cada estación en particular	60
2.2. Descripción Climática por Campañas	65
Descripción de la metodología.....	65
2.2.1. Argentina.....	66
2.2.2. Brasil.....	70
2.2.3. Estados Unidos.....	74
2.2.4. China.....	77
2.3. Conclusiones	80
Capítulo 3: Componentes de la Variabilidad Regional	83
3.1. Metodología	84
3.2. Resultados	87

3.2.1. Precipitación	87
3.2.2. Temperaturas Máximas y Mínimas	90
3.3. Análisis de Varianza en los Grupos de Estaciones	92
3.4. Conclusiones.....	97
Capítulo 4: Estimación de los Rendimientos mediante Variables Climáticas	99
4.1. Análisis Previos	100
4.1.1. Resultados	101
4.2. Metodología	105
4.3. Resultados	108
4.3.1. Argentina.....	108
4.3.2. Brasil.....	113
4.3.3. Estados Unidos.....	115
4.3.4. China.....	119
4.3.5. Análisis General para el Cultivo de la Soja	122
4.4. Conclusiones	131
Anexo	133
Capítulo 5: Aspectos de la Circulación en Eventos Extremos	137
5.1. Descripción de la circulación asociada a eventos particulares	138

5.1.1. Argentina.....	140
Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa	141
Anomalías de Altura Geopotencial en 850 hPa	144
5.1.2. Brasil.....	146
Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa	146
Anomalías de Altura Geopotencial en 850 hPa	149
5.1.3. Estados Unidos.....	151
Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa	152
Anomalías de Altura Geopotencial en 850 hPa	155
5.1.4. Anomalías de la Temperatura de la Superficie del Mar (SST).....	158
Argentina	158
Brasil	161
Estados Unidos	163
5.1.5. Anomalías de OLR (Outgoing Longwave Radiation)	165
Argentina	165
Brasil	168
Estados Unidos	171
5.1.6. Conclusiones	174
Conclusión de las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa ...	174
Conclusión de las anomalías de altura geopotencial en 850 hPa ...	174

Conclusión de las anomalías de SST	175
Conclusión de las anomalías de OLR	175
Síntesis general	176
5.2. Análisis de la coherencia regional	178
5.2.1. Aspectos de la circulación en el evento de déficit de precipitación del año 1988-1989	179
Anomalías de altura geopotencial en 200 hPa	180
Anomalías de SST	184
Anomalías de OLR	187
Características generales	191
5.2.2. Aspectos de la circulación en el evento particular del año 2008-09	192
Anomalías de altura geopotencial en 200 hPa	192
Anomalías de SST	196
Anomalías de OLR	199
Características generales	202
5.3. Discusión general del capítulo	203
Conclusiones	204
Referencias	208

Introducción

El clima y los rendimientos de los cultivos están estrechamente relacionados. La influencia del clima en un cultivo determinado depende entre otros factores de las características de la localidad geográfica y de las condiciones de producción. Por ello, es la variabilidad climática una de las principales fuentes de incertidumbre para estimar la evolución de los cultivos en el mundo. Por lo tanto, la agricultura es una de las actividades humanas más dependientes y sensibles a las variaciones que presenta el clima. Esta dependencia aumenta su importancia ya que afecta el comercio internacional de *comodities* de los países con mayor presencia en el mercado agrícola. Las fluctuaciones de los saldos exportables han generado en el pasado crisis alimentarias de magnitud. Estas podrían también incrementarse por el aumento de los usos de cereales en la producción de energía entre otros, como así también debido a un aumento de la población.

Dentro de la climatología aplicada existe una importante área de investigación agro-económica que se dedica a estudiar las conexiones entre el clima y la productividad de los cereales. (Kucharik and Serbin, 2008). La tendencia y las fluctuaciones de los rendimientos tienen relevancia para los tomadores de decisión de la micro y la macro economía, como así también para los programas de “food-security”, particularmente en los países en desarrollo. Por ello la evaluación de los potenciales beneficios económicos del conocimiento de la variabilidad climática puede favorecer la formación de marcos de decisión de los agronegocios (Sonka et al, 1988).

En el mundo existen planicies en donde sus características climáticas son aptas para la producción de distintos cultivos. Esas zonas están ubicadas preferentemente en las latitudes medias y subtropicales. Entre las regiones más características se encuentran: la zona de las grandes planicies de Estados Unidos, las planicies de China, la región llana del sudeste de Brasil, las Pampas argentinas, parte del norte de Argentina, Paraguay, India, México, entre otras.

En el presente trabajo se seleccionan dos de los cultivos más importantes por diferentes usos que se hacen de los mismos, como alimento y como fuente de energía: el *maíz*,

el cual es sin lugar a dudas el grano forrajero por excelencia y la *soja*, cuyo proceso de intensificación y expansión aumenta día a día.

En las Figuras 1 y 2 se presentan los porcentajes de área cultivada en el mundo para cada uno de los cultivos seleccionados. Se advierte que si bien la Argentina no es siempre uno de los principales productores de maíz y soja (Estados Unidos y Brasil son los principales productores) es en cambio un gran exportador Figura 3, ubicándose en el segundo lugar detrás de Estados Unidos en las últimas cuatro campañas. Esto implica que las situaciones climáticas extremas y de bajo rendimiento afectan los saldos exportables. Por supuesto la situación se agrava si los extremos se producen en Estados Unidos y Brasil y alcanzan su máximo impacto en las sequías que abarcan a dichos países y la Argentina.

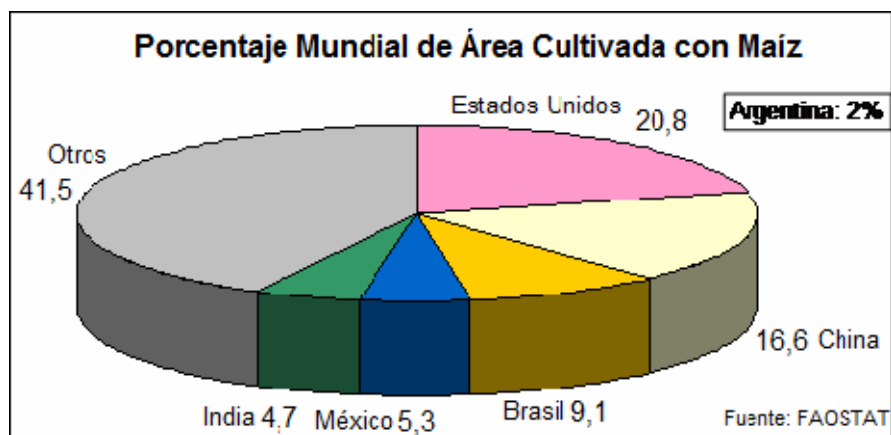


Figura 1: Porcentaje mundial de área cultiva por maíz, promedio 1979-2008.

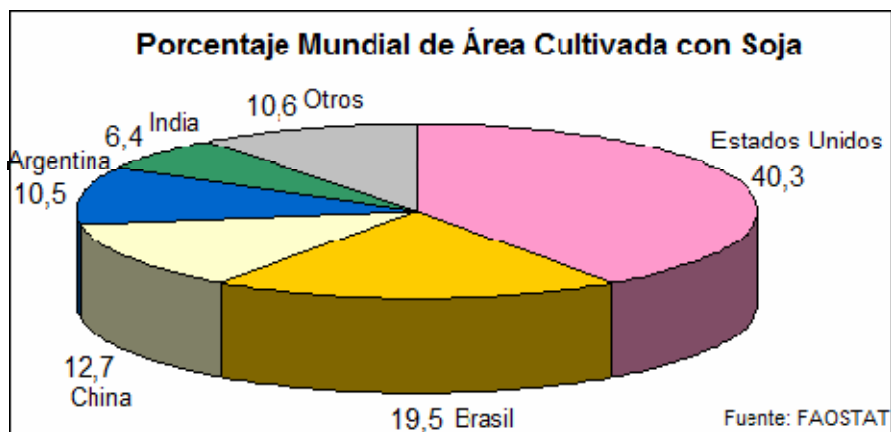
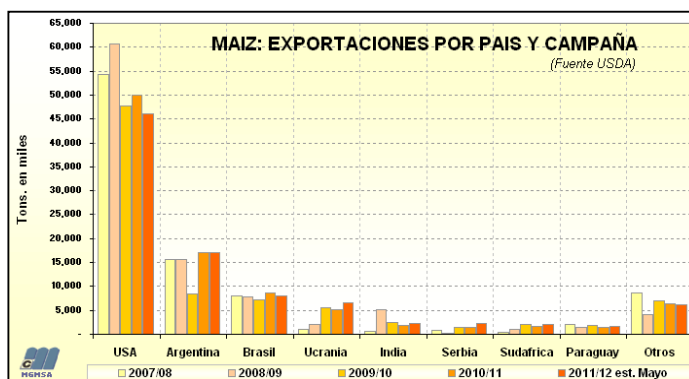


Figura 2: Porcentaje mundial de área cultiva por soja, promedio 1979-2008.

En esta tesis se decide estudiar en forma conjunta las asociaciones entre lo que ocurre en la Argentina, Brasil y Estados Unidos por ser grandes productores y contar con mayores saldos exportadores; y en China por ser un gran productor e importador de diferentes cultivos (Figuras 3 y 4 y Tabla 1). Además motiva este trabajo la consideración que las coherencias entre las variabilidades climáticas extremas entre estos países son una primera aproximación en la estimación de riesgos de las disponibilidades disminuidas en la exportación de soja y maíz.



Figuras 3: Exportaciones de maíz en las últimas 4 campañas y estimaciones para la campaña 2011-12, para los primeros 9 países exportadores del mundo. En unidades de miles de toneladas. Fuente: USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).



Figura 4: Porcentajes mundiales de las exportaciones de soja en las últimas 2 campañas (izq: 2008-09, der.: 2009-2010). Fuente: USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

	2008-09	2009-10
Estados Unidos	31600	34900
Brasil	25400	30000
Argentina	13800	5600
Paraguay	5100	2400
Canadá	1800	2000
Otros	1800	1800

Tabla 1: Exportaciones de soja de los 5 primeros países exportadores, para las campañas 2008-09 y 2009-10. En unidades de miles de toneladas. Fuente: USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

El objetivo general de esta tesis es desarrollar un diagnóstico de condiciones climáticas en cuatro países mayores productores de maíz y soja, y tres de ellos principales exportadores, analizar las relaciones con los rendimientos y estudiar situaciones climáticas de ocurrencia de extremos. En términos de objetivos particulares se organiza la tesis de la siguiente forma:

- Análisis de las condiciones climáticas en cada una de las regiones de producción.
- Estudio del comportamiento conjunto de las variables climáticas durante las campañas de maíz y soja.
- Estimación de las diferentes causas que explican la varianza total de las series de observaciones climáticas.
- Estimación de los rendimientos de los cultivos mediante el uso de variables climáticas.
- Estudio de las variabilidades conjuntas entre las diferentes regiones analizadas.
- Estudio de la circulación asociada a eventos extremos.

Primeras investigaciones

En 1901, Wren realiza un sumario sobre todas las teorías y conocimientos existentes respecto la relación entre el clima y el rendimiento del maíz. Los primeros estudios ubican a la temperatura como el factor preponderante en esta relación, y los mismos no incluyen el uso

de correlaciones matemáticas. En uno de los trabajos precursores (Smith, 1914) se menciona que la distribución geográfica de los cultivos en Estados Unidos esta determinada por el clima, siendo la temperatura y la precipitación dos de los factores climáticos que más afectan el desarrollo de las plantas. En dicho trabajo mediante correlaciones se estudia la relación entre el rendimiento, la temperatura y la precipitación en los diferentes meses que comprenden la etapa de desarrollo, principalmente durante el verano. En 1920, Wallace continuando lo encontrado por Smith, sugiere que la precipitación durante el mes de julio es uno de los principales factores que afectan al rendimiento, pero no en todo el territorio denominado “*Corn Belt*”, sino solo en la parte sur del mismo. Esta línea de estudio fue continuada por diversos autores los cuales encuentran una alta correlación entre el rendimiento del maíz y la precipitación de julio y agosto en el centro de los Estados Unidos (Robb, 1934). Rose en 1936 concluye que obtener una correlación uniforme entre el rendimiento del maíz y las variables climáticas en el Corn Belt es compleja debido a los diferentes factores tanto naturales como culturales que cambian de un área a otra. Otras variables climáticas como puede ser la evaporación se utilizan en diferentes estudios para estudiar el comportamiento de los cultivos, Davis and Palesen en 1940 llegan a la conclusión de que una alta evaporación producto de temperaturas por encima de lo normal al comienzo de la campaña da como resultado un favorable rendimiento del maíz. Otros autores relacionan la humedad en el suelo con los rendimientos de la soja (Hill *et al.*, 1979).

En el período de vegetación de las plantas, las condiciones climáticas (por ejemplo, la precipitación y temperatura) afectan el crecimiento y rendimiento de maíz provocando variaciones en los mismos. La descripción de los efectos del clima demanda un esfuerzo continuo para mejorar la tecnología en la agricultura y generar una estrategia de gestión para reducir los impactos negativos del cambio climático y aumentar el rendimiento de maíz (Hu and Buyanovsky, 2003). La mayoría de los trabajos representan la influencia del clima mediante “casos de estudio”, por lo que los resultados son difíciles de usar para obtener una completa comprensión de los efectos del clima sobre la producción de cereales. Estudios adicionales con datos a largo plazo del clima y el rendimiento de un lugar o una región son necesarios para establecer dicha comprensión.

Dentro del análisis de la variabilidad en los cultivos, uno de los factores estudiados es la tecnología. La misma se ha venido utilizando en la agricultura desde la Segunda Guerra Mundial, para alcanzar altos niveles de rendimiento en los cultivos. (García *et al.*, 1987).

Otro de los enfoques de la relación entre los cultivos y el clima es estudiar la conexión con el ENSO, (Alexandrov and Hoogenboom, 2001), y también monitorear como afecta el cambio climático a la agricultura: esto se puede estudiar desde diferentes enfoques uno de ellos es el dado por Adams *et al.* (1998) en donde estudia las consecuencias económicas de dicha relación mediante diferentes modelos.

En la Argentina hay diferentes orientaciones, como por ejemplo el estudio específico de las sequías y como las mismas afectan la productividad de los cereales (Minetti et al, 2007). O la ya mencionada la relación entre los cultivos y el ENSO, estudiada por medio de la temperatura de la superficie del mar (Travasso *et al.* 2003 – Podestá *et al.*, 1999).

Otros trabajos muestran que en las últimas décadas del siglo XX se produjeron aumentos en los rendimientos de los cultivos de verano sobre todo por los aumentos en las precipitaciones y en menor medida se vieron afectados por los cambios en la temperatura. (Magrin et al, 2005). También existen estudios en donde a partir de funciones discriminantes se lleva a cabo un pronóstico de rendimiento con un 92% de probabilidad de éxito. (Sierra and Brynsztein 1989). En lo que se refiere al cultivo de la soja hay trabajos que muestran que la temperatura y la precipitación son dos de las variables que mejor determinan la variabilidad en el rendimiento de la misma en la Argentina. (Penalba *et al.*, 2007). En la provincia de Tucumán (Argentina) un estudio de Minetti y Lamelas (1995) muestra que la precipitación regional de diciembre y la amplitud térmica en el mes de febrero son dos variables que explican más del 50 % de la variabilidad del rendimiento de la soja en dicha provincia.

El desarrollo de esta tesis está dividido en los siguientes capítulos: en el Capítulo 2 se describen aspectos de la climatología (temperaturas extremas y precipitación) presentes para las estaciones de referencia ubicadas en las zonas de interés para la producción agrícola. En el Capítulo 3 se analizan los componentes de la variabilidad regional. En el Capítulo 4 se estima una representación de los rendimientos por medio de las variables climáticas. En el Capítulo 5 se describen las circulaciones asociadas a eventos extremos en las regiones de interés, para finalizar con el análisis de eventos extremos particulares ocurridos en el mismo período. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

Capítulo 1: Análisis de la Producción de Maíz y Soja. Información Utilizada.

1.1. ¿Por qué se eligen estos cultivos?

La elección del maíz y la soja se debe principalmente a que son dos de los productos de mayor consumo en el mundo.

El maíz es un cultivo muy remoto, data de unos 7000 años de antigüedad, de origen americano que se cultivaba principalmente en zonas de México y América central. Hoy en día su cultivo está diseminado por todo el mundo, siendo los Estados Unidos el principal productor y el que mayor porcentaje mundial de área cultivada presenta, seguido por China y en menor medida Brasil y México.

El centro de origen de la soja es China, y su domesticación probablemente tuvo lugar alrededor de 3000 a 1500 antes de Cristo. Desde el norte y el sur de China, la soja se trasladó a Corea, Japón y otras partes del sudeste de Asia por el primer siglo DC. En el siglo XVII se introdujo en Europa. Fue llevada a los Estados Unidos en 1765, luego a América del Sur a mediados de 1900 (Hymowitz 2004). Su expansión en América comenzó gracias a su gran utilidad no solo en la alimentación sino también por su uso en la industria. En las últimas décadas empezó a tener un fuerte auge lo que produjo la sustitución de los territorios utilizados para el cultivo de otros productos, como así también la deforestación de amplias zonas.

1.2. Exigencias climáticas de los cultivos seleccionados

Dos de los principales factores climáticos que deben ser tenidos en cuenta al estudiar el desarrollo de los cultivos son la temperatura y la precipitación.

El maíz para poder desarrollarse requiere una temperatura media de 25° C a 30° C. Necesita bastante incidencia de luz solar, es por este motivo que en climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15° C a 20° C. Puede llegar a soportar temperaturas mínimas de hasta 8° C, y a partir de los 30° C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. En la etapa de floración se requieren temperaturas de 20° C a 32° C. Las precipitaciones son muy necesarias en el periodo de crecimiento. El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm. al día, sin embargo las necesidades hídricas van variando a lo largo de la campaña. Cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero sí es necesario mantener una humedad constante. En la etapa de la floración es cuando más cantidad de agua demanda. Esta etapa es el periodo más crítico porque de ella va a depender principalmente la cantidad de producción. Por último, en la etapa de maduración la cantidad de agua requerida disminuye.

Las temperaturas óptimas para el desarrollo de la soja están comprendidas entre los 20° C y 30° C, siendo las temperaturas próximas a 30° C las ideales para su desarrollo. El crecimiento vegetativo de la soja es pequeño o casi nulo en presencia de temperaturas próximas o inferiores a 10° C, quedando frenado por debajo de los 4° C. Sin embargo, es capaz de resistir heladas de -2° a -4° C sin morir. En el otro extremo temperaturas superiores a los 40° C provocan un efecto no deseado sobre la velocidad de crecimiento, causando daños en la floración y disminuyendo la capacidad de retención de legumbres. Las temperaturas óptimas oscilan entre los 15° y los 18° C para la siembra y los 25° C para la floración. Sin embargo, la floración de la soja puede comenzar con temperaturas próximas a los 13° C.

Respecto a la humedad, durante su cultivo, la soja necesita al menos 300 mm. de agua, que pueden ser en forma de riego cuando se trata de regadío, o bien en forma de lluvia en aquellas zonas templadas húmedas donde las precipitaciones son suficientes.

1.3. ¿Por qué se seleccionan estos países productores?

Tomando como base las estadísticas de la FAO (*Food and Agriculture Organization*, división de las Naciones Unidas), se analiza el comportamiento de las producciones de ambos cultivos a lo largo del período de análisis (1979-2009). Comparando los primeros diez países productores se observa que la producción promedio del maíz en estos 30 años fue cercana a

las 450 millones de toneladas. De las cuales los Estados Unidos aportaron más de 200 millones de toneladas. Seguido por China, Brasil, México, Francia y Argentina. (Figura 1.1).

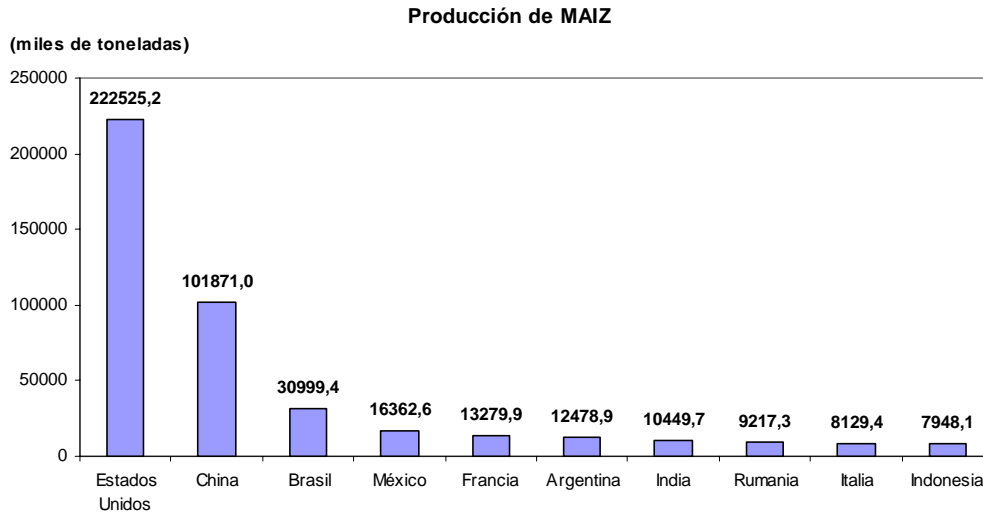


Figura 1.1: Valores medios (1979-2009) de producción de maíz para los 10 principales países productores, en unidades de miles de toneladas.

A lo largo del registro los niveles de producción de estos países no fueron los mismos, en la Figura 1.2 se puede observar un aumento de los valores de producción. Cabe aclarar que los totales anuales de Estados Unidos y de China son de un orden de magnitud mayor a los de Brasil, México, Francia y Argentina, por este motivo se presentan en la figura dos ejes diferentes para los valores de producción alcanzados.

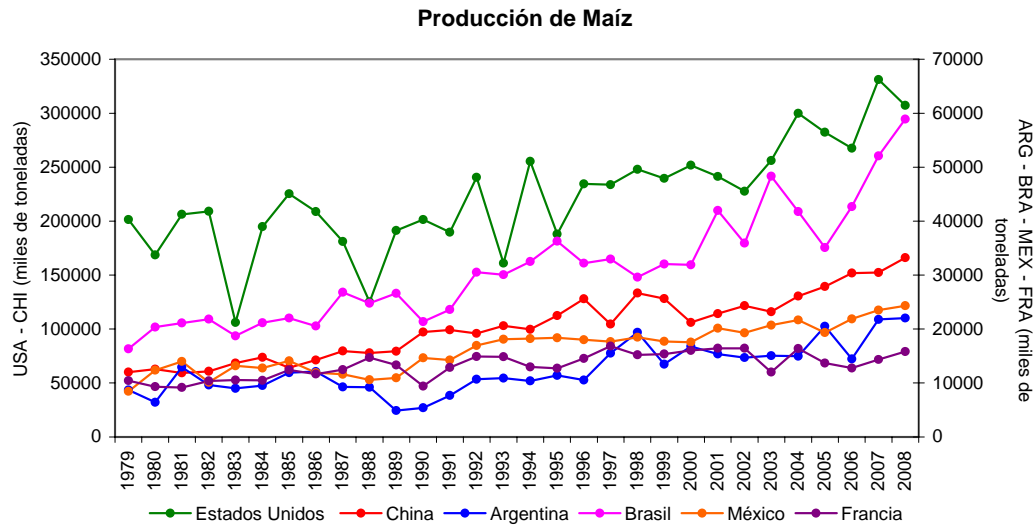


Figura 1.2: Evolución de los valores de producción de maíz para los 6 principales países productores, en unidades de miles de toneladas. Eje izquierdo: Estados Unidos y China. Eje derecho: Argentina, Brasil, México y Francia.

Entre los dos principales productores hay una clara superioridad de los Estados Unidos. El cual al comienzo del registro presentaba un valor cercano a las 200 millones de toneladas, teniendo su producción más baja un valor aproximado de 100 millones de toneladas. En la etapa final del registro se observa un incremento mantenido llegando a superar las 300 millones de toneladas.

En China los valores de producción presentan un aumento sostenido a lo largo de los años, de 50 millones de toneladas de maíz a comienzos de los años ochenta llega a registrar una producción superior a las 150 millones de toneladas en el año 2008.

En la comparación del segundo grupo de cuatro países es notable el predominio de Brasil en la producción del maíz. Mostrando un considerable aumento ya que a comienzos del registro presenta un valor inferior a las 20 millones de toneladas, llegando a alcanzar los 60 millones en la última campaña analizada.

El comportamiento de México y Francia es muy similar. Ambos países comienzan el período de estudio con un registro de 10 millones de toneladas y finalizan con una producción de alrededor de 15 millones de toneladas para Francia y 25 millones de toneladas es lo que registra México.

Por último se analiza la evolución de la producción de maíz en Argentina, la cual desde el principio del período de estudio hasta mitad de la década del noventa no presenta grandes variaciones y se mantiene con un valor cercano a las 10 millones de toneladas. En la etapa final los valores de producción aumentan superando las 20 millones de toneladas de maíz en los últimos años.

Repitiendo el análisis pero en esta oportunidad para el cultivo de la soja, el promedio de producción en el período de análisis para los 10 principales países productores de soja en el mundo alcanza un valor de más de 130 millones de toneladas. De las cuales los Estados Unidos aportan 63 millones de toneladas.

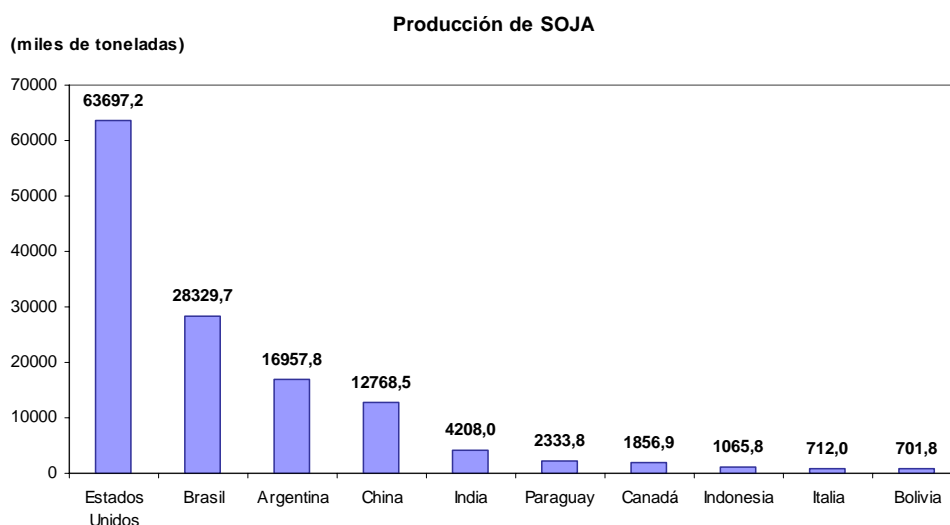


Figura 1.3: Valores medios (1979-2009) de producción de soja para los 10 principales países productores, en unidades de miles de toneladas.

En la Figura 1.3 se puede ver la producción de los diez principales productores. El segundo país productor es Brasil (con menos de la mitad en promedio que los Estados Unidos) con un valor superior a las 28 millones de toneladas. El tercer lugar lo ocupa la Argentina con casi 17 millones de toneladas, seguido por China con más de 12 millones de toneladas.

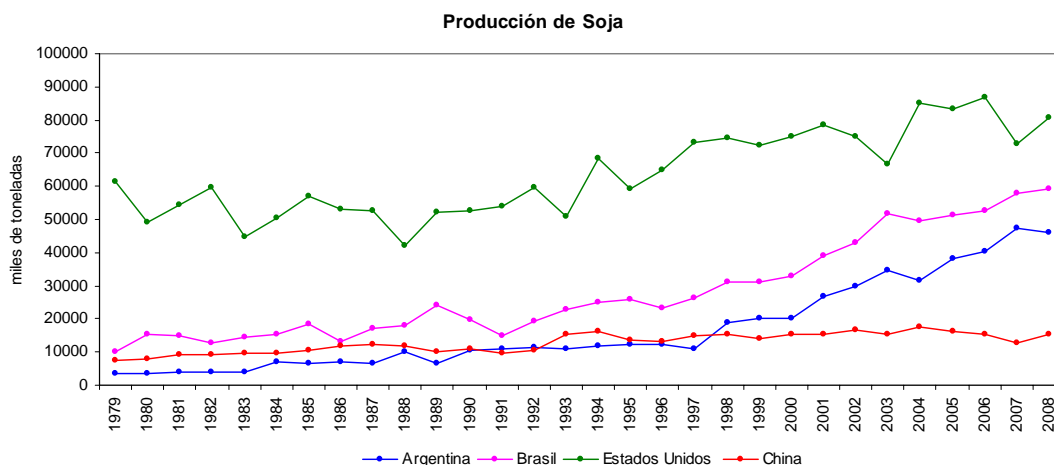


Figura 1.4: Evolución de los valores de producción de soja para los 4 principales países productores, en unidades de miles de toneladas.

En la Figura 1.4 se observa la evolución en el tiempo de la producción de la soja por parte de los cuatro primeros países productores.

En el gráfico se puede apreciar la notable superioridad en los valores de producción de los Estados Unidos, los cuales muestran un aumento con el correr de los años, al comienzo del período de estudio la producción en promedio era de 55 millones de toneladas, mientras que al finalizar el registro el valor asciende hasta casi las 90 millones de toneladas.

Al analizar el comportamiento de los otros tres países se observa como al comienzo del registro los niveles de producción eran similares, cercanos a los 10 millones de toneladas por campaña de la soja. A inicios de la década del noventa la producción de soja en Brasil comienza a presentar un importante aumento llegando a superar ampliamente las 50 millones de toneladas de soja en el año 2008. El aumento de la producción de soja en la Argentina recién se ve reflejado desde la segunda mitad de la década del noventa, el valor máximo cercano a las 50 millones de toneladas lo alcanza en la campaña 2007-08. Por último, la producción de soja en China no refleja grandes variaciones a lo largo de los 30 años de estudio.

Por las estadísticas recién descritas se decide analizar el comportamiento de la Argentina frente a los principales países productores, es decir: Estados Unidos, Brasil y China.

Con un enfoque diferente se analiza la evolución de las producciones de ambos cultivos. En la Tabla 1.1 se presentan los porcentajes de la producción mundial de cada uno de estos cuatro países a lo largo de las treinta campañas que se encuentran bajo estudio. Para

el maíz como ya fue visto en la Figura 1.2 es notoria la superioridad de los Estados Unidos, al comienzo del registro englobaba casi el 50 % de la producción mundial, pero con el paso del tiempo se estabiliza con un valor medio cercano al 40 %, cabe aclarar que en algunas campañas específicas este parámetro desciende hasta casi un 30 % de la producción mundial de maíz. China, el segundo país en importancia de producción, a lo largo de los años tiene una baja variabilidad manteniéndose en un valor medio de 18 % de la producción mundial. Brasil a lo largo de los años presenta un nivel sostenido de porcentaje de producción cercano al 5 %. Con Argentina sucede algo similar no hay una gran variación y los valores se encuentran entre el 1 y el 3 % a lo largo del registro.

año	Maíz				Soja			
	Porcentaje de la Producción Mundial				Porcentaje de la Producción Mundial			
	Argentina	Brasil	China	USA	Argentina	Brasil	China	USA
1979	2,1	3,9	14,4	48,1	4,2	11,5	8,4	69,4
1980	1,6	5,1	15,8	42,5	4,3	18,7	9,8	60,4
1981	2,9	4,7	13,3	46,2	4,3	17,0	10,6	61,5
1982	2,1	4,9	13,5	46,6	4,5	13,9	9,8	64,7
1983	2,6	5,4	19,7	30,5	5,0	18,4	12,3	56,0
1984	2,1	4,7	16,4	43,3	7,7	17,1	10,7	55,8
1985	2,5	4,5	13,2	46,4	6,4	18,1	10,4	56,5
1986	2,5	4,3	14,9	43,7	7,5	14,1	12,3	56,0
1987	2,0	5,9	17,6	40,0	6,7	17,0	12,2	52,7
1988	2,3	6,1	19,3	31,1	10,6	19,3	12,5	45,1
1989	1,0	5,6	16,6	40,1	6,1	22,4	9,5	48,8
1990	1,1	4,4	20,1	41,7	9,9	18,3	10,1	48,3
1991	1,6	4,8	20,1	38,4	10,5	14,5	9,4	52,3
1992	2,0	5,7	17,9	45,1	9,9	16,8	9,0	52,1
1993	2,3	6,3	21,6	33,8	9,6	19,6	13,3	44,2
1994	1,8	5,7	17,5	44,9	8,6	18,3	11,7	50,2
1995	2,2	7,0	21,7	36,3	9,6	20,2	10,6	46,6
1996	1,8	5,5	21,7	39,8	9,6	17,8	10,2	49,8
1997	2,7	5,6	17,9	39,9	7,6	18,3	10,2	50,7
1998	3,1	4,8	21,6	40,3	11,7	19,6	9,5	46,6
1999	2,2	5,3	21,1	39,4	12,7	19,6	9,0	45,8
2000	2,8	5,4	17,9	42,5	12,5	20,3	9,6	46,5
2001	2,5	6,8	18,6	39,2	15,1	21,9	8,6	44,1
2002	2,4	5,9	20,1	37,7	16,5	23,5	9,1	41,3
2003	2,3	7,5	18,0	39,7	18,3	27,2	8,1	35,0
2004	2,1	5,7	17,9	41,1	15,4	24,1	8,5	41,4
2005	2,9	4,9	19,5	39,5	17,9	23,9	7,6	38,9
2006	2,0	6,0	21,5	37,9	18,6	24,0	7,1	38,2
2007	2,8	6,6	19,3	42,0	21,6	26,4	5,8	33,2
2008	2,7	7,2	20,2	37,4	20,0	25,9	6,7	34,9

Tabla 1.1: Evolución del porcentaje de producción mundial de maíz y soja para cada uno de los cuatro países estudiados.

Para el cultivo de la soja, el análisis del porcentaje de producción mundial presenta mayores variaciones si lo comparamos a lo visto para el maíz. A comienzos del período de estudio es claro el poderío de los Estados Unidos en la producción de la soja, con casi un 70 % de la producción mundial, con el correr de los años este porcentaje va disminuyendo hasta posicionarse en un 40 % hacia el final del período. En el caso de China los niveles de producción se mantienen con muy poca variabilidad situándose en un 10 % de la producción mundial. Brasil presenta un claro aumento en estos treinta años, pasa de un 10 a un 25 % de la producción mundial. La Argentina es la que mayor aumento registra, superior al 400 %. A comienzos de la década del ochenta la producción de Argentina representaba un 4 % de la mundial de soja, mientras que en los últimos años ascendió hasta un 18 %. Cabe aclarar que los aumentos y disminuciones en los porcentajes de producción mundial son coincidentes entre Argentina, Brasil y los Estados Unidos, ya que los dos primeros incrementaron en forma considerable sus producciones haciendo que los aumentos reales que existieron (Figura 1.4) en la producción de soja por parte de los Estados Unidos parecieran disminuciones.

1.4. Rendimiento

Como variable que identifica a los cultivos se utiliza el rendimiento, el mismo esta expresado en unidades de kilogramo por hectárea y refleja lo ocurrido en cada campaña para el total del país. Es decir, no se trabaja con localidades sino que con un valor general, obtenido del promedio de todas las localidades en donde se cultiva cada producto. Estos datos fueron obtenidos de las estadísticas agrícolas de la división de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO – *Food and Agriculture Organization*).

Al analizar los rendimientos promedio de las 30 campañas de maíz comprendidas en el período de estudio, se observa que los cuatro países seleccionados no ocupan los primeros puestos, ya que para el caso del cultivo del maíz los mejores rendimientos los obtienen Kuwait, Qatar, Israel, Jordania con registros que se ubican entre los 12000 y los 15000 kilogramos por hectárea. De los países seleccionados para el estudio el primero en valores de rendimiento es Estados Unidos que se ubica el puesto duodécimo, con rendimiento medio de más de 7000 kilogramos por hectárea.

En el puesto vigésimo quinto y vigésimo sexto se encuentran Argentina y China respectivamente, con valores de rendimiento promedio cercanos a los 4500 kilogramos por

hectárea. Brasil ocupa el lugar cuadragésimo sexto con un rendimiento promedio de 2500 kilogramos por hectárea.

Con el cultivo de la soja sucede algo similar a lo visto para el maíz. En esta oportunidad los países con rendimientos mayores son Italia y Canadá. Entre los países seleccionados para el análisis, los Estados Unidos ocupan el sexto lugar con un rendimiento medio en estas 30 campañas de 2400 kilogramos por hectárea. Argentina se encuentra en el duodécimo lugar con un valor de 2300 kilogramos por hectárea. Brasil ocupa el puesto décimo séptimo con un rendimiento medio cercano a los 2100 kilogramos por hectárea. La posición de China esta alejada con respecto a los otros tres países, ya que con un rendimiento medio de 1500 kilogramos por hectárea se ubica en el puesto trigésimo octavo.

La evolución de los rendimientos en estas 30 campañas que están bajo estudio muestra la existencia de una tendencia positiva. (Figuras 1.5 y 1.6).

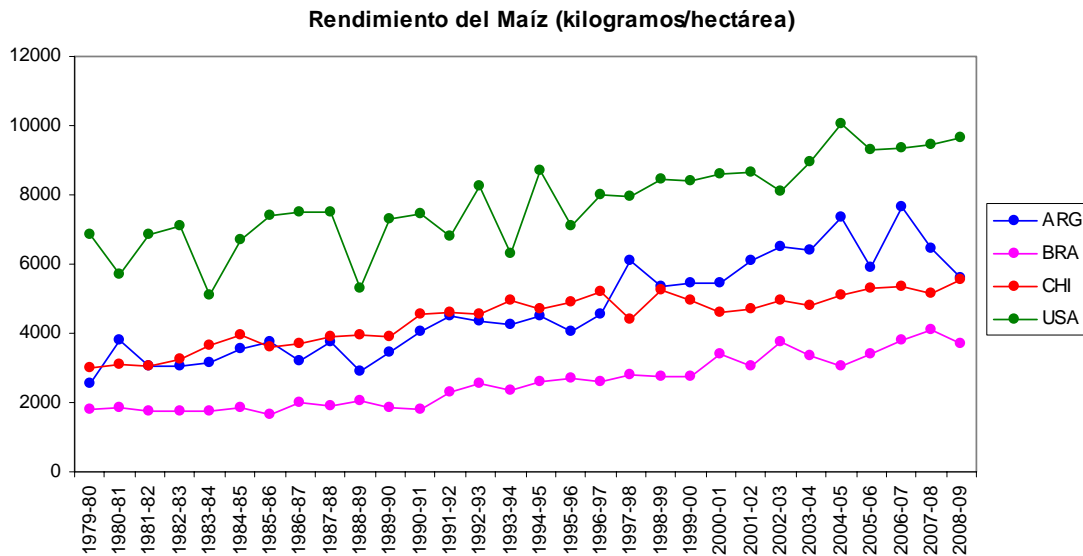


Figura 1.5: Evolución de los valores de rendimiento del maíz para los 4 países productores que se emplean en el estudio, en unidades de kilogramos/hectárea.

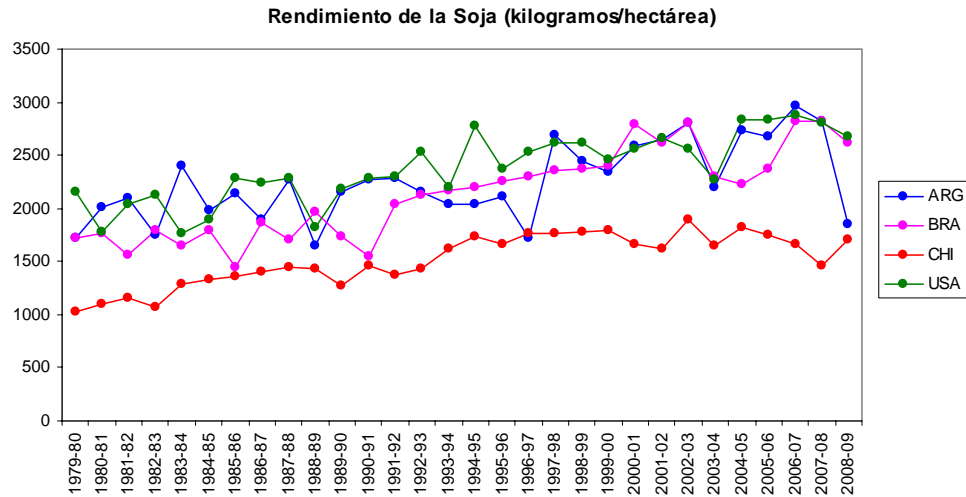


Figura 1.6: Evolución de los valores de rendimiento de la soja para los 4 países productores que se emplean en el estudio, en unidades de kilogramos/hectárea.

Los rendimientos están afectados por diferentes factores, tales como el clima, la calidad del suelo, la genética de las semillas y las diferentes técnicas de gestión en la producción. Desde la segunda mitad del siglo XX se han adaptado nuevas tecnologías para el desarrollo de la agricultura lo que produjo que los niveles de rendimiento asciendan en forma considerable. Mejoras en las variedades de cultivos, incrementos en las tasas de fertilización provocaron un significativo aumento en los rendimientos en la última centuria (Thompson, 1986).

Numerosos trabajos relacionan la existencia de esta tendencia con los avances tecnológicos implementados para el mejoramiento de los cultivos. García *et al.* (1987) realizan un estudio relacionando los niveles y las variabilidades del rendimiento del maíz en los Estados Unidos con los avances tecnológicos y el clima. La misma relación entre rendimientos, tecnología y clima es investigada por Tannura *et al.* (2008) en esta oportunidad tanto para el maíz como para la soja en tres estados de los Estados Unidos.

Los autores Hu and Buyanovsky (2003) eliminan la tendencia presente en las series de rendimiento ya que la asocian a los avances en tecnología, mientras que las variaciones interanuales las relacionan con las fluctuaciones climáticas. Para remover la tendencia presente en nuestras series de rendimientos se decide seguir la línea de Hazell (1985) y ajustar un polinomio de grado 2. Rocca da Cunha *et al.* (1999) también emplean este grado de polinomio para quitar la tendencia.

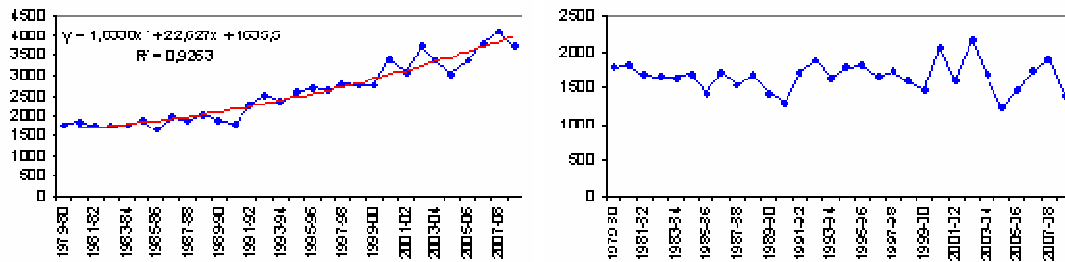


Figura 1.7a: Rendimiento del maíz en la Argentina. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

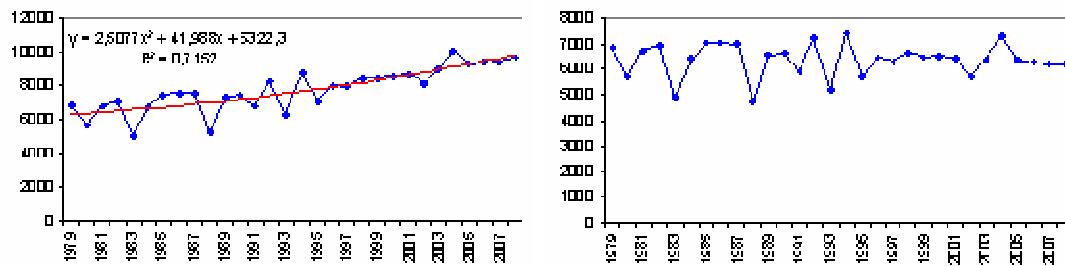


Figura 1.7b: Rendimiento del maíz en Brasil. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

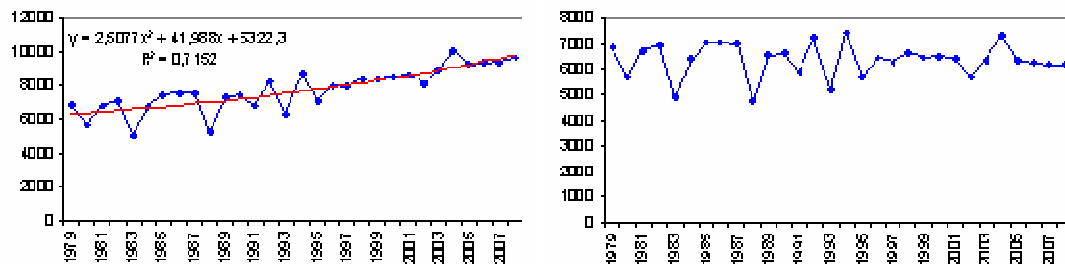


Figura 1.7c: Rendimiento del maíz en los Estados Unidos. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

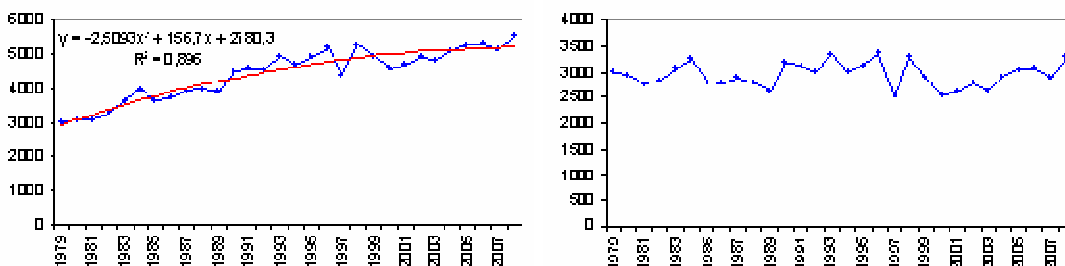


Figura 1.7d: Rendimiento del maíz en China. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

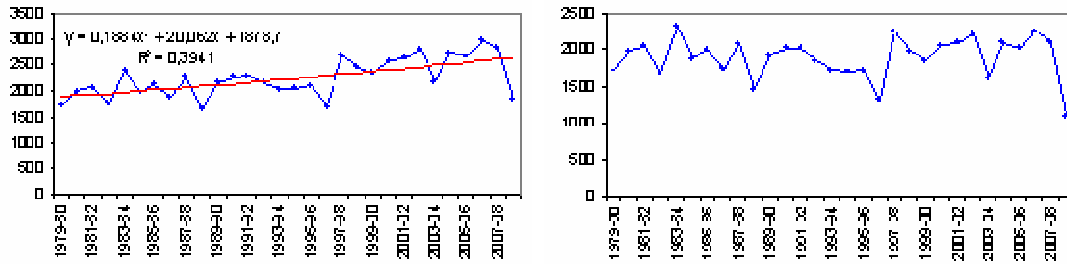


Figura 1.8a: Rendimiento de la soja en la Argentina. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

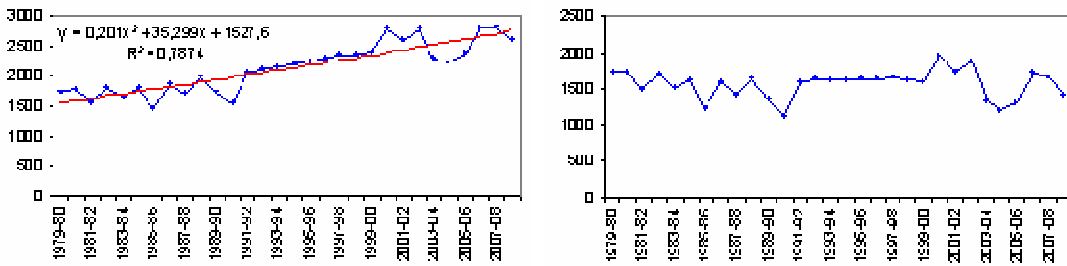


Figura 1.8b: Rendimiento de la soja en Brasil. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

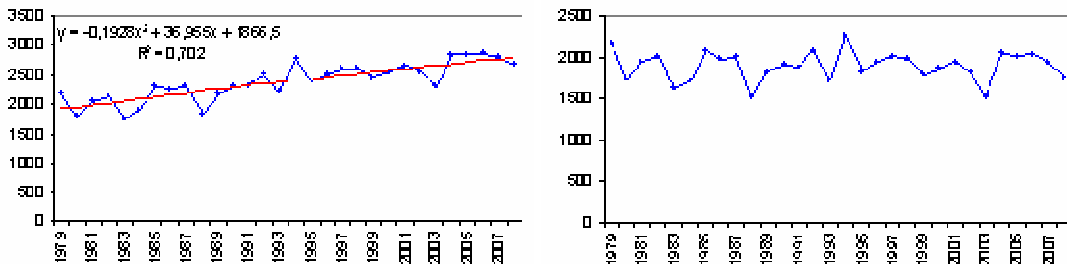


Figura 1.8c: Rendimiento de la soja en los Estados Unidos. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

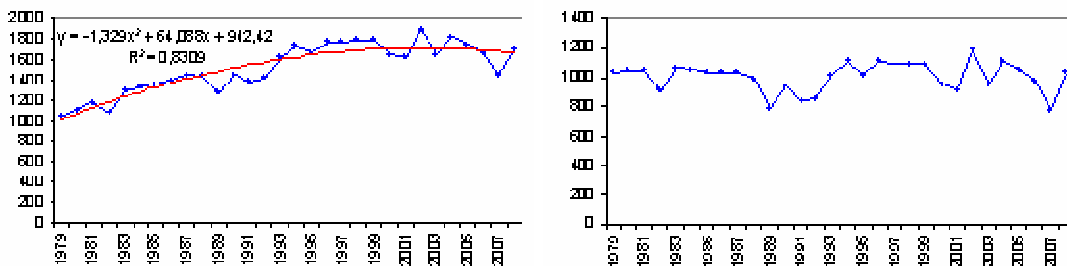


Figura 1.8d: Rendimiento de la soja en China. Izquierda: con tendencia y ajuste con un polinomio de grado 2. Derecha: sin tendencia. Eje vertical: rendimiento (Kg/hectárea).

En las Figuras 1.7 y 1.8 se presentan las evoluciones de los rendimientos del maíz y de la soja para los cuatro países bajo estudio. Como puede observarse en todos los casos hay una clara tendencia positiva en los mismos a lo largo de este período de registro. Es por tal motivo que la misma es removida mediante un polinomio de segundo grado, para luego expresar al rendimiento sin tendencia de la siguiente manera:

$$R_{ci} = R_i - [R(x_i) - R(x_0)] \quad (1)$$

R_{ci} = rendimiento corregido en el año i.

R_i = rendimiento original del año i.

$R(x_i)$ = rendimiento del año i estimado por el polinomio de 2º grado.

$R(x_0)$ = rendimiento del año inicial estimado por el polinomio de 2º grado.

La remoción de la tendencia mediante el ajuste de un polinomio de segundo grado es comparada con la remoción de la tendencia lineal. En los ocho casos de estudio (2 cultivos, 4 países) el ajuste es igual o mejor mediante el polinomio, ver valores de R^2 en la Tabla 1.2.

R^2	MAIZ		SOJA	
	lineal	polinomio	lineal	polinomio
Argentina	0,83	0,84	0,39	0,39
Brasil	0,90	0,93	0,79	0,79
China	0,84	0,90	0,69	0,83
Estados Unidos	0,70	0,72	0,70	0,70

Tabla 1.2: Valor de R^2 para el ajuste de la tendencia mediante una recta o un polinomio de grado 2.

1.5. Campañas

El período de tiempo en el que se desarrollan los cultivos se denomina campaña, durante la misma la planta evoluciona a lo largo de diferentes etapas. Las principales son la

siembra, la floración y la cosecha. En cada una de ellas los requerimientos climáticos para un buen desarrollo son diferentes.

En cada una de las zonas de producción empleadas en este estudio las campañas presentan distintas longitudes y los meses que las integran son diferentes. La información fue obtenida del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA):

La campaña del Maíz en Argentina está dividida en: siembra (septiembre-octubre-noviembre), floración (diciembre-enero-febrero) y cosecha (marzo-abril-mayo).

La campaña del Maíz en Brasil está dividida en: siembra (noviembre-diciembre), floración (enero-febrero-marzo) y cosecha (abril-mayo-junio).

La campaña del Maíz en Estados Unidos está dividida en: siembra (abril-mayo), floración (junio-julio-agosto) y cosecha (septiembre-octubre-noviembre).

La campaña del Maíz en China Norte está dividida en: siembra (abril-mayo), floración (junio-julio) y cosecha (agosto-septiembre-octubre).

La campaña del Maíz en China Sur está dividida en: siembra (febrero-marzo-abril), floración (mayo-junio) y cosecha (julio-agosto).

La campaña de la Soja en Argentina está dividida en: siembra (noviembre-diciembre), floración (enero-febrero-marzo) y cosecha (abril-mayo).

La campaña de la Soja en Brasil está dividida en: siembra (noviembre-diciembre), floración (enero-febrero) y cosecha (marzo-abril-mayo).

La campaña de la Soja en Estados Unidos está dividida en: siembra (mayo-junio), floración (julio-agosto) y cosecha (septiembre-octubre-noviembre).

La campaña de la Soja en China está dividida en: siembra (abril-mayo), floración (junio-julio-agosto) y cosecha (septiembre-octubre).

En forma gráfica en la Tabla 1.3 se presentan los meses que comprenden cada una de las etapas.

MAIZ	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Arg.												
Bra.												
USA												
Chi. N.												
Chi. S.												

SOJA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Arg.												
Bra.												
USA												
Chi.												

siembra		
floración		
cosecha		

Tabla 1.3: Meses que integran cada una de las etapas de las campañas de maíz y soja en las diferentes regiones de producción. (Fuente: USDA)

Se decide a utilizar la información suministrada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para tomar una fuente de información común. Además de los datos sobre las campañas la publicación de USDA (1994) nos permite identificar las zonas de mayor producción de ambos cultivos para cada uno de los cuatro países sometidos a este análisis. (Figuras 1.9).

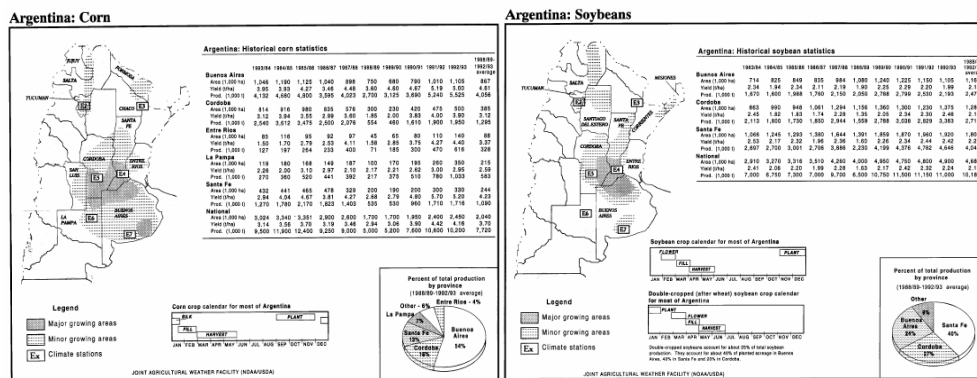


Figura 1.9a: Ubicación de las zonas de mayor producción de maíz (izquierda) y soja (derecha) en la Argentina. Fuente: USDA.

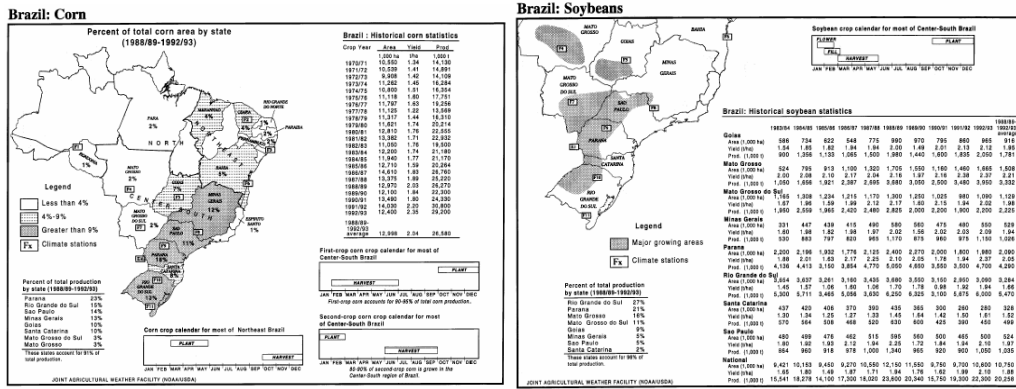


Figura 1.9b: Ubicación de las zonas de mayor producción de maíz (izquierda) y soja (derecha) en Brasil. Fuente: USDA.

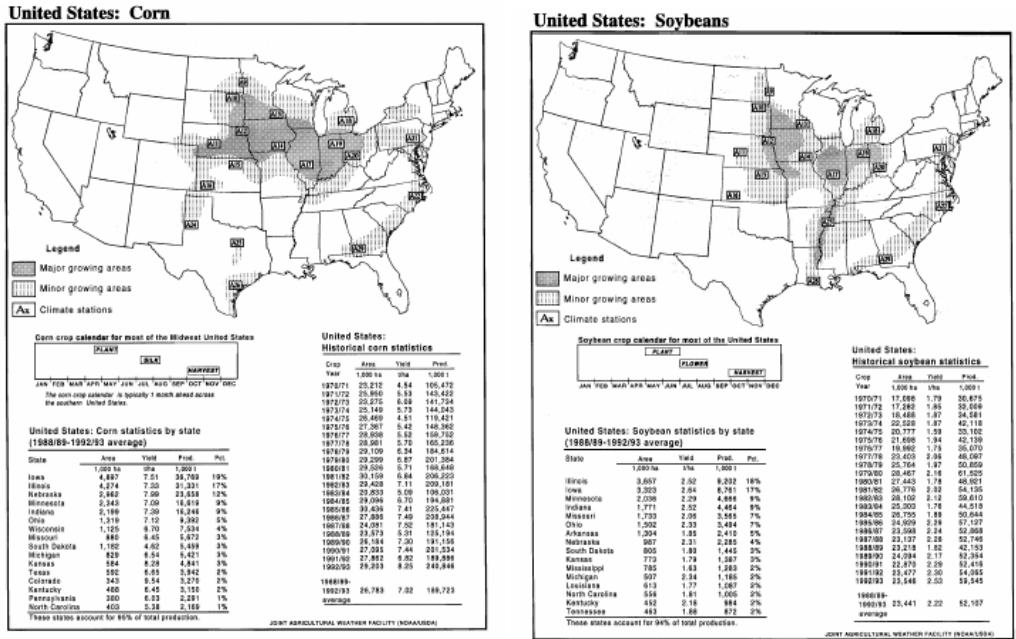


Figura 1.9c: Ubicación de las zonas de mayor producción de maíz (izquierda) y soja (derecha) en los Estados Unidos. Fuente: USDA.

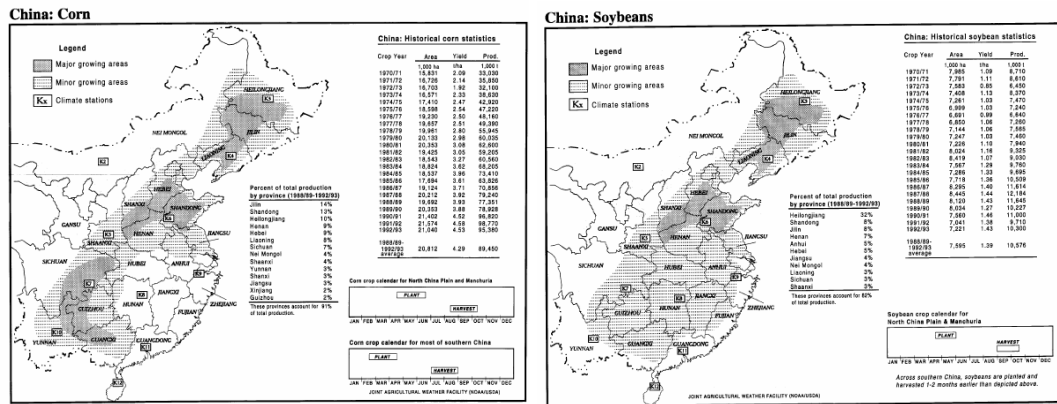


Figura 1.9d: Ubicación de las zonas de mayor producción de maíz (izquierda) y soja (derecha) en China. Fuente: USDA.

1.6. ¿Qué variables se utilizan para caracterizar el clima?

Para caracterizar el clima se decide emplear las temperaturas extremas (máxima y mínima) y las precipitaciones a nivel mensual. La elección de estas variables se debe a que las precipitaciones aportan información de la energía entrante y las temperaturas la de la energía saliente en un simple balance hídrico general. Los datos fueron obtenidos del Climate Prediction Centre (CPC) del National Center for Environmental Prediction (NCEP).

Los datos de las estaciones meteorológicas empleadas cubren el período de estudio que comprende los años 1979-2009. En la Tabla 1.4 se presenta la lista de las estaciones meteorológicas utilizadas. En las Figuras 1.10 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones de referencia.

La base de datos utilizada en el Capítulo 4 para el estudio de la circulación atmosférica pertenece al National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR) Reanalysis para el período 1979-2009. (Kalnay *et al.*, 1996) obtenidos del website del Climatic Diagnostic Center.

Nº	Nombre	Lat.	Lon.	País	Mapa	Nº	Nombre	Lat.	Lon.	País	Mapa
87155	Resistencia Aero	-27,45	-59,05	ARG	1	72228	Birmingham	33,57	-86,75	USA	30
87162	Formosa Aero	-26,2	-58,23	ARG	2	72324	Chattanooga	35,03	-85,2	USA	31
87244	Villa Maria del Rio Seco	-29,9	-63,68	ARG	3	72326	Knoxville	35,82	-83,98	USA	32
87257	Ceres Aero	-29,88	-61,95	ARG	4	72327	Nashville	36,13	-86,68	USA	33
87270	Reconquista Aero	-29,18	-59,67	ARG	5	72334	Memphis	35,05	-90	USA	34
87289	Paso de los Libres Aero	-29,68	-57,15	ARG	6	72423	Louisville	38,18	-85,73	USA	35
87344	Córdoba Aero	-31,32	-64,22	ARG	7	72432	Evansville	38,05	-87,53	USA	36
87374	Parana Aero	-31,78	-60,48	ARG	8	72434	St. Louis	38,75	-90,37	USA	37
87395	Concordia Aero	-31,3	-58,02	ARG	9	72445	Columbia	38,82	-92,22	USA	38
87453	Rio Cuarto Aero	-33,08	-64,27	ARG	10	72532	Peoria	40,67	-89,68	USA	39
87467	Marcos Juarez Aero	-32,7	-62,15	ARG	11	72535	South Bend	41,7	-86,32	USA	40
87480	Rosario Aero	-32,92	-60,78	ARG	12	72536	Toledo	41,6	-83,8	USA	41
87548	Junin Aero	-34,55	-60,95	ARG	13	54324	Chaoyang	41,33	120,27	CHI	42
87623	Santa Rosa Aero	-36,57	-64,27	ARG	14	54423	Chengde	40,58	117,56	CHI	43
87645	Tandil Aero	-37,23	-59,25	ARG	15	54511	Peking	39,48	116,28	CHI	44
87648	Dolores Aero	-36,35	-57,73	ARG	16	54527	Tianjin	39,06	117,1	CHI	45
87688	Tres Arroyos	-38,33	-60,25	ARG	17	54662	Dalian	38,54	121,38	CHI	46
87750	Bahia Blanca Aero	-38,73	-62,18	ARG	18	57328	Da Xian	31,12	107,3	CHI	47
83208	Vilhena	-12,73	-60,13	BRA	19	57411	Nanchong	30,48	106,5	CHI	48
83288	Bom Jesus da Lapa	-13,27	-43,42	BRA	20	57633	Youyang	28,5	108,46	CHI	49
83344	Vitoria da Conquist	-14,95	-40,88	BRA	21	57662	Changde	29,03	111,41	CHI	50
83612	Campo Grande	-20,47	-54,67	BRA	22	57707	Bijie	27,18	105,14	CHI	51
83630	Franca	-20,55	-47,43	BRA	23	57866	Lingling	26,14	111,36	CHI	52
83836	Irati	-25,47	-50,63	BRA	24	57932	Rongjiang	25,58	108,32	CHI	53
83840	Curitiba	-25,52	-49,17	BRA	25						
83844	Paranagua	-25,52	-48,52	BRA	26						
83881	Irai	-27,18	-53,23	BRA	27						
83907	Sao Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	BRA	28						
83936	Santa Maria	-29,7	-53,7	BRA	29						

Tabla 1.4: Lista de las estaciones utilizadas en el estudio. Nombre de la estación. Latitud. Longitud. País. Número de ubicación en los mapas de cada país. (Figuras 1.10).

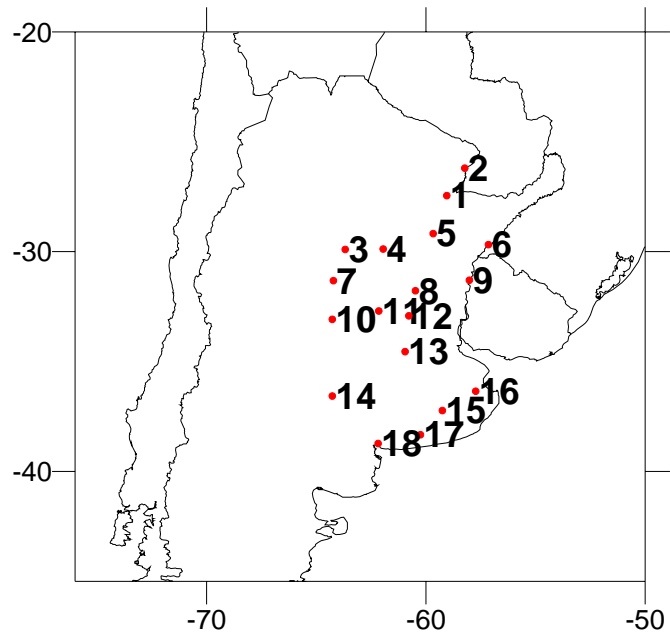


Figura 1.10a: Ubicación de las estaciones de Argentina. Número según Tabla 1.4.

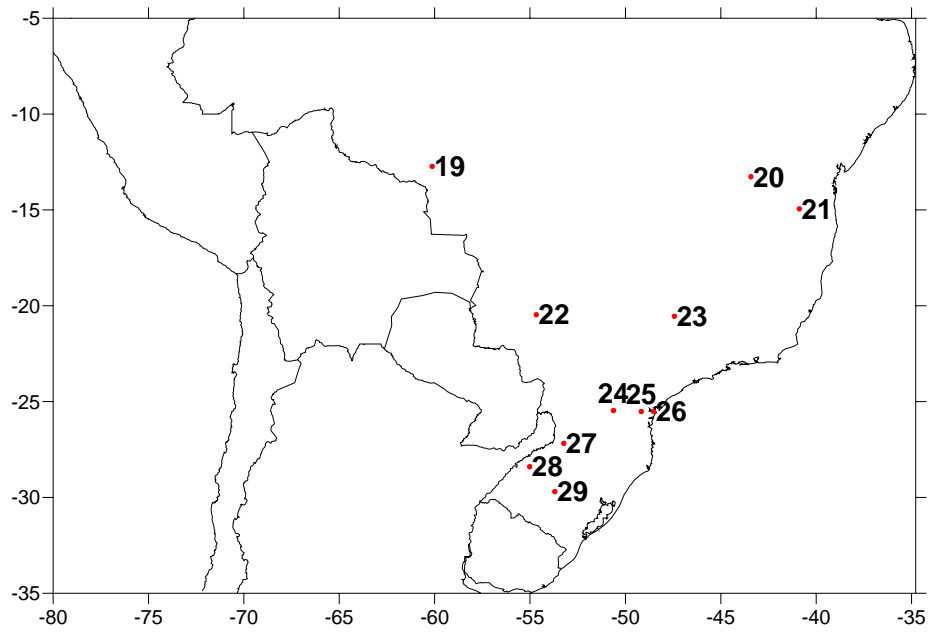


Figura 1.10b: Ubicación de las estaciones de Brasil. Número según Tabla 1.4.

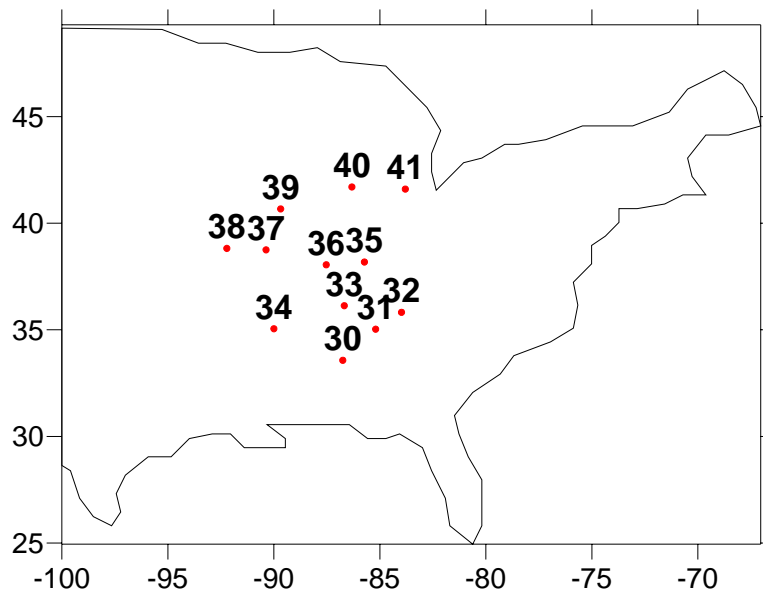


Figura 1.10c: Ubicación de las estaciones de Estados Unidos. Número según Tabla 1.4.

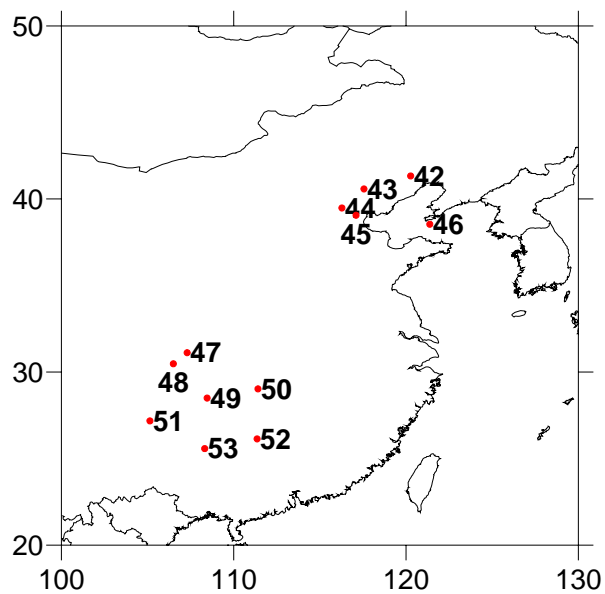


Figura 1.10d: Ubicación de las estaciones de China. Número según Tabla 1.4.

Capítulo 2: Análisis Climático

2.1. Diagnóstico Climático por Regiones

Como primer punto de este trabajo se realiza una descripción climática de las estaciones involucradas en el mismo, con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables seleccionadas en las diferentes zonas de producción.

2.1.1. Argentina

Se analizan las marchas mensuales de temperaturas máximas y mínimas medias y de precipitación acumulada mensual para el período de 30 años (1979-2009). Para las 18 estaciones de referencia de la Argentina que cubren la principal área de cultivo. En las Figuras 2.1.1, se presentan los valores mensuales de la precipitación (en barras) y de la temperatura máxima (en líneas), no se grafica la temperatura mínima debido a que su comportamiento (en variación) es similar al de la temperatura máxima.

Análisis general

En lo que concierne a las temperaturas máximas en todas las estaciones es evidente la presencia de la onda anual. Las diferencias las encontramos en los valores que esta variable toma para las diferentes estaciones, en los meses de verano los valores de temperatura máxima se encuentran entre los 33° C que se registran en Formosa y los 27° C que presenta Tandil, las restantes estaciones presentan valores en este rango de 6° C. Durante el invierno los valores de todas las estaciones se encuentran en un rango de 10° C, el mayor y el menor registro los alcanzan nuevamente las mismas estaciones, Formosa con 22° C y Tandil con 12° C.

Otra comparación que podemos realizar es analizar la amplitud de la marcha de temperatura máxima, las estaciones del norte del área de estudio presentan una menor amplitud (Formosa apenas supera los 11° C) y a medida que nos desplazamos hacia el sur las amplitudes son cada vez mayores (la estación Bahía Blanca registra la mayor amplitud superando los 17° C).

En lo que respecta a la precipitación podemos observar la existencia de una estación seca y una húmeda. Esta diferencia está más acentuada en las estaciones del centro y norte de la región bajo análisis, con diferencias mayores a los 150 milímetros entre el mes más húmedo y el mes más seco. En las estaciones ubicadas al sur la amplitud apenas supera los 50 milímetros. La distribución de la precipitación en la Argentina depende principalmente de las masas de aire que afectan a la región (Prohaska, 1976), donde por ejemplo en el verano prevalece una circulación meridional y la precipitación que se produce es originaria de una zona tropical. La zona noreste de Argentina presenta totales mensuales que rondan los 120 a 150 milímetros, estos valores descienden lentamente hacia el sur alcanzando valores de 80 milímetros mensuales en el sur de Córdoba y en la provincia de Buenos Aires.

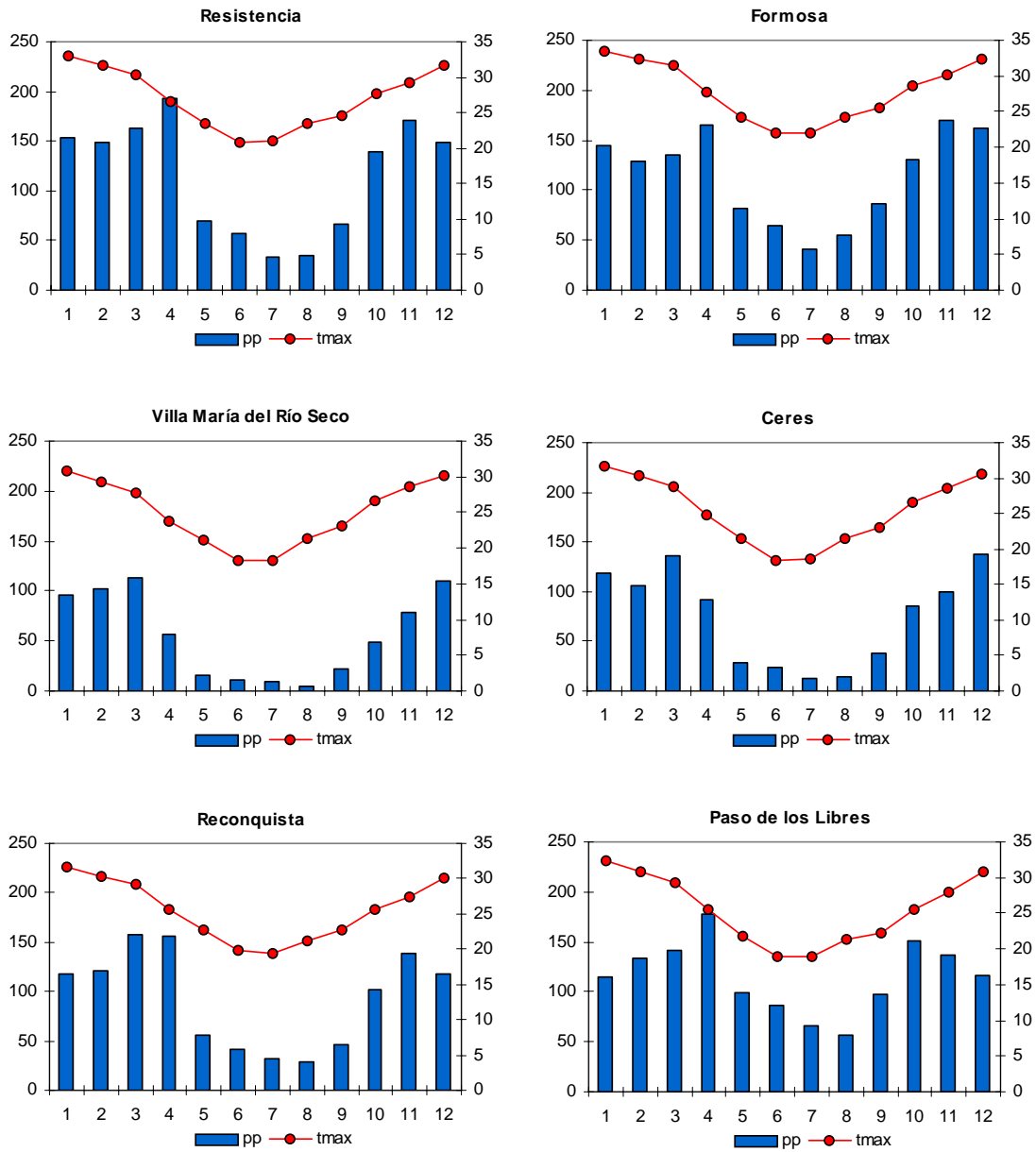


Figura 2.1.1: Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en la Argentina. Para las estaciones: Resistencia (sup. izq.), Formosa (sup. der.), Villa María del Río Seco (cen. izq.), Ceres (cen. der.), Reconquista (inf. izq.) y Paso de los Libres (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

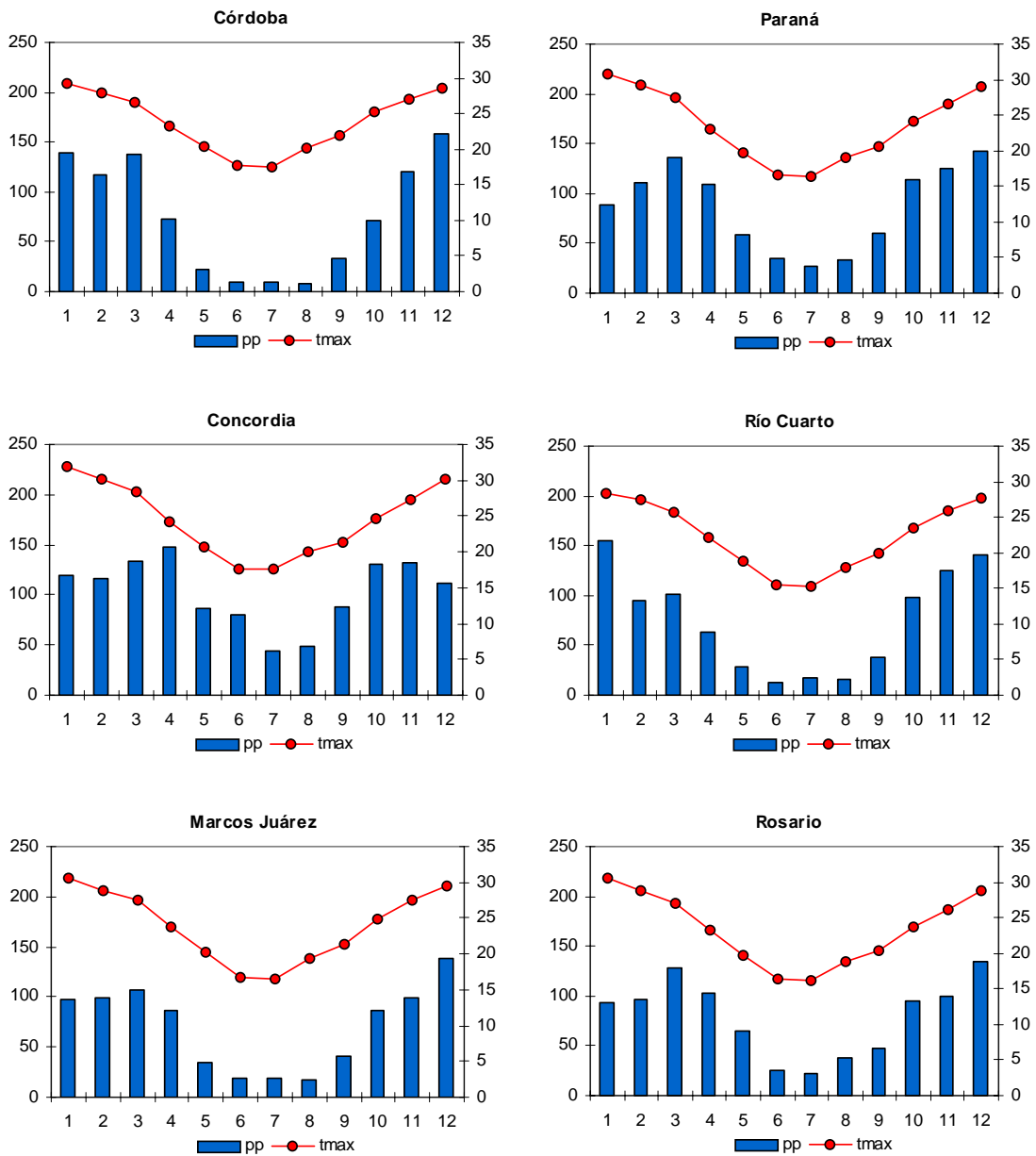


Figura 2.1.1 (continuación): Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en la Argentina. Para las estaciones: Córdoba (sup. izq.), Paraná (sup. der.), Concordia (cen. izq.), Río Cuarto (cen. der.), Marcos Juárez (inf. izq.) y Rosario (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

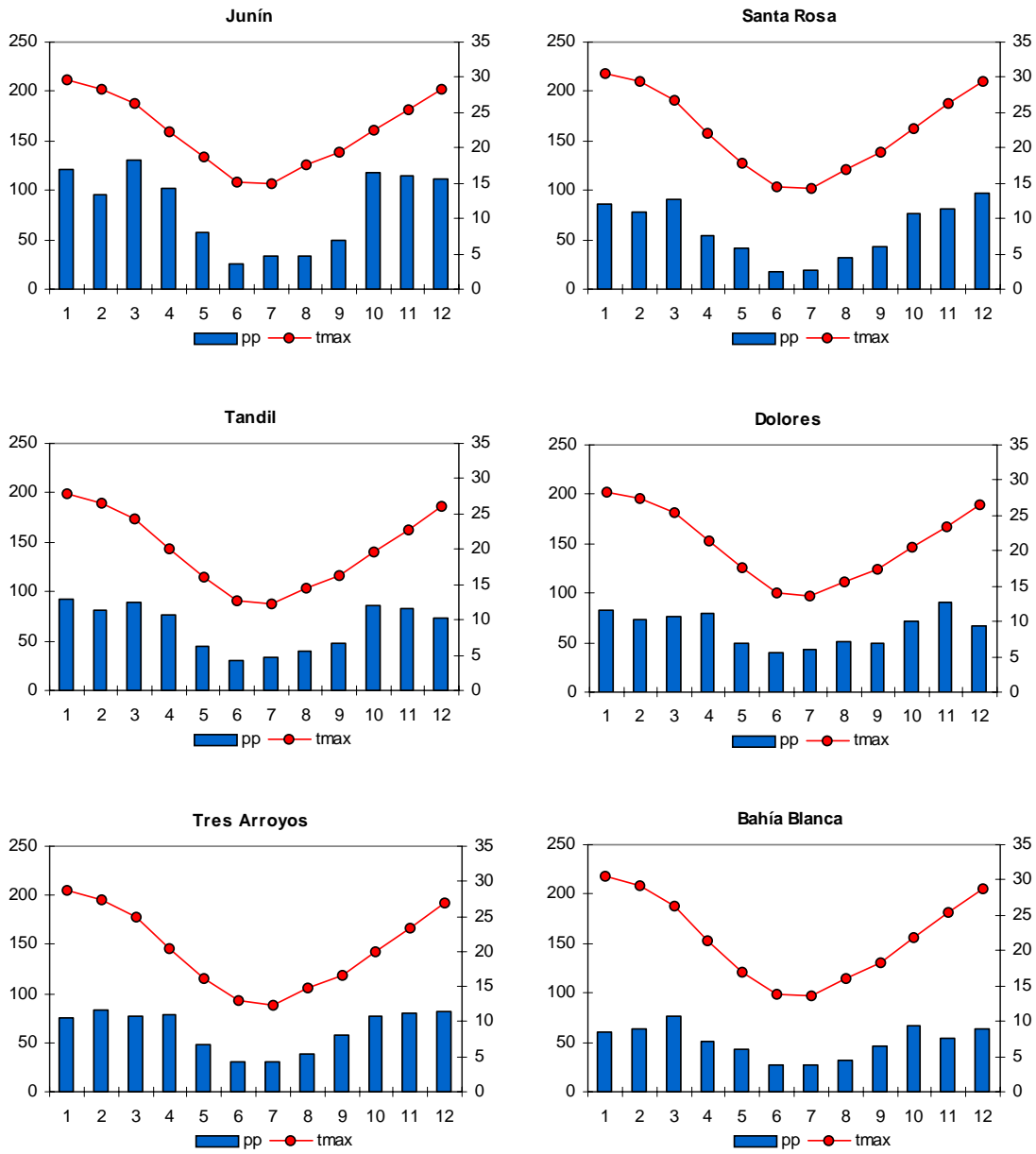


Figura 2.1.1 (continuación): Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en la Argentina. Para las estaciones: Junín (sup. izq.), Santa Rosa (sup. der.), Tandil (cen. izq.), Dolores (cen. der.), Tres Arroyos (inf. izq.) y Bahía Blanca (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

Descripción de cada estación en particular

Resistencia

Es la estación ubicada más al norte del área de estudio, presenta valores de temperatura máxima que superan los 20° C a lo largo de todo el año, alcanzando el máximo en el mes de enero con 33° C y el mínimo lo registra el mes de junio con 20,9° C. Las temperaturas mínimas presentan un comportamiento similar, con valores entre los 10°C y los 21° C. En lo que respecta a la precipitación el mayor registro es durante el mes de abril con un promedio de 193 milímetros, mientras que los mínimos están presentes en los meses invernales de julio y agosto en los cuales los valores son levemente superiores a los 30 milímetros. El acumulado anual medio alcanza el valor de 1379 milímetros.

Formosa

Tiene la particularidad de presentar a lo largo de todos los meses el mayor valor de temperatura máxima entre las 18 estaciones de referencia seleccionadas para este análisis. El mes más cálido es enero con 33,5° C y los más fríos son junio y julio con 22° C. Al igual que con la temperatura máxima, los registros de temperatura mínimas son los mayores a todas las estaciones. En cuanto a la precipitación los meses más lluviosos son abril y noviembre con registros superiores a los 160 milímetros y el mes más seco es julio con 40 milímetros. El acumulado a lo largo del año supera los 1300 milímetros.

Villa María del Río Seco

Esta estación presenta una amplitud de 12,5° C en las temperaturas máximas, siendo los meses más cálidos diciembre y enero con valores mayores a 30° C y los más fríos junio y julio cuyos registros apenas superan los 18° C. De las estaciones del norte de la región, Villa María es la que presenta el invierno con temperaturas mínimas más bajas con un registro promedio en el mes de julio de 4,4° C. El acumulado de precipitación es uno de los más bajos con apenas 665 milímetros, los cuales se distribuyen en los meses cálidos con registros que

rondan los 100 milímetros y meses invernales realmente secos con valores cercanos e inferiores a los 10 milímetros.

Ceres

En Ceres se exhibe un máximo en enero de 31,7° C y mínimos cercanos a los 18,5° C en junio y julio. En las temperaturas mínimas la amplitud es similar, el mes más frío es julio con 6,6° C y el más cálido es enero con 19,4° C. La precipitación alcanza un acumulado anual de aproximadamente 900 milímetros. Encontrándose una marcada estación seca de mayo a septiembre en la que los registros son inferiores a los 40 milímetros.

Reconquista

Las temperaturas máximas presentan una amplitud de 12,2° C, enero es el mes más cálido con 31,6° C y junio el más frío con un valor de 19,4° C. Las temperaturas mínimas tienen un rango de entre 10° C y 20° C. Las precipitaciones arrojan un acumulado mayor a los 1100 milímetros, con máximos superiores a los 150 milímetros en marzo y abril. Entre los meses de mayo a septiembre se ubica la estación seca con registros entre los 30 y los 55 milímetros.

Paso de los Libres

En esta localidad las temperaturas máximas comienzan a exhibir una amplitud mayor, debida principalmente a los 32,4° C que se alcanzan en el mes de enero ya que el mínimo de 18,8° C en julio es similar al encontrado en las estaciones cercanas. Las temperaturas mínimas rondan los 9° C en julio y superan los 20° C en los meses de verano. El acumulado anual de precipitación es uno de los mayores entre las estaciones de referencia con casi 1400 milímetros. Se observa que los meses de transición de abril y octubre se registran los máximos de 170 y 150 milímetros respectivamente. La estación seca de mayo a septiembre presenta registros superiores a los vistos en otras localidades, los mismos se encuentran entre los 60 y los 100 milímetros.

Córdoba

Las temperaturas máximas medias no superan en ninguna oportunidad los 30° C, el máximo se registra en enero con 29,2° C y el mínimo en julio con 17,4° C. Las temperaturas mínimas varían entre los meses de verano con valores cercanos a los 17° C y el mínimo de 4,4° C que se alcanza en julio. Las precipitaciones arrojan un acumulado anual de 900 milímetros, se observa una marcada estación seca con un mínimo en agosto de 8 milímetros.

Paraná

Las temperaturas máximas muestran una amplitud mayor a 14° C, registrándose un máximo en enero con 30,8° C y el mínimo de 16,5° C en junio y julio. Las temperaturas mínimas varían entre los 19,5° C (enero) y 7,5° C (julio). Al analizar el comportamiento de la precipitación se observa un acumulado superior a los 1000 milímetros, se registran 2 máximos, uno en diciembre (142 mm.) y otro en marzo (136 mm.), nuevamente la estación seca está englobada en los meses de mayo a septiembre con registros inferiores a los 60 milímetros.

Concordia

Al igual que lo visto en Paraná el rango de temperaturas máximas es de 14,4° C, con un máximo de 32° C en enero y en junio-julio se alcanza el mínimo de 17,5° C. Los valores de las temperaturas mínimas se encuentran entre los 7,8° C de julio y los 19,7° C de enero. Las precipitaciones presentan un importante acumulado anual superior a los 1200 milímetros. Los mínimos inferiores a los 50 milímetros se registran en julio y agosto, el máximo absoluto se presenta en abril con casi 150 milímetros.

Río Cuarto

Las temperaturas máximas en ningún mes superan los 30° C, el máximo se halla en enero con 28,5° C y el mínimo de 15,2° C en julio. Las temperaturas mínimas tienen un rango similar a las máximas con un valor de 13,4° C, el máximo es 17,8° C (enero) y el mínimo 4,3°

C (julio). Las precipitaciones a lo largo del año presentan un acumulado de 890 milímetros. Se observa una marcada estación seca durante el invierno con un mínimo de 12 milímetros en junio. Los máximos se ubican en el verano, con un máximo absoluto en enero de 154 milímetros.

Marcos Juárez

Con una amplitud de 13,9° C en las temperaturas máximas, esta estación presenta a enero como el mes más caluroso en promedio con 30,5° C y junio y julio como los más fríos con 16,6° C. Las temperaturas mínimas exhiben una amplitud similar con un mínimo en julio de 4,3° C y un valor máximo en enero de 17,7° C. En precipitación acumula a lo largo de un año más de 840 milímetros, la mayoría de los meses presentan registros inferiores a los 100 milímetros, salvo marzo y diciembre con 107 y 138 milímetros respectivamente. El invierno es la época más seca entre junio y agosto solamente se acumulan 50 milímetros.

Rosario

Las temperaturas máximas alcanzan su máximo en enero con 30,5° C en promedio y en junio y julio son cercanas a los 16° C, dando como resultado una amplitud mayor a los 14° C. En las temperaturas mínimas se encuentra un comportamiento similar, en julio el mínimo es de 5,2° C y en enero se superan los 18° C. A lo largo del año se acumulan en promedio casi 950 milímetros de precipitación. Se observan dos máximos en marzo y diciembre cercanos a los 130 milímetros, junio, julio y agosto solo logran acumular 84 milímetros, menos del 10% anual.

Junín

La onda anual de temperaturas máximas presenta una amplitud de más de 14° C, en ningún mes se registran valores superiores a los 30° C. El mínimo se presenta en el mes de julio con 14,8° C. Las temperaturas mínimas tienen un rango de 13° C, los meses de verano superan los 15° C y los de invierno se encuentran cercanos a los 5° C. El acumulado anual de precipitación presenta un valor cercano a los 1000 milímetros. De mayo a septiembre se

puede considerar la época seca en donde se acumula un 20% del total anual, en el resto de los meses se superan los 100 milímetros llegando al máximo de 131 milímetros en marzo.

Santa Rosa

En esta estación se superan los 16° C de amplitud en las temperaturas máximas a lo largo del año, el máximo se presenta en enero con más de 30° C y los mínimos valores en junio-julio donde apenas se superan los 14° C. Las temperaturas mínimas exhiben un mínimo en julio de 2,4° C y en los meses de verano se superan los 15° C. En las estaciones del sur del área de estudio comienza a observarse una disminución en el valor del acumulado anual de precipitación, en esta oportunidad apenas se superan los 700 milímetros, se puede dividir en un semestre más húmedo (octubre-marzo) con registros entre 75 y 100 milímetros y un semestre seco en donde se registran valores inferiores a los 50 milímetros.

Tandil

Presenta un amplio rango de temperaturas máximas a lo largo del año, el valor máximo es en enero con 27,8° C y el mínimo en julio con 12,2° C (todos los valores mensuales son los menores de todas las estaciones de referencia). En las temperaturas mínimas se encuentra que el rango es menor de solo 12° C, el valor mínimo se presenta en julio con solo 1,9° C. Las precipitaciones a lo largo del año logran acumular en promedio alrededor de 770 milímetros. Los registros mensuales no presentan una gran variación, se puede mencionar una estación seca de mayo a septiembre con valores entre 30 y 50 milímetros y los demás meses entre 75 y 90 milímetros.

Dolores

La onda anual de temperatura máxima presenta una amplitud de más de 14° C, siendo el mes más caluroso enero con 28,2° C y el más frío julio con tan solo 13,6° C. En las temperaturas mínimas existe un semestre frío (mayo – octubre) con valores por debajo de los 10° C con un mínimo de 3,9° C en julio. El mayor valor se produce en enero con 16,1° C. Los valores de precipitación tienen poca variación a lo largo del año, entre los 40 milímetros en

junio y los 90 milímetros en noviembre. Dando como resultado un acumulado de más de 770 milímetros.

Tres Arroyos

La onda anual tiene una gran amplitud con un máximo en enero de 28,8° C y un mínimo de 12,4° C en julio. Las temperaturas mínimas tienen una menor variación, los valores se encuentran entre los 3,9° C de julio y los 16,1° C de enero. Las precipitaciones que se reparten en forma similar a lo largo del año, son bajas con valores entre los 30 y los 80 milímetros mensuales que dan como resultado 760 milímetros de acumulado anual.

Bahía Blanca

Las temperaturas presentan la mayor amplitud con un valor de 17° C. Los mínimos se registran en junio – julio con un valor de 13,5° C, y el máximo se produce en enero con 30,6° C. Las temperaturas mínimas también presentan una gran amplitud anual, el máximo se produce en enero con casi 17° C y el mínimo en julio con 3° C. En esta estación se registra el mínimo de acumulado de precipitación anual con tan solo 612 milímetros. No se observa mucha variación a lo largo del anual pero si pueden mencionarse máximos relativos en los meses de transición de marzo y octubre.

2.1.2. Brasil

Se analizan las marchas de las temperaturas extremas (máximas y mínimas) y de las precipitaciones para 11 estaciones ubicadas en la zona de mayor producción de Brasil. El período de análisis comprende los años 1979 a 2009. (Figuras 2.1.2).

Análisis general

En lo que respecta a la temperatura máxima se encuentran algunas diferencias entre las estaciones ubicadas al norte del área respecto de las ubicadas en el sur. Las estaciones del norte debido a su posición geográfica presentan el doble máximo anual característico de las zonas intertropicales. Mientras que las estaciones del sur presentan el comportamiento observado en las zonas sub-tropicales. El mayor registro lo presenta Bom Jesús da Lapa con 34,6° C en octubre y el mínimo Santa María con 19° C en el mes de julio.

Las amplitudes anuales de los valores de temperatura máxima varían entre los 3° C y los 12° C entre todas las estaciones, siendo las del norte las que menores valores presentan.

En lo que a precipitación se refiere nuevamente se observa una diferenciación entre las estaciones. Las estaciones de la zona norte presentan una marcada estación húmeda en diciembre-enero-febrero producto del monzón de verano. Entre las estaciones del sur también se puede llegar a distinguir esta estación seca, pero con la salvedad de que los registros no son inferiores a los 50 milímetros, dominando un régimen bimodal con dos estaciones húmedas en marzo-abril y en septiembre-octubre.

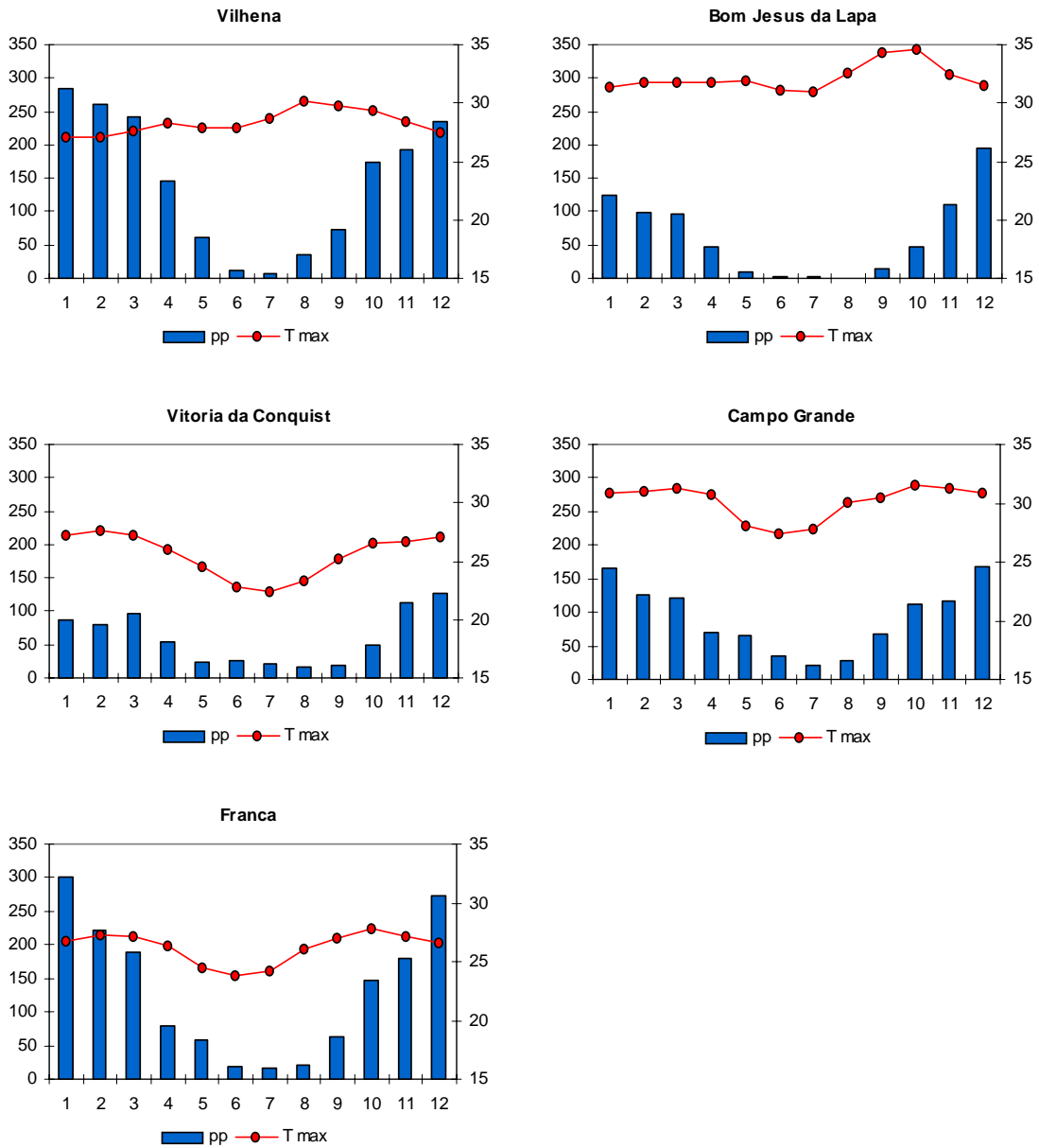


Figura 2.1.2: Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en Brasil. Para las estaciones: Vilhena (sup. izq.), Bom Jesús da Lapa (sup. der.), Vitoria da Conquist (cen. izq.), Campo Grande (cen. der.) y Franca (inf. izq.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

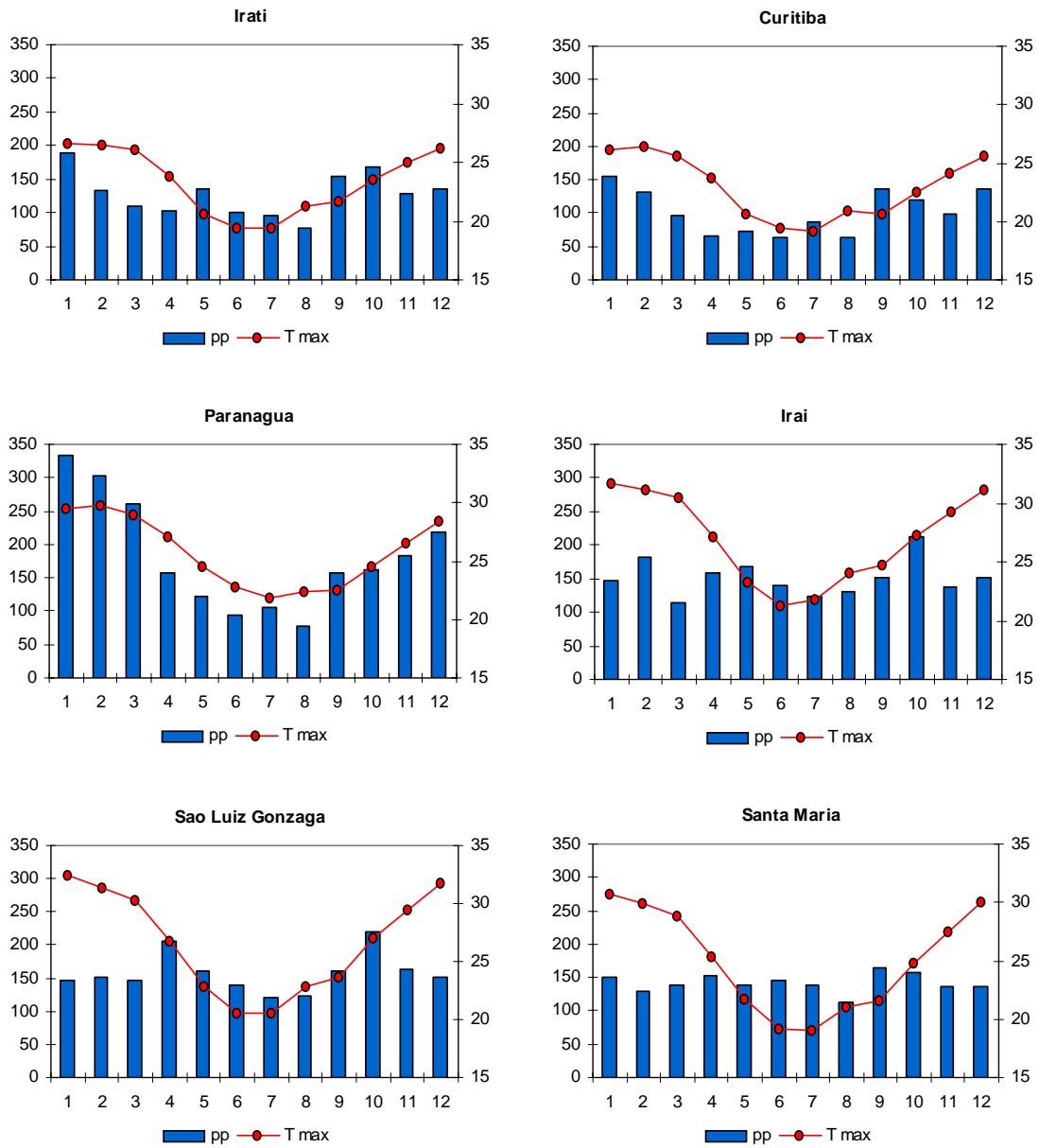


Figura 2.1.2 (continuación): Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en Brasil. Para las estaciones: Irati (sup. izq.), Curitiba (sup. der.), Paranagua (cen. izq.), Irai (cen. der.), Sao Luiz Gonzaga (inf. izq.) y Santa María (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

Descripción de cada estación en particular

Vilhena

Es la estación ubicada más al norte del área de estudio. Las temperaturas máximas se caracterizan por tener la menor amplitud anual de todas las estaciones analizadas (3,1° C). A pesar de esta baja variabilidad se pueden llegar a distinguir los dos máximos anuales en abril y agosto. Las temperaturas mínimas tienen un rango de variación de 8° C con un valor medio aproximado de 16° C. Las precipitaciones tienen una amplia variación a lo largo del año, desde octubre hasta abril los acumulados mensuales superan los 100 milímetros, pero en los meses invernales se alcanza un mínimo de 7 milímetros. Estos registros dan lugar a un acumulado anual de 1720 milímetros.

Bom Jesus da Lapa

Al igual que la estación precedente tiene una variabilidad anual muy baja en las temperaturas máximas, de tan solo 3,6° C, el mes más cálido es octubre con 34,6° C y el mínimo es durante julio con 31° C. En los meses de febrero, marzo y abril que presentan el mismo registro se puede insinuar el segundo máximo relativo. Las temperaturas mínimas también presentan un bajo rango de variación de tan solo 4,6° C y un valor medio de 20° C. En precipitación, esta es una de las estaciones que registran el acumulado más bajo a lo largo del año con tan solo 750 milímetros, debido a la presencia de una importante estación seca, en la cual entre junio y agosto solo se acumulan 5 milímetros. El mes más lluvioso es diciembre en donde se logran acumular casi 200 milímetros.

Vitoria da Conquist

Los registros de temperatura máxima en esta estación no superan los 28° C. Presenta una variabilidad mayor ya que el mínimo se registra en julio con 22,4° C. Las temperaturas mínimas muestran una variabilidad similar a lo largo del año varían entre los 14°C y los 19° C. En cuestión de precipitaciones esta estación es la que menor acumulado anual registra, superando apenas los 700 milímetros. La época menos lluviosa comprende los meses de mayo

a septiembre con valores cercanos a los 20 milímetros. El mes más lluvioso es diciembre con casi 130 milímetros en promedio.

Campo Grande

En las temperaturas máximas presenta una marcha anual con una pequeña amplitud de tan solo 4,1° C, en la que se pueden llegar a distinguir dos máximos relativos en marzo y en octubre de 31,3° C y 31,5° C respectivamente. Las temperaturas mínimas tienen una variación anual algo mayor. En ellas no se aprecia el doble máximo, ya que durante el mes de enero se registra el mayor valor de 22,3° C para luego descender con el paso de los meses hasta el mínimo de julio de 16,4° C. El acumulado anual de precipitación es de 1100 milímetros los cuales están repartidos en 6 meses más lluviosos (de octubre a marzo).

Franca

Esta estación también se encuentra en el sector norte, la temperatura máxima presenta una amplitud de 4° C, un valor medio de 26° C y dos máximos relativos en febrero y octubre. En la temperatura mínima los valores oscilan entre los 14° C y los 19° C. Las precipitaciones a lo largo del año logran acumular más de 1500 milímetros, se observa la existencia de una clara estación lluviosa de octubre a marzo, con máximo en enero de 300 milímetros. Los meses de junio a agosto son los más secos logrando un acumulado de casi 60 milímetros.

Iratí

Con esta estación se comienza el análisis de las que se ubican al sur del paralelo 25° S. Las temperaturas máximas no superan en promedio los 27° C a lo largo del año, es clara la presencia de una onda anual con máximo en enero de 26,6° C y mínimo en junio-julio de 19,4° C. Las temperaturas mínimas presentan una onda con una amplitud de 9° C y un valor medio de 13° C. En lo que se refiere a la precipitación no es clara la presencia de una estación seca, si se puede apreciar una disminución en el acumulado mensual en los meses de julio y agosto (en los cuales no se superan los 100 mm.). En el resto del año los valores no presentan grandes variaciones. El valor máximo se encuentra en enero con 190 milímetros.

Curitiba

Al igual que Iratí las temperaturas máximas presentan una onda anual con una amplitud de 7° C y un valor medio de 23° C. El máximo se produce en febrero con 26,4° C y el mínimo valor en julio con 19,1° C. En las temperaturas mínimas se encuentra un comportamiento similar, el valor máximo se produce en febrero y el mínimo en julio con 17,6° y 9,1° respectivamente. Las precipitaciones a lo largo del año acumulan más de 1200 milímetros, los mismo se reparten entre los meses en los cuales se acumulan 60 milímetros y los meses en donde el acumulado es de 130 milímetros.

Paranagua

Esta estación se encuentra a la misma latitud de las dos estaciones anteriores, pero con una ubicación costera, es por este motivo que se encontraron diferencias en el comportamiento. En las temperaturas máximas la amplitud es similar, pero la onda esta desplazada hacia valores más elevados. El máximo se produce en el mes de febrero con 29,7° C y el mínimo en julio con 21,8° C. Las temperaturas mínimas son unas de las más elevadas entre las estaciones analizadas. En el mes de febrero con 22,3° C se alcanza el mayor registro de temperatura mínima. En la precipitación se observa una onda anual, entre mayo y agosto se acumulan 400 milímetros, valor que puede compararse con lo que se acumula solamente para el mes de enero (332 milímetros). A lo largo de todo el año se registra el mayor acumulado de todas las estaciones estudiadas con más de 2100 milímetros.

Irai

Esta estación esta ubicada en la zona sur del área de estudio y por tal motivo su comportamiento se asemeja al de las estaciones de la Argentina. La onda anual de la temperatura máxima tiene una amplitud superior a los 10° C. Los máximos se los encuentra en diciembre-enero-febrero con valores superiores a los 31° C. Las temperaturas mínimas presentan un valor medio de 16° C y la onda anual tiene una amplitud de casi 10° C. Las precipitaciones logran un acumulado anual superior a los 1800 milímetros. Todos los meses

presentan registros por encima de los 100 milímetros, con un máximo absoluto en el mes de octubre de 213 milímetros.

Sao Luiz Gonzaga

Las temperaturas máximas conforman una onda anual con una amplitud de 12° C, con máximo en el mes de enero (32,4° C) y mínimo en los meses de junio y junio (20,5° C). Las temperaturas mínimas también presentan una onda anual cuyo valor mínimo se registra en julio con 11,1° C y el máximo en enero con 20,6° C. Con las precipitaciones a lo largo del año se logran acumular casi 1900 milímetros, todos los meses registran valores superiores a los 100 mm., y en abril y octubre se registran los dos máximos de 205 y 220 milímetros respectivamente.

Santa Maria

La onda anual de la temperatura máxima tiene un valor medio de 25° C y una amplitud de 12° C. En enero se registra el máximo con 30,7° C y en julio con 19° C se registra el mínimo valor para todos los meses y todas las estaciones bajo estudio. Al igual que las estaciones estudiadas anteriormente las temperaturas mínimas presentan una menor variación a lo largo del año. El máximo valor se registra en enero con 19,9° C y el mínimo en julio con 10,1° C. En lo que respecta a las precipitaciones se registra un acumulado de 1700 milímetros repartidos en forma equitativa a lo largo de los 12 meses, con un mínimo en agosto de 112 mm. y un máximo en septiembre de 164 mm.

2.1.3. Estados Unidos

Se analizan las marchas de las temperaturas extremas (máximas y mínimas) y de las precipitaciones para 12 estaciones ubicadas en la zona de mayor producción de los Estados Unidos. El período de análisis comprende los años 1979 a 2009. (Figuras 2.1.3).

Análisis general

En lo que respecta a las temperaturas máximas todas las estaciones presentan la misma forma de onda anual. Es bueno notar la diferencia que se observa entre las estaciones entre los meses de invierno y los de verano, en los primeros existe un gradiente de 12° C entre las estaciones del norte y las del sur del área de estudio. Mientras que durante el verano el mismo se reduce a solo 3° C. Esto nos da una pauta de las amplitudes anuales de cada zona, en el norte las amplitudes rondan los 28° C y en el sur descienden a los 22° C en promedio.

Con las temperaturas mínimas el comportamiento es similar solo se diferencia que los valores de gradiente entre estaciones son menores en las dos épocas del año.

En cuestión de precipitaciones los acumulados anuales se hallan entre los 850 y los 1400 milímetros. Los mismos se reparten durante todo el año, no se observa la presencia de una marcada estación seca, ya que el mínimo absoluto es de 43 milímetros y el máximo es de 138 milímetros.

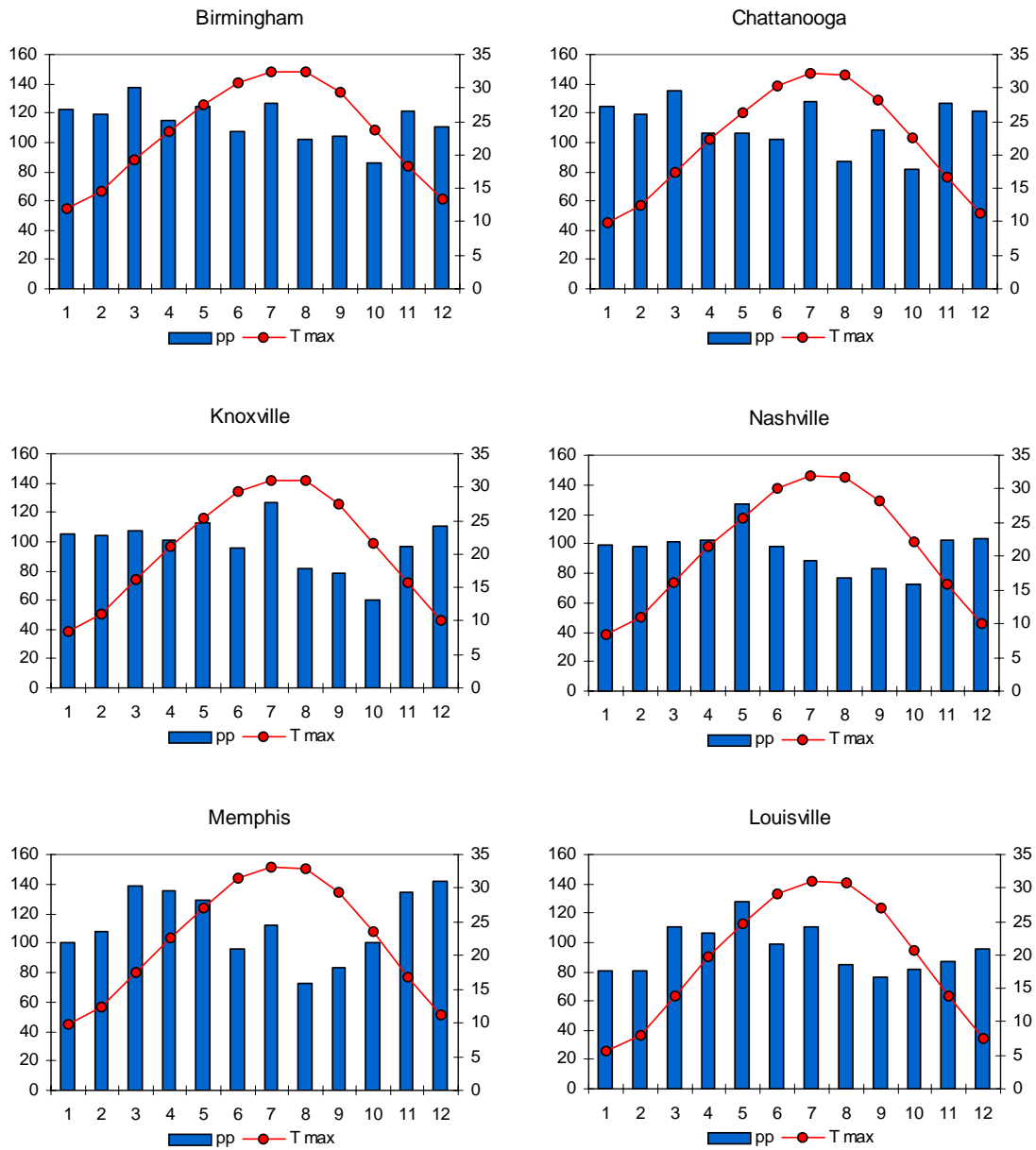


Figura 2.1.3: Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en Estados Unidos. Para las estaciones: Birmingham (sup. izq.), Chattanooga (sup. der.), Knoxville (cen. izq.), Nashville (cen. der.), Memphis (inf. izq.) y Louisville (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

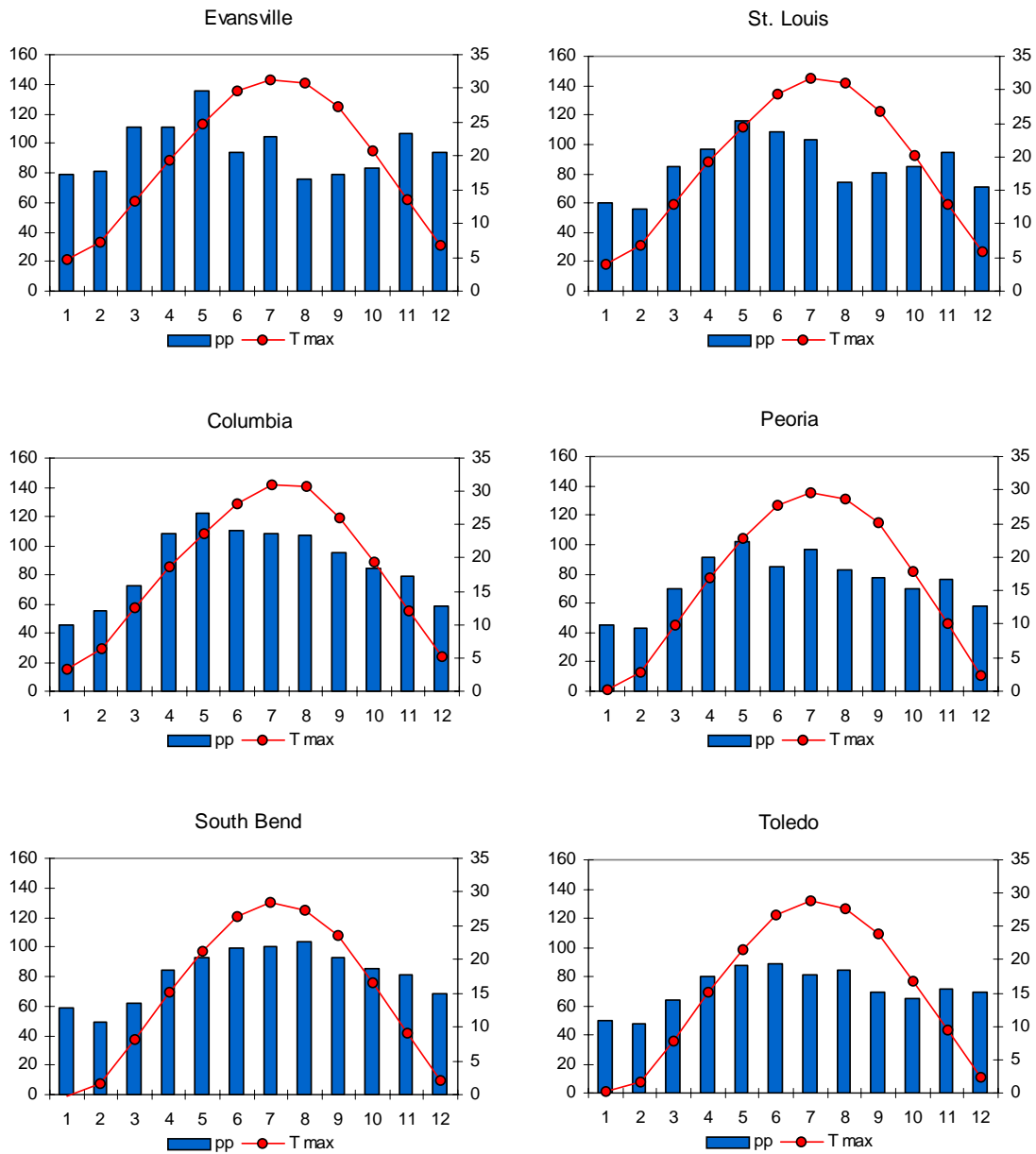


Figura 2.1.3 (continuación): Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en Estados Unidos. Para las estaciones: Evansville (sup. izq.), St. Louis (sup. der.), Columbia (cen. izq.), Peoria (cen. der.), South Bend (inf. izq.) y Toledo (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

Descripción de cada estación en particular

Birmingham

Es la estación ubicada más al sur de las elegidas para realizar este trabajo. En las temperaturas máximas presenta una onda anual con una amplitud de 20° C, en los meses de invierno el valor ronda los 13° C y en verano se superan los 32° C. Las temperaturas mínimas son muy similares con el mismo valor de amplitud en la onda anual, y su valor promedio en el año es de 11,2° C. Con las precipitaciones a lo largo del año acumula más de 1370 milímetros, el mayor acumulado de entre todas las estaciones. Este registro se distribuye de forma muy pareja el mes más lluvioso es marzo con 137 mm y el que menos precipitación registra es octubre con 86 milímetros.

Chattanooga

Esta estación presenta una amplitud mayor ya que los inviernos son más fríos, en enero la temperatura máxima presenta un valor promedio de 9,8° C. El mes más caluroso es julio en donde la máxima supera los 32° C. En las temperaturas mínimas, los inviernos son fríos con registros bajo cero en enero y entre noviembre y marzo no se superan los 5° C. Durante el verano se registra en julio un valor de 20,9° C. Las precipitaciones superan los 100 milímetros en casi todos los meses lo que produce un acumulado de 1345 milímetros al año. El máximo se produce en marzo con 135 mm y el mínimo en octubre con 81 milímetros (similar situación a la presentada por la estación anterior).

Knoxville

Las temperaturas máximas presentan un comportamiento similar al de Chattanooga, con una amplitud de 22,6° C. Los meses más cálidos son julio y agosto con igual registro de 31° C y el más frío es enero con 8,5° C. Las temperaturas mínimas en diciembre y enero son inferiores al cero grado y en julio superan los 20° C, presentando de esta forma una importante amplitud. El acumulado anual de precipitación no llega a alcanzar los 1200 milímetros, en la mayoría de los meses los registros son cercanos a los 100 milímetros, pero

puede identificarse una estación seca en agosto-septiembre-octubre en donde los acumulados se encuentran entre los 60 y 80 milímetros.

Nashville

Las temperaturas máximas son muy similares a Knoxville mes a mes. Lo mismo ocurre con las temperaturas mínimas. Las precipitaciones rondan los 100 milímetros, salvo en mayo que se produce el máximo de 127 mm y a septiembre y octubre se los puede nombrar como la estación seca al registrarse valores entre 70 y 90 milímetros.

Memphis

La amplitud de la temperatura máxima en esta estación es similar a la de las estaciones precedentes pero con la diferencia de que los registros son más altos, la máxima absoluta se produce en julio con 32° C y el mínimo se registra en enero con 9,7° C. En las temperaturas mínimas el comportamiento es similar, pero no se registran valores medios inferiores al cero grado y se produce la mínima más alta de todas las estaciones (23,4° C). La onda anual presenta un valor medio de 12° C y una amplitud de 22,8° C. El acumulado de precipitación es uno de los mayores que registran las estaciones de referencia elegidas, en esta oportunidad supera los 1350 milímetros. Los mayores registros se producen en marzo-abril-mayo (134 mm en promedio) y en noviembre-diciembre (138 mm en promedio).

Louisville

La amplitud de la temperatura máxima asciende a 25° C, esto se debe principalmente a los meses de invierno (diciembre-enero-febrero) en donde no se superan los 10° C. Las temperaturas mínimas en estos mismos meses son inferiores al cero grado, mientras que en el verano se mantienen en los 20° C como en las estaciones antes descriptas. Las precipitaciones se encuentran cercanas a los 80 milímetros mensuales entre agosto y febrero, el máximo de 127 milímetros se produce en mayo como en muchas estaciones analizadas. Esto da como resultado que al finalizar el año el acumulado sea de 1140 milímetros.

Evansville

Las estaciones ubicadas más al norte presentan amplitudes mayores en sus temperaturas. En esta oportunidad la temperatura máxima tiene una variación de más de 26° C, producto de los fríos inviernos que sufre esta región. Con las temperaturas mínimas se observa una situación similar. El invierno registra en promedio una temperatura de 3° C bajo cero y en julio se mantiene en los 20° C. Con las precipitaciones se logran acumular en un año 1154 milímetros en promedio. Repartiéndose en dos épocas de máximos: marzo-julio (en donde se acumulan 550 mm., 110 milímetros por mes) y en noviembre-diciembre con 100 milímetros en promedio.

St. Louis

En las temperaturas máximas la amplitud es mayor a la vista en las anteriores estaciones de referencia, debido a que durante el invierno se registran menores valores, siendo en promedio 5° C. Mientras que durante el verano se continúan registrando valores superiores a los 31° C. En las temperaturas mínimas los valores son muy similares a Evansville, salvo durante el verano que son algo superiores. En las precipitaciones, los acumulados disminuyen en comparación a las estaciones antes descritas. En esta oportunidad el acumulado es de 1029 milímetros, en donde se destaca la presencia de un invierno seco, con acumulados mensuales cercanos a los 60 milímetros. Mientras que el máximo nuevamente se produce en el mes de mayo con 120 milímetros.

Columbia

Con una amplitud anual de más de 27° C, esta estación presenta un invierno con temperaturas máximas que rondan los 5° C y un verano caluroso en donde se registra un máximo de 31° C en julio. Las temperaturas mínimas dan cuenta de un invierno frío con valores que se encuentran cercanos a los -5° C y en el verano los mismos rondan los 18° C. En las precipitaciones se puede observar la presencia de una onda anual con un máximo de 100 milímetros en el mes de mayo para luego presentar un invierno seco en donde se registran valores que rondan los 50 milímetros mensuales.

Peoria

Esta estación es la que presenta mayor amplitud en las temperaturas máximas, 29,4° C producto de un invierno en donde el registro promedio es de 2° C y un verano que alcanza los 29° C en julio. En las temperaturas mínimas sucede algo similar ya que en enero se registra la mínima absoluta de todas las estaciones con un valor de -8,6° C. Y el mayor valor se produce en julio con 18,6°, dando lugar a una amplitud de 27° C y un valor medio anual de 5°C. Esta estación presenta un bajo acumulado de precipitación de tan solo 900 milímetros al año, los cuales se distribuyen en forma pareja cercano a los 70 milímetros, salvo por los meses de enero y febrero que rondan los 40 milímetros y los meses de abril a julio donde el promedio es de 95 milímetros.

South Bend

En esta estación se registra la particularidad que en el mes de enero el valor de la temperatura máxima es negativo (-0,2° C) lo que provoca que durante el invierno el promedio sea de 1,3° C. En el verano se mantienen valores elevados con un promedio de 27° C. En las temperaturas mínimas se registra una amplitud de 25° C y un valor medio de 5° C. El mínimo se produce en enero con -7,8° C y el máximo en julio con 17,4° C. Las precipitaciones durante el año logran acumular 1000 milímetros, los cuales se encuentran repartidos de manera similar entre abril y noviembre, mientras que en enero y febrero se produce un mínimo de 55 milímetros en promedio.

Toledo

En las temperaturas máximas no se encuentra un comportamiento que se destaque de las estaciones cercanas ya analizadas. El mínimo es en enero con 0,2° C y el máximo es en julio con 28,9° C. Las temperaturas mínimas se distribuyen entre los -8° C en enero y los 16,6° de julio. Las precipitaciones no superan en ningún mes los 100 milímetros. Entre mayo y agosto se registran en promedio 85 milímetros mensuales. Y los mínimos se producen en enero y febrero con 50 milímetros cada mes. Esto de lugar al menor acumulado anual de tan solo 858 milímetros.

2.1.4. China

Análisis general

Para estudiar el comportamiento climático de China se seleccionan estaciones en dos zonas ya diferentes (norte y sur) en donde se cultivan maíz y soja. La zona norte esta comprendida por 5 estaciones: Chengde, Dailan, Tianjin, Peking y Chaoyang y la zona sur por 7 estaciones: Youyang, Bijie, Da Xian, Lingling, Rongjiang Guzhou, Changde y Nanchong. (Figuras 2.1.4).

Se observan notorias diferencias entre ambas zonas, por ejemplo la zona norte se caracteriza por menores acumulados de precipitación que la zona sur, pero cabe aclarar que la forma de la distribución mensual es la misma, inviernos - secos, veranos – lluviosos. En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas en las estaciones del sur a lo largo del año exhiben un amplio rango de variación que alcanza los 35° C, mientras que en la zona sur el mismo se encuentra entre los 17° C y los 23° C. Este comportamiento es similar al enunciado por Smit y Yunlong (1996) quienes en su trabajo realizan una clasificación climática y agrícola de China. A la zona este del país la dividen en regiones que son coincidentes con la zona norte y la zona sur seleccionadas para este trabajo. A la zona norte la caracterizan como un clima semi-seco a húmedo, con sequías en primavera y lluvia en verano y un acumulado anual de entre 400 y 1000 milímetros. La zona sur esta caracterizada por tener un verano caliente y una primavera lluviosa, con acumulados anuales que ascienden a los valores entre 800 y 1600 milímetros.

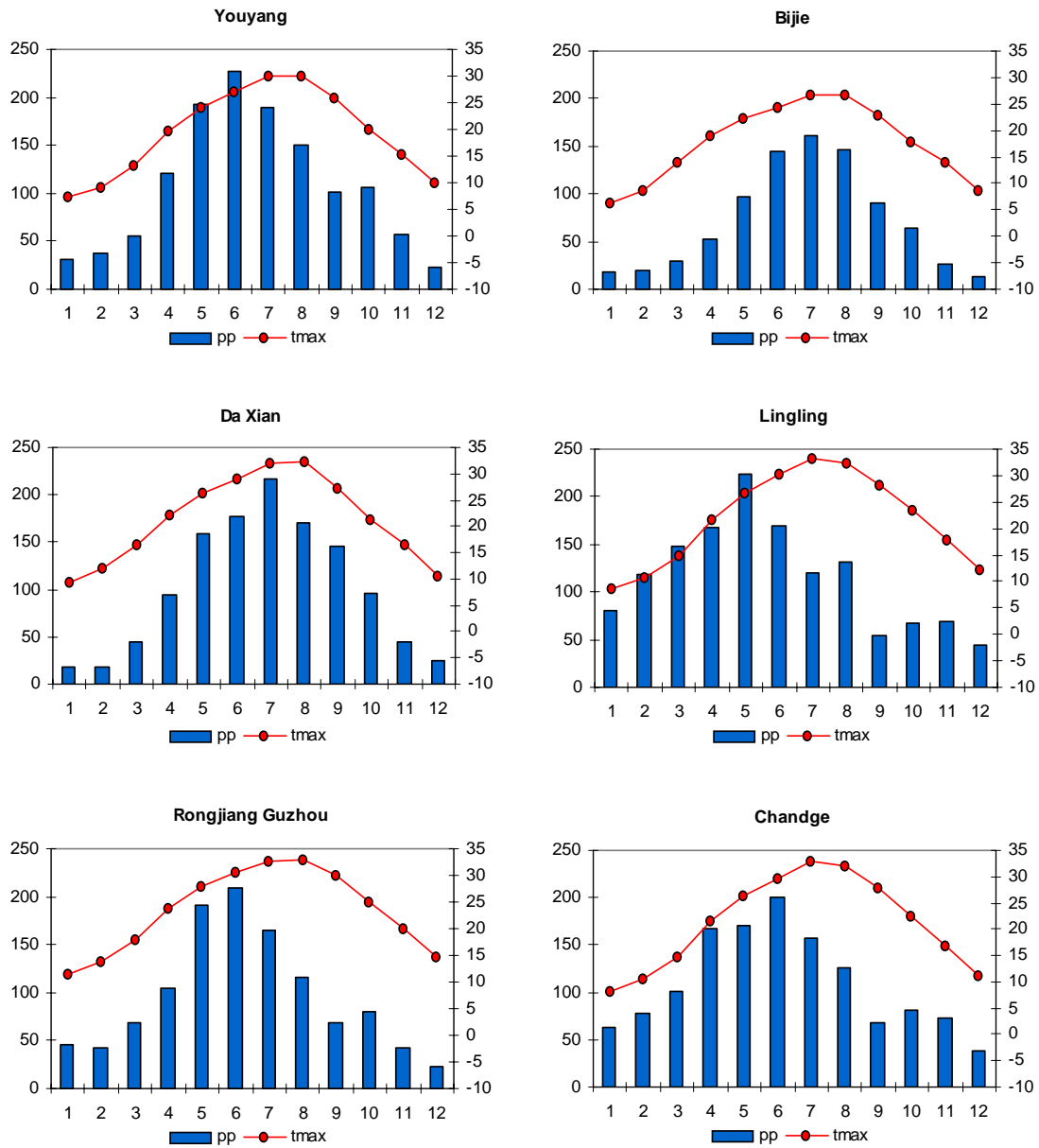


Figura 2.1.4: Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en China. Para las estaciones: Youyang (sup. izq.), Bijie (sup. der.), Da Xian (cen. izq.), Lingling (cen. der.), Rongjiang Guzhou (inf. izq.) y Changde (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

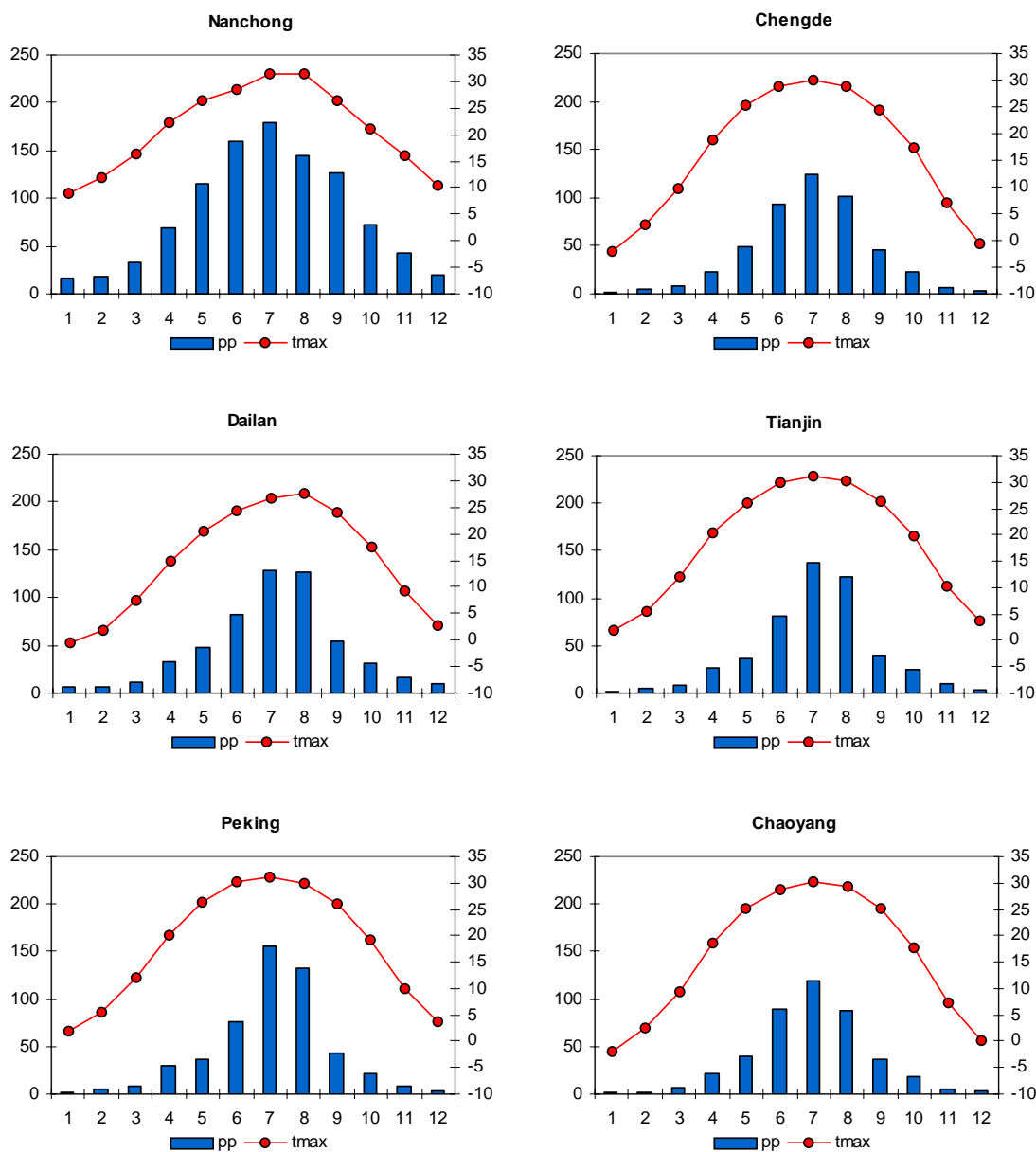


Figura 2.1.4 (continuación): Marcha anual de la precipitación (en barras) y la temperatura máxima (en líneas) en China. Para las estaciones: Nanchong (sup. izq.), Chengde (sup. der.), Dailan (cen. izq.), Tianjin (cen. der.), Peking (inf. izq.) y Chaoyang (inf. der.). Eje izquierdo precipitación en milímetros, eje derecho temperatura máxima en °C.

Descripción de cada estación en particular

Youyang

Con esta estación se comienza la descripción de las estaciones ubicadas en la zona sur. En el verano se alcanzan los 30° C y los inviernos tienen una temperatura promedio de 8° C. En las temperaturas mínimas se encuentra una variabilidad anual menor a la de las temperaturas máximas, en esta oportunidad el valor es de 20° C. El cual está representando una onda en la cual durante el verano en promedio la temperatura es de 20° y en invierno la misma ronda los 2° C. En las precipitaciones se puede observar un importante acumulado anual de casi 1300 milímetros, con importantes registros mensuales entre los meses de abril a octubre, con un máximo en junio de casi 230 milímetros. El invierno es relativamente seco, de diciembre a febrero se acumulan solamente 90 milímetros.

Bijie

La amplitud de la onda de temperatura máxima es menor en comparación a Youyang principalmente debido a que los veranos no son tan extremos en su temperatura, ya que la misma no llega a superar los 27° C. Una situación similar se observa en las temperaturas mínimas, el rango de valores se extiende desde los 18° C en julio hasta el mínimo de 1° C en el mes de enero. Bijie presenta el menor acumulado de precipitación anual de todas las estaciones de la zona sur analizadas. Los 860 milímetros se distribuyen a lo largo del año, en los meses de verano (junio a agosto) logran acumular 450 milímetros, mientras que entre noviembre y marzo solamente se registran 100 milímetros.

Da Xian

La amplitud de la onda de temperatura máxima es similar a la vista en Youyang (20° C) pero la misma se encuentra desplazada hacia valores mayores, ya que el máximo en esta localidad es superior a los 32° C y se produce en julio y agosto. La temperatura máxima promedio en el invierno es de 10° C. La temperatura mínima exhibe el mismo comportamiento, la amplitud de la onda es la misma, pero con valores mayores, en promedio todos los meses presentan un registro superior en 2° C. Esta estación logra a lo largo del año

un importante acumulado de precipitación superior a los 1200 milímetros. Entre mayo y septiembre se acumulan 870 milímetros, con un máximo en julio de casi 220 milímetros. Mientras que en el invierno solamente se alcanzan los 60 milímetros en tres meses de registro (diciembre – enero – febrero).

Lingling

Esta estación presenta una de las mayores amplitudes en la onda de temperatura máxima, debido en mayor medida al máximo de más de 33° C que se registra en el mes de julio. El resto de los meses presenta valores similares a los de las estaciones de la zona. En las temperaturas mínimas también se encuentra un amplio rango de variación de los 4° C en enero a 26° C en julio. Las precipitaciones arrojan el mayor acumulado para las estaciones de esta zona, con casi 1400 milímetros a diferencia del resto de las estaciones el máximo de 220 milímetros se produce en el mes de mayo (en el resto es durante julio o agosto).

Rongjiang Guzhou

Esta localidad presenta valores de temperatura máxima en el verano similares a los de las estaciones aledañas, es decir en promedio de 31° C. Pero es el invierno en donde se hallan diferencias con el resto de las estaciones de la zona sur, debido a que en esta estación no se registran valores inferiores a los 10° C. En las temperaturas mínimas sucede algo similar, durante el invierno los valores de dicha temperatura son superiores a los 5° C y durante el verano en promedio la temperatura mínima es de 23° C. Las precipitaciones son abundantes a lo largo del año, el mes de diciembre es el que menor acumulado registra con un promedio de 23 milímetros, luego el resto de los meses va incrementando su registro hasta alcanzar el máximo en junio con más de 200 milímetros. Estas precipitaciones dan lugar a un acumulado anual de 1160 milímetros.

Changde

Al igual que Lingling esta estación presenta la mayor amplitud en la onda anual de temperatura máxima, los registros abarcan valores desde el mínimo de 8,2° C en enero hasta

los casi 33° C de julio. En las temperaturas mínimas también se observa la mayor amplitud de entre las estaciones de la zona sur. Esto se debe a que los inviernos son relativamente fríos (3,5° C en promedio) y los veranos son cálidos (24° C en promedio). En cuanto al acumulado de precipitación esta estación presenta el segundo máximo de las estaciones de esta zona. Los más de 1300 milímetros se registran principalmente entre los meses de marzo a agosto, con un máximo de 200 milímetros en junio. En los meses de invierno, el mínimo de 38 milímetros se produce en el mes de diciembre, en enero y febrero en promedio se acumulan 65 milímetros.

Nanchong

Las temperaturas máximas dan la idea de un invierno cálido en donde en promedio presentan un valor de 10,5° C. Durante los meses de verano el valor medio es de 30,5° C. En el invierno la temperatura mínima también es superior a la vista en el resto de las estaciones (más de 5° C). En el verano el valor promedio es de 23° C, es por eso que la amplitud de la onda es de solo 20° C. Las precipitaciones presentan una variabilidad a lo largo del año que va desde un invierno seco, con un acumulado de 50 milímetros en los meses de diciembre-enero-febrero, hasta alcanzar el máximo de 180 milímetros en el mes de julio. A lo largo del año es acumulado es de 990 milímetros.

Chengde

En esta estación como en las otras que integran la zona norte la variabilidad en la temperatura máxima es elevada (en esta oportunidad 32° C) principalmente debido a lo que ocurre en los inviernos, en ellos se llegan a registrar temperaturas bajo cero. Mientras que durante el verano los registros alcanzan valores alrededor de los 30° C. Con las temperaturas mínimas se registra una amplitud aún mayor. En enero se alcanza el valor más bajo casi -15° C, mientras que en el mes de julio la temperatura asciende hasta los 20° C. Las precipitaciones en toda esta zona son escasas y en esta estación a lo largo del año solo se logran acumular en promedio 480 milímetros. Entre noviembre y marzo solo se logran acumular 23 milímetros valor similar al alcanzado en abril y octubre. En los meses más cálidos los acumulados van en aumento hasta el máximo que se produce en julio con 123 milímetros.

Dailan

Esta estación está situada en la zona más costera en comparación a las otras estaciones de la zona norte. Las temperaturas máximas a lo largo del año presentan un rango de 28° C, con un invierno frío de temperaturas máximas promedio bajo cero y veranos en donde la temperatura máxima apenas supera los 27° C. En las temperaturas mínimas también se observa menor variabilidad, el invierno no es extremadamente frío como en la estación anterior ya que el menor valor que toma esta variable es de -6° C en promedio para el mes de enero. Y el máximo se produce en el mes de agosto con 22° C. De las estaciones de la zona norte en Dailan se registra el mayor acumulado de precipitación anual con más de 550 milímetros. Julio y agosto son los meses más lluviosos con casi 130 milímetros cada uno. Los inviernos son secos con valores que van desde las 6,5 milímetros en febrero a los 18 milímetros en noviembre.

Tianjin

La onda anual de temperatura máxima tiene una amplitud de 29° C, y a diferencia de las dos estaciones descritas anteriormente en los inviernos no se registran valores inferiores al cero grado, el mínimo es en enero con 2° C y el máximo en julio es de más de 31° C. En las temperaturas mínimas el comportamiento es similar en cuanto a la amplitud de la onda. Los inviernos son fríos con un promedio de temperatura mínima de -5,5° C y en los veranos se superan los 23° C en julio. En las precipitaciones se observa un máximo marcado en el verano, en donde en julio y agosto se registran entre 120 y 140 milímetros. En los meses de transición los acumulados varían entre los 25 y los 80 milímetros. Mientras que entre noviembre y marzo solamente se logran acumular 27 milímetros.

Peking

En las temperaturas máximas el comportamiento de esta estación es muy similar al de la estación anterior, tanto en la distribución como en los valores mensuales promedios. Con las temperaturas mínimas se repite la misma situación. En las precipitaciones se encuentra un acumulado levemente mayor, en este caso de 520 milímetros, con máximos en julio y agosto

de 155 y 133 milímetros respectivamente. En los meses de invierno se repite la escasez de precipitación logrando acumular en 5 meses solamente 27 milímetros.

Chaoyang

Esta estación es la que está ubicada más al norte dentro del área de estudio. Las temperaturas máximas muestran una gran variabilidad con los meses, desde -2° C en enero hasta más de 30° C en julio. Las temperaturas mínimas también presentan un amplio rango, en esta oportunidad superior a los 35° C, debido principalmente a los bajos registros que se producen en el invierno, los cuales superan los -15° C. En cuanto a las precipitaciones se registra el acumulado más bajo a lo largo del año con tan solo 430 milímetros, entre junio y agosto logra acumular casi 300 milímetros y entre noviembre y marzo solamente se registran 18 milímetros.

2.2. Descripción Climática por Campañas

Al introducir los cultivos en el estudio se comienza a trabajar con los meses que integran ambas campañas (maíz y soja) y se decide analizar la información de las variables que se asume presentan mayor influencia en los cultivos (la precipitación que representa la energía entrante y la temperatura máxima la energía saliente en forma de evaporación en el balance hídrico general). Para así observar el comportamiento conjunto de ellas durante las campañas de los cultivos elegidos. Para analizar la coherencia de las variables entre estaciones se decide emplear un método de clusters.

Descripción de la metodología

El análisis de cluster, también llamado análisis de segmentación, crea grupos, o clústeres de los datos. En este tipo de análisis, se dispone de los valores N objetos, y el objetivo es agruparlos en K grupos ($K < N$), de tal manera que los individuos que pertenecen a un grupo se parezcan lo más posible entre sí con respecto a esas variables, y a su vez difieran lo máximo posible de los individuos de otros grupos. Este planteamiento requiere de una hipótesis previa. En nuestro caso N son las estaciones de referencia de cada país. Y las variables con que se realiza el clusters son las temperaturas máximas y las precipitaciones en los meses de la campaña del maíz.

Existen diferentes procedimientos para construir los grupos, y diferentes formas de determinar cómo se mide la similitud.

El método que se emplea es **K-means**. El mismo es una metodología no-jerárquica de *clustering*, es decir, es una forma de agrupamiento que permite la reasignación de las observaciones a medida que avanza el análisis (Wilks, 2006). El nombre K-means se refiere al número de clusters en los cuales los datos pueden ser agrupados.

Este método trata a cada dato como un objeto que tiene una ubicación en el espacio. El objetivo es encontrar un agrupamiento en el que los objetos dentro de cada grupo están tan cerca el uno del otro como sea posible, y lejos de los objetos de otros grupos.

El algoritmo K-means puede comenzar con un número predefinido de clusters. Cada uno de ellos va a estar definido por sus miembros y por su *centroide*. Este centroide es el

centro de gravedad de cada grupo, es decir, el punto al que se reduce al mínimo la suma de las distancias de todos los objetos en ese grupo.

K-means utiliza un algoritmo iterativo que minimiza la suma de las distancias de cada objeto a su centro de gravedad en todos los grupos. Este algoritmo se realiza hasta que la suma no puede ser más reducida. El resultado es un conjunto de grupos que son tan compactos y bien separados como sea posible.

Para medir la distancia entre los objetos de cada grupo y su centroide se utiliza la *Distancia euclídea*:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_k)^2 + (y_1 - y_k)^2} \quad (1)$$

Siendo (x_1, y_1) un punto perteneciente al grupo K, cuyo centroide es (x_k, y_k) .

¿Cuál es la utilidad que representa este método?

Nos permite representar el comportamiento de las estaciones de referencia mediante un número pequeño de patrones o clusters.

La cantidad de clusters en cada una de las regiones de estudio resulta de minimizar las varianzas en cada grupo.

Dado que los meses que integran la campaña de la soja están incluidos en la campaña del maíz en todas las regiones, se decidió hacer el estudio para la campaña del maíz.

2.2.1. Argentina

En los gráficos de la evolución conjunta de la temperatura máxima y la precipitación en los nueve meses que integran la campaña, en forma subjetiva se analizan los comportamientos entre las estaciones (figuras no mostradas) y es clara la diferencia de forma que presentan la curva entre el grupo de estaciones ubicadas más al sur (Santa Rosa, Tandil, Dolores, Tres Arroyos y Bahía Blanca) con una posición más horizontal que las estaciones del norte, lo que está demostrando la poca variación en los acumulados de precipitación a lo largo de la campaña. En varias estaciones se observa una particularidad para la precipitación entre el último mes de la floración y el primero de la cosecha, presentando este último un

acumulado superior al primero. (Formosa, Villa María, Ceres, Córdoba, Paraná, Marcos Juárez, Rosario, Junín, Santa Rosa, Dolores). En lo que respecta al rango de temperaturas máximas hay algunas diferencias principalmente debido a su ubicación geográfica (norte – sur).

En la Argentina se emplea el método de K-means a las 18 estaciones de referencia.

En el primer caso, la aplicación del método para $k = 2$, devuelve dos curvas de temperatura máxima vs. precipitación, con dos formas bien diferentes.

En la Figura 2.2.1 se presentan los gráficos que muestran la relación existente entre ambas variables a lo largo de la campaña, el patrón de colores de las figuras es el siguiente: círculos rojos indican los meses de la siembra, verdes los de la floración y azules los de la cosecha.

Las estaciones que integran el primer grupo (“1/2” - gráfico de la izquierda) son: Villa María, Marcos Juárez, Santa Rosa, Tandil, Dolores, Tres Arroyos y Bahía Blanca. En el gráfico se observa como el rango de temperatura comprende desde los 18° C hasta los 30° C, y las precipitaciones presentan muy poca variación a lo largo de los meses, con un valor promedio entre los 40 y los 100 milímetros. Durante los meses de la siembra se produce un aumento en los acumulados de precipitación, los cuales se mantienen estables a lo largo de la floración, y durante la cosecha se registran disminuciones de entre 30 y 40 milímetros entre un mes y el otro. En lo que respecta a las temperaturas las variaciones durante la campaña no muestran grandes particularidades, su comportamiento es acorde a la época del año. A lo largo de la campaña se observa en acompañamiento entre ambas variables, los meses en donde se produce la mayor precipitación son aquellos en donde se registran las temperaturas máximas más elevadas.

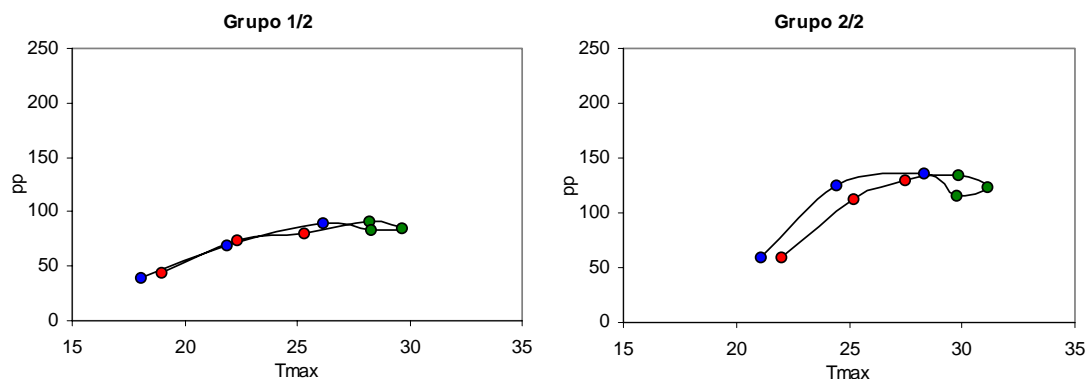


Figura 2.2.1: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima ($^{\circ}$ C) para los meses que integran la campaña del maíz en Argentina. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha: grupo de estaciones “1/2”, izquierda: grupo de estaciones “2/2” según Tabla DCC 2.2.1).

La curva del segundo grupo de estaciones (“2/2” - gráfico de la derecha) tiene un número mayor de estaciones asociadas (Resistencia, Formosa, Ceres, Reconquista, Paso de los Libres, Córdoba, Paraná, Concordia, Río Cuarto, Rosario y Junín). En lo que respecta a las temperaturas máximas se observa un corrimiento hacia valores mayores, el rango de las mismas esta comprendido entre los 21° C y 31° C. Las precipitaciones también son mayores, superando los 130 milímetros. En los meses de la siembra se produce un importante aumento en los acumulados de precipitación, en el primer mes se registran 60 milímetros y este valor se duplica en el siguiente mes, para luego mantenerse en ese rango de valores durante los meses subsiguientes, mientras que en el último mes que integra la campaña los registros disminuyen drásticamente alcanzando el mismo valor del comienzo de la siembra.

Si se comparan las dos variaciones conjuntas, se observa que la generada por el grupo “2/2” presenta mayores valores en ambas variables que la generada por el grupo “1/2”, en forma gráfica la variación conjunta en el tiempo es similar en ambos casos.

Al tomar solo dos grupos hay estaciones que en forma subjetiva en el gráfico no están bien representadas, por ese motivo se decide realizar un análisis con tres clusters. Las curvas características de cada uno de ellos están presentadas en la Figura 2.2.2.

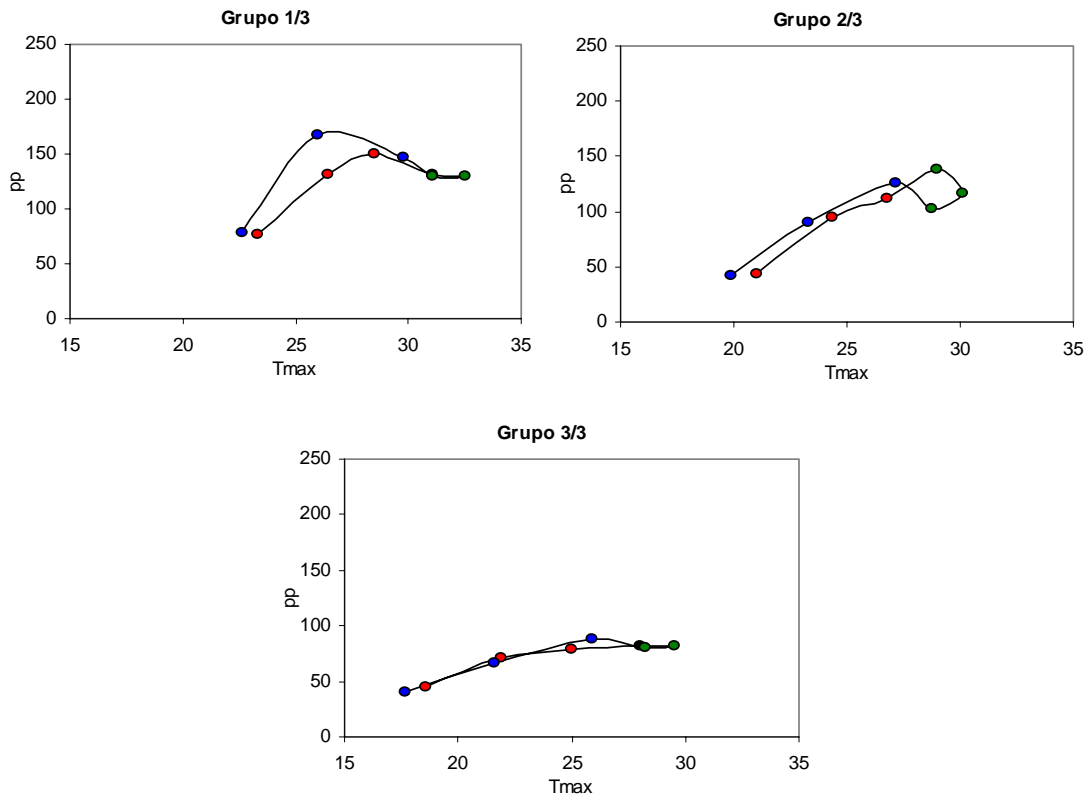


Figura 2.2.2: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en Argentina. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha superior: grupo de estaciones “1/3”, izquierda superior: grupo de estaciones “2/3”, central inferior: grupo de estaciones “3/3” según Tabla 2.2.1).

Comenzando el análisis con el tercer grupo (“3/3” - gráfico inferior) la forma de la curva es muy similar a la vista para el primer grupo de la separación en dos clusters, nuevamente las estaciones asociadas son las que se ubican en la zona sur del área de estudio (Santa Rosa, Tandil, Dolores, Tres Arroyos, Bahía Blanca) a las que se suma Villa María que en esta oportunidad presenta valores de distancias similares entre el grupo 2 y 3. El análisis de la evolución de las variables es análogo al ya realizado debido a la gran similitud entre ambas curvas.

En esta oportunidad el resto de las estaciones se encuentra dividido entre el grupo “1/3” (gráfico superior izquierdo) conformado por: Resistencia, Formosa, Reconquista, Paso de los Libres y Concordia y el grupo “2/3” (gráfico superior derecho) que lo integran: Ceres, Córdoba, Paraná, Río Cuarto, Marcos Juárez, Rosario y Junín.

En el grupo “1/3” se observa que la evolución conjunta de ambas variables se desarrolla en el caso de las temperaturas máximas en un rango de entre los 22° y 33° C y las precipitaciones entre los 70 y 170 milímetros. En los meses de la siembra se advierte un fuerte aumento en los acumulados de precipitación (se duplica el valor) y lo mismo puede decirse de los valores de temperatura máxima. En el último mes de la siembra se produce un pico en el acumulado de precipitación, para luego mantenerse estable durante los meses de floración, en este período las temperaturas máximas alcanzan su máximo registro como es de esperar por la época del año. Durante la cosecha las temperaturas disminuyen en forma escalonada con un promedio de 3 ó 4° C por mes. Las precipitaciones en los dos primeros meses presentan valores superiores a los vistos durante la floración y más aún se alcanza el máximo acumulado de toda la campaña, pero al finalizar la misma las precipitaciones disminuyen repitiéndose los registros observados al comienzo de la campaña.

En el grupo “2/3” el rango de las temperaturas es de 20° a 30° C, y las precipitaciones de 40 a 140 milímetros. Durante los meses de siembra (círculos rojos en el gráfico) como se viene observando en los demás casos las precipitaciones aumentan en forma escalonada. En el primer mes de la floración se produce el máximo en los acumulados de precipitación, en los dos meses restantes de esta etapa la precipitación disminuye, para luego presentar el segundo máximo relativo en el primer mes de la cosecha, generando de esta manera una forma particular (un rulo) en la curva. En los restantes meses de la cosecha los acumulados disminuyen hasta alcanzar nuevamente un valor aproximado de 40 milímetros.

La separación en tres clusters representa de una mejor manera el comportamiento de las 18 estaciones de referencia.

2.2.2. Brasil

En el análisis del comportamiento conjunto entre la precipitación y la temperatura máxima en los meses que comprenden las campañas para cada una de las estaciones se observaron diferentes tipos de curvas, con mayor o menor variación en las precipitaciones y en las temperaturas máximas. (Figura no mostrada). En el conjunto de las cinco estaciones ubicadas la zona norte del área de estudio, se observa que existen algunas diferencias en la forma que la curva adopta, Vilhena y Bom Jesus da Lapa tienen la particularidad de variar muy poco su temperatura máxima (solo 1,3° C), mientras que las otras tres estaciones

(Vittoria da Conquist, Campo Grande y Franca) presentan un rango entre los 3° C y los 5° C. En lo que respecta a la precipitación se invierten los roles, siendo las dos primeras las que mayor variación exhiben. Entre las estaciones que se encuentran en el sur del área de estudio también se observan diferencias en los comportamientos. Existiendo estaciones como Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa Maria que presentan poca amplitud en las precipitaciones pero mayor amplitud en las temperaturas. Mientras que por ejemplo Iratí o Paranagua exhiben una importante variación en los acumulados de precipitación y el rango de temperaturas máximas es menor con respecto a las estaciones antes mencionadas.

Al aplicar el método de clusters para el caso de $k = 2$ el resultado arroja dos grupos bien diferenciados uno del otro (Figura 2.2.3). El primer patrón (grupo “1/2” – gráfico de la izquierda) presenta una baja amplitud en las precipitaciones (60 milímetros). Mientras que las temperaturas máximas varían en un rango de 8° C a lo largo de la campaña. Los dos meses de la siembra (círculos rojos) son muy similares tanto en los valores de precipitación (125 y 150 milímetros) como en los de la temperatura máxima (28° C y 29° C).

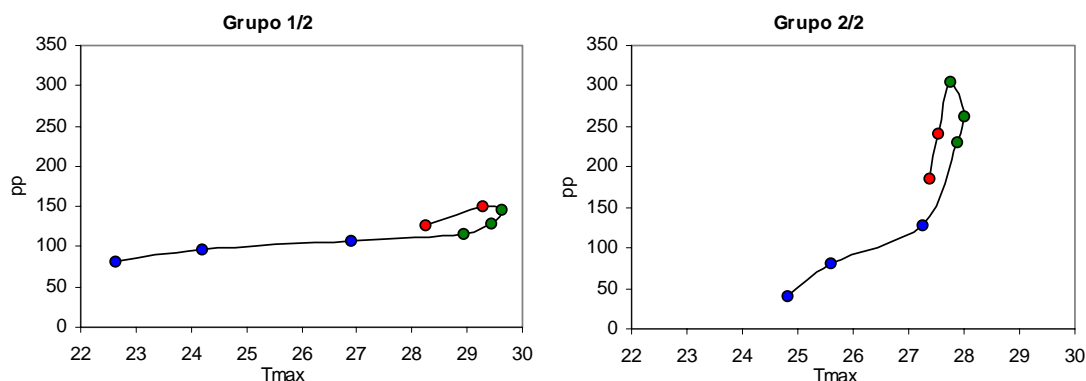


Figura 2.2.3: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en Brasil. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha: grupo de estaciones “1/2”, izquierda: grupo de estaciones “2/2” según Tabla 2.2.2).

Una situación similar sucede durante los tres meses de la floración (círculos verdes) en donde las temperaturas son cercanas a los 29° C y las precipitaciones se encuentran entre los 145 y 115 milímetros. Finalmente durante la cosecha las precipitaciones van disminuyendo mes a mes hasta registrar 80 milímetros en el último mes de la campaña, las temperaturas también disminuyen más de 2° C entre un mes y el otro. Las estaciones asociadas con este

patrón son: Bom Jesús da Lapa, Vitoria da Conquist, Campo Grande, Iratí, Curitiba, Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa María.

El segundo patrón (grupo “2/2” - gráfico de la derecha) nuevamente presenta poca variación en las temperaturas máximas a lo largo de los primeros meses de la campaña. En lo que respecta a las precipitaciones los acumulados mensuales son mayores a los vistos en el primer patrón. Los meses de la siembra alcanzan registros de 180 y 240 milímetros. En la etapa de floración se registra el máximo absoluto con más de 300 milímetros, los dos meses restantes de esta etapa presentan valores cercanos a los 250 milímetros. Durante la cosecha los acumulados son cada vez menores hasta registrar 40 milímetros en el último mes. Las temperaturas disminuyen en forma gradual de 27° a 24° C. Las estaciones que integran este grupo son: Vilhena, Franca y Paragua.

En forma subjetiva ambas curvas son similares en forma salvo la diferencia en la orientación de las mismas.

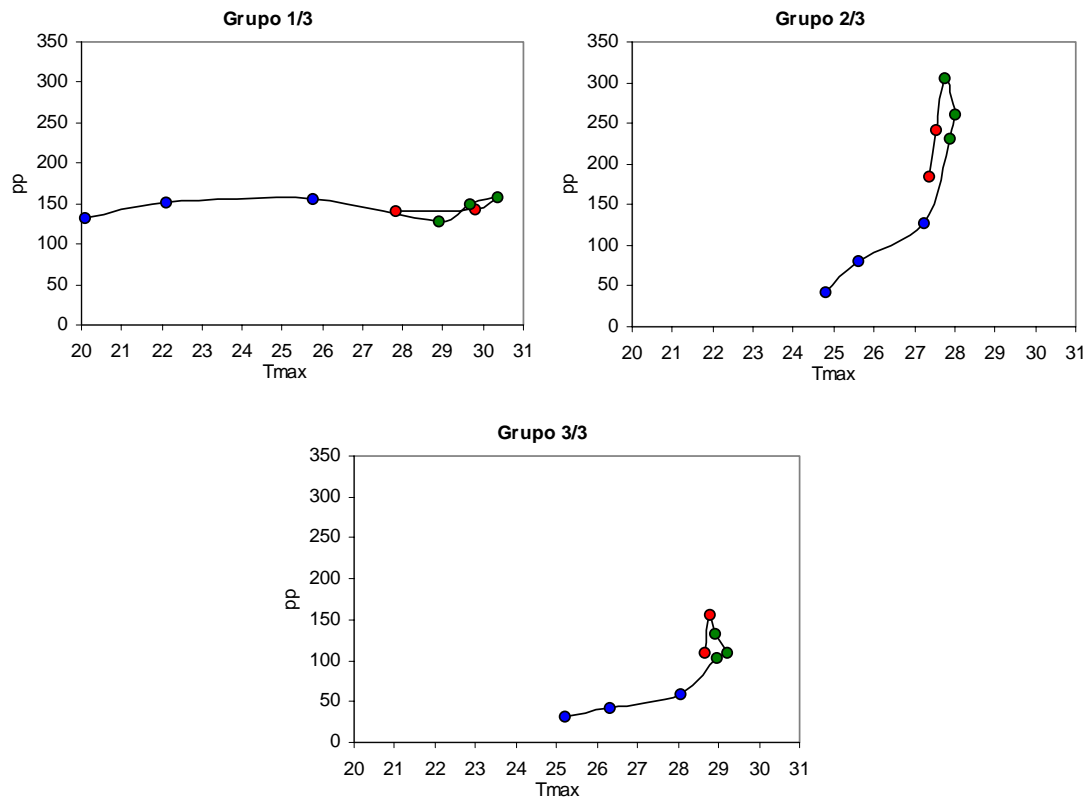


Figura 2.2.4: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en Brasil. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha superior: grupo de estaciones “1/3”, izquierda superior: grupo de estaciones “2/3”, central inferior: grupo de estaciones “3/3” según Tabla 2.2.2).

Al igual que lo realizado para la Argentina se decide agrupar a las estaciones de referencia en 3 grupos, el resultado es 3 patrones diferentes entre si. Uno de ellos exhibe mucha variación en las temperaturas máximas y poca amplitud en la precipitación, otro presenta el caso opuesto y un tercero que muestra variaciones en ambas variables. (Figura 2.2.4).

El primer patrón (grupo “1/3”) presenta una forma muy similar al primero de la separación en dos clusters detallado con anterioridad. En esta oportunidad el rango de temperaturas máximas es mayor, abarca de los 20° C a los 30° C, y las precipitaciones muestran menos variabilidad ya que los valores mensuales se encuentran entre los 130 y los 160 milímetros. Los meses de la siembra son muy iguales entre si con temperaturas máximas entre los 28° y 29° C y precipitaciones de 140 milímetros. Durante la floración hay muy poca diferencia en los acumulados de precipitación registrándose un máximo de 160 milímetros y las temperaturas se encuentran cercanas a los 29° C. En los tres meses que integran la cosecha se mantienen los mismos acumulados en las precipitaciones, en el último mes de la campaña se registra el mínimo valor de 130 milímetros. Las estaciones asociadas a este patrón son: Iratí, Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa María.

Con el segundo patrón (grupo “2/3”) están asociadas las estaciones: Vilhena, Franca y Paranagua. El patrón se caracteriza por ser más “vertical” que el anterior. En los meses de la siembra la precipitación aumenta de 180 a 240 milímetros y los valores de la temperatura se mantienen en los 27° C. En el primer mes de la floración se alcanza el máximo acumulado de precipitación es de 300 milímetros, para luego descender a valores de 260 y 230 milímetros en los siguientes meses, la temperatura máxima no presenta variaciones y su valor ronda los 28° C durante los tres meses de esta etapa. En la cosecha hay un importante descenso en los acumulados de precipitación, registrándose sucesivamente 130, 80 y 40 milímetros en los tres meses que comprende esta etapa. Las temperaturas máximas también descienden llegando a los 24° C en el último mes de la campaña.

Por último el tercer patrón (grupo “3/3”) representa a las estaciones de Bom Jesús da Lapa, Vitoria da Conquist, Campo Grande y Curitiba. Durante la siembra y la floración el comportamiento de ambas variables es muy similar en todos los meses. Las temperaturas máximas se encuentran entre los 28° y 29° C. Y las precipitaciones oscilan entre los 100 y los 160 milímetros, este máximo valor es alcanzado en el segundo mes de la siembra. En los tres meses de la cosecha las temperaturas van disminuyendo escalonadamente hasta registrar 25°

C. Con las precipitaciones sucede algo similar, las mismas disminuyen hasta acumular 30 milímetros en el último mes de la campaña.

La separación de las estaciones en tres grupos representa en forma subjetiva de una mejor manera las variaciones conjuntas de la temperatura máxima y la precipitación de todas las estaciones de referencia utilizadas.

2.2.3. Estados Unidos

Como ya mencionamos para los otros países al introducir el concepto de campaña, se estudia el comportamiento conjunto de la temperatura máxima y la precipitación en los meses que integran la campaña del maíz (abril a noviembre). La campaña de la soja tiene una duración menor ya que comienza en el mes de junio y finaliza en noviembre al igual que el maíz. En la evolución conjunta para las estaciones se observa (figuras no mostradas) que: las estaciones ubicadas en el centro y en el sur presentaron una forma similar en la curva que relaciona ambas variables, mientras que en las estaciones del norte (Peoria, South Bend y Toledo) esta curva comienza a ser más aplanada, indicando una menor variabilidad en las precipitaciones.

Al aplicar el método de K-means de dos clusters, las curvas de variación conjunta de precipitación y temperatura máxima arrojan dos comportamientos muy disímiles.

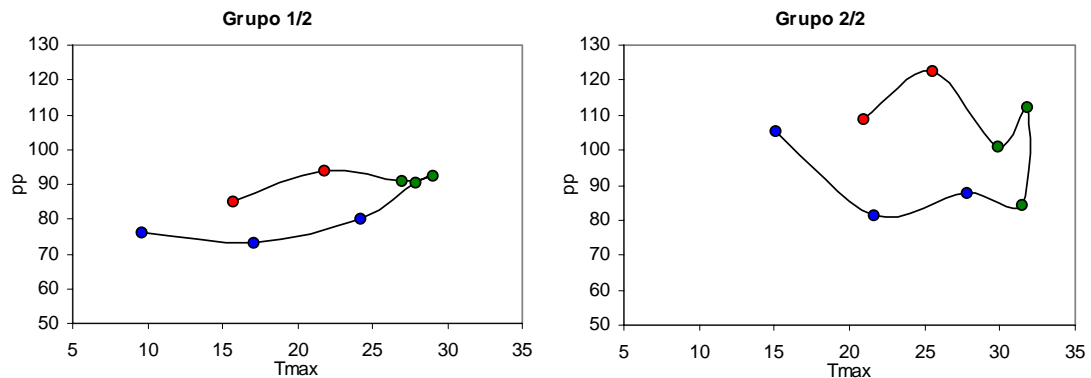


Figura 2.2.5: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en Estados Unidos. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha: grupo de estaciones “1/2”, izquierda: grupo de estaciones “2/2” según Tabla 2.2.3).

El primer patrón perteneciente al grupo “1/2” (Figura 2.2.5, izquierda) en rasgos generales presenta una mayor variación de la temperatura máxima y una levemente menor amplitud en las precipitaciones al compararlo con el segundo patrón.

Con el primer patrón están asociadas las estaciones de Peoria, South Bend y Toledo. En los dos meses de la siembra (círculos rojos) las temperaturas máximas aumentan de los 16° a los 22° C, y las precipitaciones son de 85 y 95 milímetros (valor máximo de la campaña). En los tres meses que comprenden la floración las temperaturas máximas son similares llegando a registrar 28° C y los valores de precipitación también son semejantes con un máximo relativo durante el segundo mes de 92 milímetros. En los tres meses de la cosecha se observa un descenso en las temperaturas pasando de 24° a 17° y a 9 ° C. Las precipitaciones presentan un comportamiento semejante a lo largo de los tres meses con un acumulado promedio de 75 milímetros.

Al analizar la evolución conjunta de ambas variables en el segundo patrón (grupo “2/2” – gráfico de la derecha) se percibe una variabilidad mes a mes, tanto en la temperatura máxima como en la precipitación durante toda la campaña. La campaña comienza con una temperatura máxima de 21° C y asciende en el segundo mes de la siembra a 25° C, en estos dos meses las precipitaciones también aumentan de 110 a 125 milímetros (este último valor es el máximo de la campaña). En los meses de la floración la temperatura aumenta ubicándose entre los 30° y los 31° C, mientras que las precipitaciones presentan menores acumulados salvo por en el segundo mes de esta etapa en donde se registra un máximo relativo de 112 milímetros, en el tercer mes vuelve a disminuir con tan solo 80 milímetros. Al comenzar la cosecha estos registros de precipitación se mantienen pero en el último mes de la campaña se produce la particularidad de registrarse un importante aumento en los acumulados, característica que no se observó en las otras zonas de estudio (Argentina y Brasil). Las temperaturas máximas durante la cosecha disminuyen de acuerdo a la época del año, llegando a 15° C en el último mes. Las estaciones que conforman este grupo son: Birmingham, Chattanooga, Knoxville, Nashville, Memphis, Louisville, Evansville, St. Louis y Columbia.

Cuando dividimos en tres clusters se observan algunas similitudes entre los tres patrones: un aumento en la precipitación en el segundo mes de la campaña para luego disminuir en el tercero, y un aumento en la precipitación en el último mes de la campaña. (Figuras 2.2.6).

Con el primer patrón perteneciente el grupo “1/3” (Figura 2.2.6 superior izquierda) están asociadas la mayor cantidad de estaciones: Knoxville, Louisville, Saint Louis, Columbia, Peoria, South Bend y Toledo. La forma de la curva es muy similar al segundo patrón de la clasificación de dos clusters, con un aumento en ambas variables durante la siembra (de 18° a 24° C y 95 a 110 milímetros). En la floración las temperaturas máximas se encuentran cercanas a los 29° C y las precipitaciones se hallan entre los 90 y 105 milímetros. En la cosecha las temperaturas máximas descienden de los 25° a casi los 10° C. Y las precipitaciones se mantienen cercanas a los 80 milímetros (con un pequeño aumento en el último mes de la campaña).

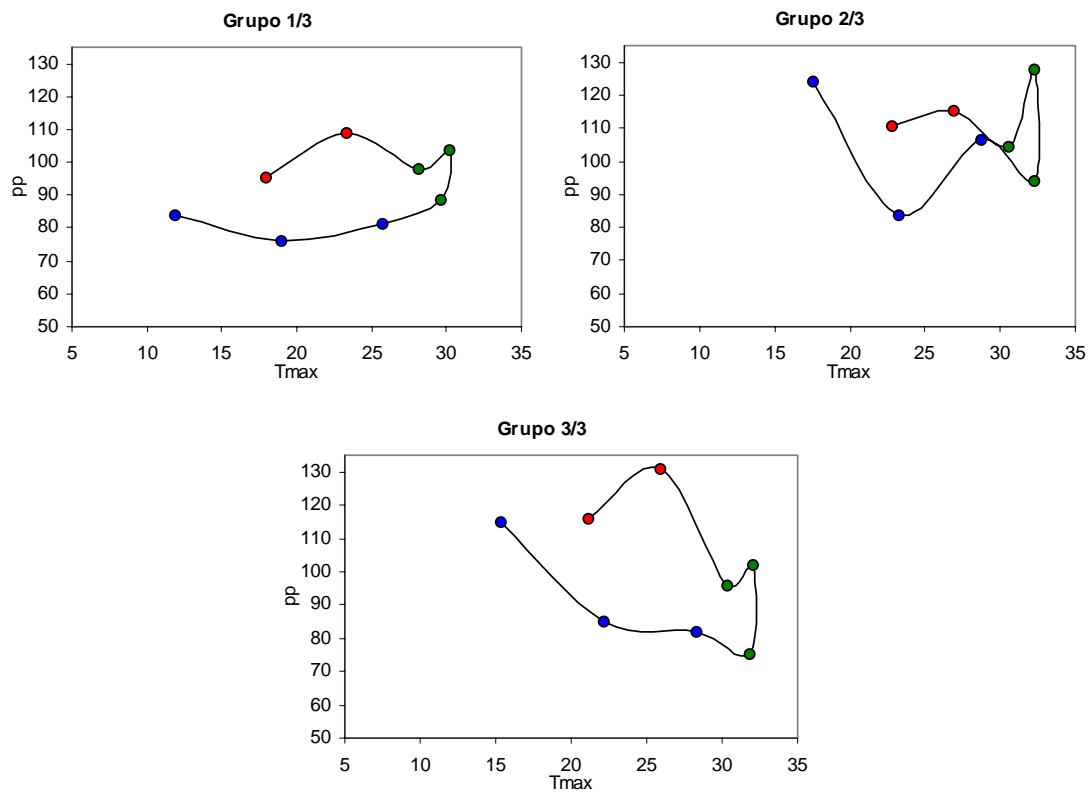


Figura 2.2.6: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en Estados Unidos. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha superior: grupo de estaciones “1/3”, izquierda superior: grupo de estaciones “2/3”, central inferior: grupo de estaciones “3/3” según Tabla 2.2.3).

El segundo patrón (grupo “2/3” – gráfico superior derecho) presenta fluctuaciones mes a mes en los registros de la precipitación. Como se viene observando en los anteriores patrones en los meses de la siembra se registra un aumento en la temperatura y en los acumulados de precipitación. En la floración se observan cambios en el acumulado mes a mes, en el primer y último mes se registran mínimos y durante el segundo mes de la etapa se produce el máximo de la campaña con 130 milímetros. En las temperaturas no hay mucha variabilidad, las mismas rondan los 32° C. Finalmente en la cosecha se distingue un descenso en las temperaturas máximas de los 28° a los 17° C. Con las precipitaciones se produce un descenso entre el primer y el segundo mes (105 a 80 milímetros), para luego en el último mes registrarse el segundo máximo relativo de la campaña con 125 milímetros. Birmingham y Chattanooga son las estaciones que pertenecen a este grupo.

En el último patrón el comportamiento de las temperaturas es muy similar a los vistos en los otros dos patrones, en esta oportunidad el rango de valores se encuentra entre los 15° y los 32° C. Las precipitaciones presentan el máximo absoluto en el segundo mes de la siembra (130 milímetros), durante la floración se produce un descenso registrando entre 75 y 100 milímetros al mes. Por último durante la cosecha los acumulados van aumentando hasta alcanzar un valor de 115 milímetros (el 3° máximo relativo). Las estaciones que se asocian con este patrón son Nashville, Memphis y Evansville.

2.2.4. China

Continuando con el estudio se analiza el comportamiento conjunto de las temperaturas máximas y las precipitaciones a lo largo de las etapas que comprenden la campaña del maíz. En lo que respecta a los aspectos generales de las curvas para las estaciones del norte (Chengde, Dailan, Tianjin, Peking y Chaoyang) se observa la forma particular que presentaron todas ellas (figura no mostrada), en las cuales los valores que toman ambas variables en los meses de siembra (abril-mayo) son muy similares a los de la cosecha (agosto-septiembre-octubre), por tal motivo la curva es muy estrecha. En las estaciones del sur (Youyang, Bijie, Da Xian, Lingling, Rongjiang Guzhou, Changde y Nanchong) la forma de la curva cambia ampliamente. En todas las estaciones se observa como ambas variables

aumentan sus registros ya sea de temperatura máxima como de precipitación con el correr de los meses de la campaña.

Cuando se realiza el método de K-means y se separa en dos grupos, uno de ellos está asociado a las estaciones de la zona norte y el otro a las de la zona sur.

El primer patrón (grupo “1/2”) se asocia a las estaciones de la zona norte (Chengde, Dailan, Tianjin, Peking y Chaoyang). En el mismo se observa como las temperaturas máximas aumentan de los 18° a los 28° C en los tres meses que dura la siembra, las precipitaciones también aumentan en forma escalonada en esta etapa desde los 26 a los 85 milímetros. Durante la floración los valores de temperaturas máximas no varían, en los dos meses se mantienen en los 29° C. Las precipitaciones alcanzan su valor máximo de 130 milímetros durante el primer mes y luego descienden a los 115 milímetros. En la cosecha se produce una fuerte disminución en las precipitaciones registrándose 45 y 25 milímetros en ambos meses, las temperaturas son de 25° y 18° C. Estos valores en los meses de la cosecha son muy similares a los de los dos primeros meses de la siembra, a esto se debe la forma característica que presenta este patrón. (Figura 2.2.7 izquierda).

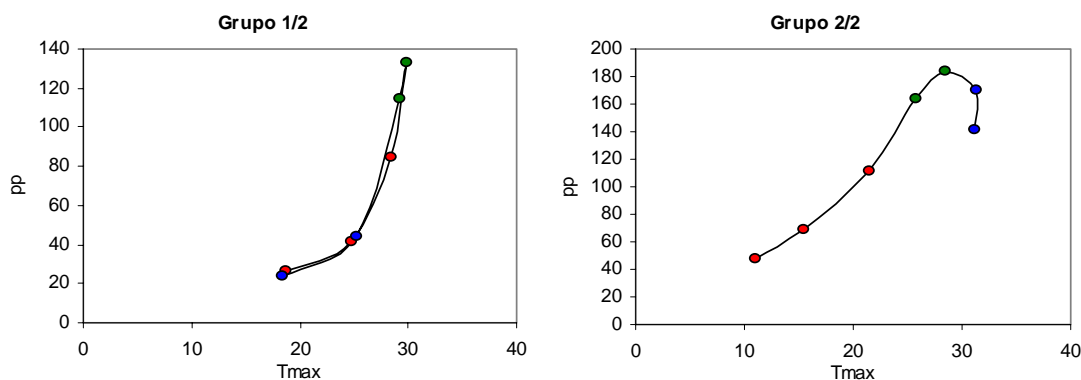


Figura 2.2.7: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en China. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha: grupo de estaciones “1/2”, izquierda: grupo de estaciones “2/2” según Tabla 2.2.4).

En el segundo patrón (grupo “2/2”) la forma de la curva de evolución conjunta cambia completamente. En lo que respecta a las temperaturas máximas, las mismas aumentan a lo largo del registro mes a mes, comenzando con 10° en el primer mes de la siembra hasta alcanzar los 31° C al finalizar la campaña. Una situación similar se observa con las

precipitaciones, en el primer mes de la campaña se registran 50 milímetros, este valor aumenta en forma paulatina hasta alcanzar el máximo en el segundo mes de la floración con 185 milímetros. En la cosecha las precipitaciones presentan una leve disminución siendo el registro del último mes de 140 milímetros. Este patrón esta asociado con las siete estaciones ubicadas en el sur: Youyang, Bijie, Da Xian, Lingling, Rongjiang Guzhou, Changde y Nanchong.

Cuando se realiza el método para tres clusters las cinco estaciones que representan a la zona norte se agrupan en el segundo patrón (grupo “2/3” - Figura 2.2.8 superior derecha). El cual presenta las mismas características ya descritas para el grupo “1/2”.

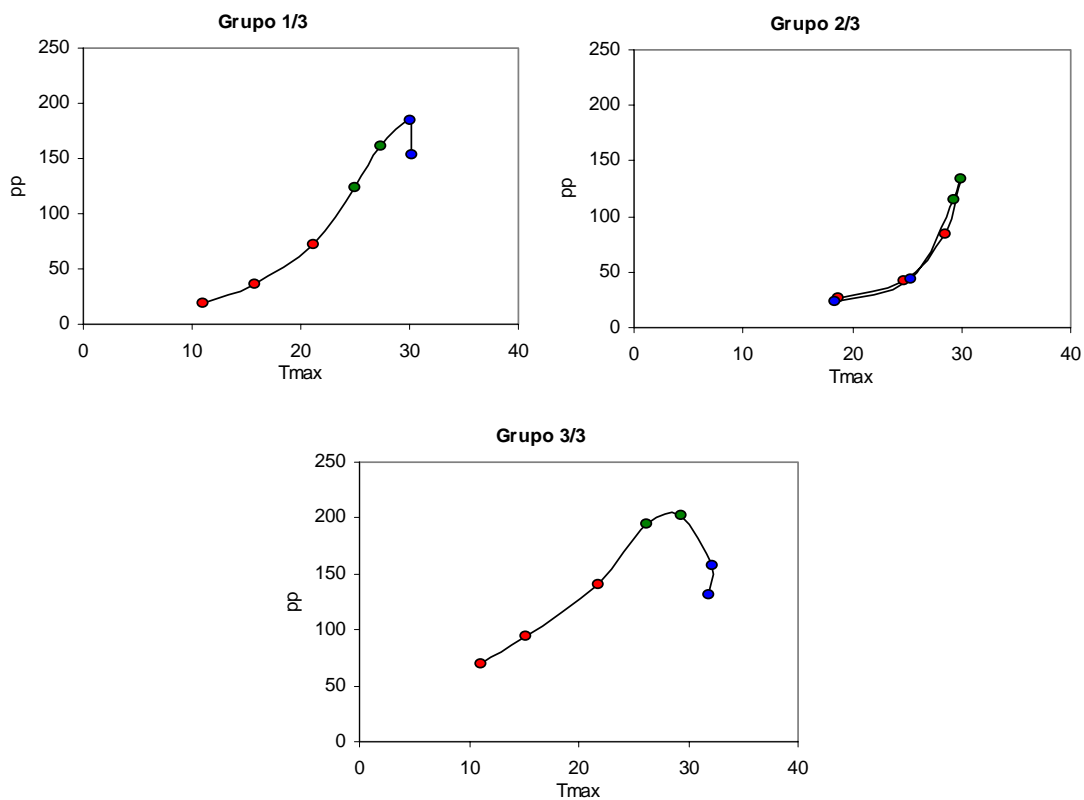


Figura 2.2.8: Clusters de la evolución conjunta de la precipitación (mm.) y la temperatura máxima (° C) para los meses que integran la campaña del maíz en China. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha. (Derecha superior: grupo de estaciones “1/3”, izquierda superior: grupo de estaciones “2/3”, central inferior: grupo de estaciones “3/3” según Tabla 2.2.4).

Las estaciones de la zona sur se dividen entre el primer (“1/3”) y el tercer (“3/3”) grupo, los cuales son muy similares al segundo grupo (“2/2”) de la categorización anterior,

diferiendo entre sí en los valores que toman principalmente las precipitaciones, siendo los acumulados del primer patrón menores a los del tercer patrón.

Asociadas con el grupo “1/3” se encuentran las estaciones Bijie, Da Xian y Nanchong. En la siembra las precipitaciones aumentan en forma escalonada pasando de 20 a 35 y finalizando en 70 milímetros. Durante la floración los registros son de 125 y 160 milímetros y en el primer mes de la cosecha se alcanza el máximo de 185 milímetros, para finalizar la campaña con 150 milímetros.

El grupo “3/3” se caracteriza por tener un “gancho” más pronunciado al finalizar la campaña. En la siembra los registros de precipitación aumentan de forma de pasar de los 70 a los 140 milímetros en tres meses. Durante la floración se produce el máximo con 200 milímetros y en los meses de la cosecha los registros disminuyen hasta los 130 milímetros. Las estaciones asociadas con este patrón son Youyang, Lingling, Rongjiang Guzhou y Changde.

2.3. Conclusiones

Dentro de cada país se observan diferentes tipos de variabilidades conjuntas de temperatura máxima y precipitación. Son cultivos que se desarrollan en un gran rango de variación, principalmente en las precipitaciones. Esto trae consecuencias en la estimación de los valores areales de las variables climáticas.

Si bien no existen grandes diferencias en los clusters para 2 y 3 grupos, un análisis subjetivo demuestra que la elección de $k = 3$ permite una mejor discriminación de los prototipos para cada grupo al momento de estudiar la variabilidad entre ellos. La separación en tres grupos representa de mejor forma la relación existente entre la precipitación y la temperatura máxima a lo largo de la campaña de todas las estaciones de referencia empleadas en el análisis.

Los promedios espaciales de las variables climáticas de estos grupos se emplean en diferentes metodologías en los siguientes capítulos. En las Tablas 2.2.1-2.3-4 se presentan los nombres de las estaciones que pertenecen a los diferentes grupos en cada región de estudio.

grupo 1/2	Villa Maria del Río Seco	grupo 1/3	Resistencia
	Marcos Juárez		Formosa
	Santa Rosa		Reconquista
	Tandil		Paso de los Libres
	Dolores		Concordia
	Tres Arroyos	grupo 2/3	Ceres
	Bahía Blanca		Córdoba
grupo 2/2	Resistencia		Paraná
	Formosa		Río Cuarto
	Ceres		Marcos Juárez
	Reconquista	Rosario	
	Paso de los Libres	Junín	
	Córdoba	grupo 3/3	Villa Maria del Río Seco
	Paraná		Santa Rosa
Concordia	Tandil		
Río Cuarto	Dolores		
Rosario	Tres Arroyos		
Junín	Bahía Blanca		

Tabla 2.2.1: Estaciones de Argentina pertenecientes a los diferentes grupos según los 2 clusters realizados. (Izquierda: separación en 2 grupos, derecha: separación en 3 grupos).

grupo 1/2	Bom Jesus da Lapa	grupo 1/3	Irati
	Vittoria da Conquist		Irai
	Campo Grande		Sao Luiz Gonzaga
	Irati		Santa María
	Curitiba	grupo 2/3	Vilhena
	Irai		Franca
	Sao Luiz Gonzaga		Paranagua
	Santa María		grupo 3/3
grupo 2/2	Vilhena	Vittoria da Conquist	
	Franca	Campo Grande	
	Paranagua	Curitiba	

Tabla 2.2.2: Estaciones de Brasil pertenecientes a los diferentes grupos según los 2 clusters realizados. (Izquierda: separación en 2 grupos, derecha: separación en 3 grupos).

grupo 1/2	Peoria	grupo 1/3	Knoxville
	South Bend		Louisville
	Toledo		St. Louis
grupo 2/2	Birmingham		Columbia
	Chattanooga		Peoria
	Knoxville		South Bend
	Nashville	Toledo	
	Menphis	gr 2/3	Birmingham
	Louisville		Chattanooga
	Evansville	grupo 3/3	Nashville
	St. Louis		Menphis
	Columbia		Evansville

Tabla 2.2.3: Estaciones de Estados Unidos pertenecientes a los diferentes grupos según los 2 clusters realizados. (Izquierda: separación en 2 grupos, derecha: separación en 3 grupos).

grupo 1/2	Chengde	grupo 1/3	Bijie
	Dailan		Da Xian
	Tianjin		Nanchong
	Peking	grupo 2/3	Chengde
	Chaoyang		Dailan
grupo 2/2	Youyang		Tianjin
	Bijie		Peking
	Da Xian	Chaoyang	
	Lingling	grupo 3/3	Youyang
	Rongjiang Guzhou		Lingling
	Changde		Rongjiang Guzhou
	Nanchong		Changde

Tabla 2.2.4: Estaciones de China pertenecientes a los diferentes grupos según los 2 clusters realizados. (Izquierda: separación en 2 grupos, derecha: separación en 3 grupos).

Capítulo 3: Componentes de la Variabilidad Regional

La precipitación y la temperatura son en principio diagnosticadores del rendimiento, según la bibliografía presentada en esta tesis. Esto implica que las variables climáticas deben ser presentadas en forma de promedios areales, ya que el rendimiento es una representación en esa escala. Para ello es necesario evaluar como afectan los valores de las variables medidas en puntos distintos del área sobre el promedio areal o si esa forma es un proceso puramente aleatorio. Un planteo idéntico es evaluar si variaciones de los promedios areales de las temperaturas y los totales de lluvias en los lapsos de las campañas son influenciados por las etapas que comprenden las campañas o si esa influencia es distinta a la provocada por el azar.

La misma pregunta y de especial interés porque hace a la capacidad de diagnóstico y pronóstico de rendimientos es, si la variabilidad de los totales de lluvia y los promedios de temperaturas (anuales o por etapas) areales son explicadas por la variabilidad que introduce dividir la muestra por condiciones del rendimiento (bajo, medio, alto).

Dado estos enfoques a resolver y considerando que el análisis de varianza tiene dos propósitos:

- Estimar el rol que juegan los diversos factores en la varianza total de la serie de observaciones.
- Testear la significancia de estos factores para decidir si la contribución de cada uno es verdadera o si surge de cambios en la distribución de los errores de observación.

El análisis de varianza parece ser el método adecuado para tratar los mencionados enfoques.

En el estudio que se lleva a cabo se desea comparar el comportamiento de las tres variables (temperatura máxima y mínima y precipitación) bajo diferentes circunstancias en las

diferentes áreas de estudio, para ello se enfoca el problema en tres formas distintas utilizando el análisis de varianza como método de análisis. Las formas son:

- Examinar la relación existente entre las variables climatológicas de las estaciones de una misma zona, en las campañas de cultivos completas y en las tres etapas que las integran. Se plantea la hipótesis nula de que las variables meteorológicas presentan el mismo comportamiento en todas las estaciones de referencia.
- Examinar lo que sucede con las variables climáticas entre las diferentes etapas de cada campaña. La hipótesis nula es que el comportamiento de la variable climática es igual en las tres etapas.
- Examinar si existe una diferencia entre los registros de las variables climáticas entre los años de alto, medio y bajo rendimiento. Tanto a nivel de campañas como de etapas. En esta oportunidad la hipótesis nula es que las variables climáticas son iguales al evaluarlas en las tres categorías de rendimiento.

En todos los casos el nivel de significancia es del 5 %.

3.1. Metodología

El análisis de varianza es una técnica estadística usada con frecuencia, ya que permite verificar el planteo de una hipótesis mediante mecanismos relativamente sencillos. (Panofsky, 1965, Infante Gil, 1984; Hoel, 1976). La variabilidad de una serie de observaciones puede deberse a más de una causa, y en ciertas circunstancias es necesario estimar las contribuciones de los diferentes factores. (Brooks, 1953).

La teoría del análisis de varianza permite comparar varias muestras. Como ejemplo para la descripción del método se presenta un caso con tres muestras (muestras A, B, C). Dentro de estos tres grupos están presentes las observaciones. Una de las preguntas que surgen es si ¿las medias de estos tres grupos son realmente diferentes?

Por tal motivo, se comparan las tres medias a las que llamadas: $medA - medB - medC$.

A su vez se tiene la media del conjunto total de observaciones llamada $medGral$.

Otro de los parámetros que se obtienen son las desviaciones estándar de cada observación con respecto a la media de su grupo. Llamadas d .

Una observación en particular se puede llegar a representar en términos de la $medGral$, de las desviaciones d de cada observación con respecto a las medias de los grupos ($medA -$

$medB - medC$) y la desviación de la media de cada grupo con respecto a la $medGral$ (que llamada g).

$$Obs = medGral + (medGrupo - medGral) + (Obs - medGrupo) \quad (1)$$

$$Obs = medGral + g + d \quad (2)$$

Donde Grupo puede ser A, B o C.

En general se puede dividir la variación de $x = Obs - medGral$ en dos tipos de fluctuaciones una al azar y una sistemática. La función del análisis de varianza es encontrar las variaciones sistemáticas entre las medias y determinar si son significativas o no.

El parámetro g esta influenciado por las variaciones sistemáticas dentro de cada grupo de medias, pero también esta influenciado por fluctuaciones al azar.

El parámetro d esta producido por las fluctuaciones internas de cada grupo, y no por la diferencia entre medias.

Transfiriendo $medGral$ al lado izquierdo de la ecuación y elevando al cuadrado, se obtiene:

$$\sum (Obs - medGral)^2 = \sum x^2 = m \sum_g g^2 + \sum d^2 \quad (3)$$

Donde m es el número de observaciones de cada grupo, la sumatoria del parámetro g es en los 3 grupos, mientras que la sumatoria del parámetro d es sobre todas las observaciones.

Se puede re-escribir la ecuación de la forma:

$$SS_T = SS_B + SS_W \quad (4)$$

SS es la suma de cuadrados, T es total, B es entre grupos, W es sin grupos.

Esta ecuación puede ser leída de la siguiente forma: la suma total de los cuadrados, es igual a la suma de los cuadrados dentro de cada grupo más la suma de los cuadrados entre grupos.

SS_B no solamente contiene efectos sistemáticos entre grupos, sino que también depende de las variaciones al azar dentro del grupo.

Esta suma de cuadrados es realizada en el análisis de varianza.

Hay otra forma de obtener SS_T , SS_B y SS_W .

$$SS_T = \sum Obs^2 - \frac{(\sum Obs)^2}{N} \quad (5)$$

$$SS_B = \frac{1}{m} \sum_g \left(\sum_o Obs \right)^2 - \frac{(\sum Obs)^2}{N} \quad (6)$$

$$SS_W = \sum_g \left(\sum_o Obs^2 - \frac{(\sum_o Obs)^2}{m} \right) \quad (7)$$

\sum_o significa sumatoria dentro de cada grupo.

m es la cantidad de observaciones de cada grupo.

Con cada SS hay asociado un número de grados de libertad. SS_T tiene $N-1$.

En cada grupo hay m valores de d . La suma de los d en cada grupo es cero, entonces en cada grupo hay $m - 1$ grados de libertad. Tenemos p grupos (en el ejemplo $p=3$). El número de grados de libertad asociados con las d y más aún con SS_W es $p(m-1)$.

Hay p valores de g , que sumamos dan cero. En número de grados de libertad asociados con SS_B es $p-1$. La suma de los grados de libertad asociados con SS_W y SS_B es $pm-1=N-1$, en otras palabras los grados de libertad asociados con SS_T son iguales a la suma de los grados de libertad asociados con SS_W y SS_B .

Es sabido que $\frac{\sum x^2}{N-1}$, es un buen estimador de la varianza de una población. Esta relación es de la forma de SS dividida por su correspondiente grado de libertad.

Estas relaciones se llaman desde ahora “cuadrados medios” (MS). En general, estos cuadrados medios son óptimos estimadores de algunos de los parámetros de la población.

Se asume que todas las observaciones de la población pueden estar representadas por:

$$x = Obs - medGral = G + E \quad (8)$$

G es función solamente del grupo, no hay que confundirse con g , la cual depende en parte de la variación al azar dentro del grupo. Y su desviación estándar es σG .

E se la asume como una variable al azar. Algunas veces se lo denomina error de la varianza. Su varianza es σ^2 .

La ecuación (8) quiere decir que x es la suma de un efecto al azar y un efecto sistemático.

SS_w esta influenciado solamente por E , y es en efecto un óptimo estimador de la varianza. También el MS asociado con las g , MS_B , puede ser estimado con $\sigma^2 + m\sigma_G^2$.

Si el efecto sistemático es más importante, σ_G^2 es mayor, y por ende MS_B es mucho mayor que MS_w . Se trata de encontrar una manera de determinar si estas diferencias son estadísticas significativas.

Si σ_G^2 es significativamente diferente de cero debe haber alguna diferencia sistemática real entre los grupos.

El test puede realizarse con una relación entre los cuadrados medios, con el más grande en el numerador. Esta relación es llamada F de Fisher. Su valor crítico esta tabulado por los grados de libertad del numerador y del denominador.

$$F = \frac{MS_B}{MS_w} \quad (9)$$

Si F es lo suficientemente grande, la probabilidad de que surja un cambio llega a ser insignificante cuando σ_G^2 es cero, y se puede concluir que σ_G^2 difiere significativamente de cero y existe una diferencia entre los grupos.

3.2. Resultados

En una primera instancia de este análisis se toma el promedio general de todas las estaciones de referencia de la Argentina, lo mismo se realiza para Estados Unidos, mientras que para Brasil y China las estaciones están divididas en dos grupos: norte y sur.

En una segunda instancia se emplean los agrupamientos de estaciones según lo visto en el Capítulo 2.2, y se analiza el comportamiento que la variable precipitación presenta. De esta forma se puede establecer si existe una homogeneidad entre las estaciones agrupadas.

3.2.1. Precipitación

Se comienza el análisis bajo la hipótesis nula que implica que en cada región las precipitaciones acumuladas en todas las estaciones se comportan de igual forma. El resultado que se obtiene es que en todas las zonas la hipótesis se rechaza, esto significa que existen

estaciones en donde la precipitación no actúa como el resto de las estaciones en cada una de las regiones estudiadas (Argentina, Brasil Norte, Brasil Sur, Estados Unidos, China Norte y China Sur). (Cuerpo superior de la Tabla 3.2.1). Este resultado se obtiene tanto cuando se trabaja con el valor acumulado en la campaña completa, como así también cuando se trabaja con las etapas que conforman a la misma.

El único caso en que se acepta la hipótesis nula, es durante la siembra de la soja en los Estados Unidos, esto representa que las precipitaciones acumuladas en los dos meses que conforman esta etapa no difieren entre las estaciones que integran esta área.

	Argentina		Brasil N		Brasil S		USA		China N		China S	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
siembra	R	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R
floracion	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
cosecha	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las etapas

campaña	R	A	R	R	R	R	A	A	A	A	R	A
siembra	A	A	R	R	R	A	A	A	A	A	A	A
floracion	A	R	A	A	R	R	R	A	A	A	A	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.2.1: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de precipitación acumulados. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

En el segundo enfoque del estudio que analiza si existen diferencias en las precipitaciones entre las tres etapas que comprenden la campaña, se obtiene como resultado que se rechaza de la hipótesis nula, lo que está significando que existe una diferencia entre las precipitaciones que se producen en cada etapa, esto nos está representando la onda anual existente en las precipitaciones.

El último enfoque que se realiza es incorporar el concepto de rendimiento, por tal motivo nuevamente se utiliza el promedio regional de los acumulados de precipitación, tanto a nivel campaña como etapas, y se los divide en tres categorías de rendimiento (bajo, medio, alto). Este tipo de análisis presenta diferentes resultados que deben ser estudiados en forma particular:

En la Argentina para el cultivo del maíz se encuentra que cuando se estudia la campaña completa se rechaza la hipótesis nula, esto significa que las precipitaciones registradas en toda la campaña afectan en forma directa al rendimiento del maíz, ya que existen diferencias entre los acumulados que se producen cuando el rendimiento es bajo, medio o alto. En el caso de la soja se observa que la precipitación que se registra en la etapa de la floración es la que produce algún efecto sobre el rendimiento del cultivo, ya que presenta diferencias en sus acumulados según la categoría de rendimiento. En el caso de esta oleaginosa la siembra y la cosecha no presentan diferencias en los acumulados, igual situación sucede en la campaña completa.

En la zona norte de Brasil para los dos cultivos sucede lo mismo, es durante la siembra y la campaña completa en donde las precipitaciones acumuladas presentan alguna diferencia entre las tres categorías de rendimiento. Mientras que en la floración y en la cosecha no se encuentran diferencias en los registros.

En la zona sur de Brasil para el cultivo del maíz tanto la siembra como la floración muestran que las precipitaciones que se registran en ellas difieren entre los distintos tipos de rendimiento, lo que sucede en estas etapas es reflejado en la campaña completa, en la cual también se rechaza la hipótesis nula de igualdad de acumulados entre los tres tipos de rendimiento. Cuando se analiza el comportamiento de la precipitación durante el cultivo de la soja, es durante la floración en donde se hallan diferencias en los acumulados, las cuales se ven reflejadas luego en la campaña completa.

Para los Estados Unidos se observa que durante la floración del cultivo del maíz es en donde hay diferencias entre las precipitaciones en los tres tipos de rendimientos. En las otras etapas los acumulados se comportan igual, situación que se extiende a la campaña completa. Cuando el cultivo es la soja, no se observan diferencias en las precipitaciones para ninguna de las etapas ni para la campaña completa.

En el norte de China sucede algo similar a lo visto para la soja en Estados Unidos, las precipitaciones registradas en las etapas y en la campaña según el tipo de rendimiento no presentan ninguna diferencia entre ellas.

En China sur se puede decir que la situación se repite para la soja. Pero en el maíz se observa la particularidad de que los acumulados de precipitación durante toda la campaña se comportan diferente según el tipo de rendimiento que se produce.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que las precipitaciones ocurridas principalmente durante la siembra y la floración (dependiendo de las regiones que se analicen) son las que mayor efecto producen en el rendimiento final de los cultivos. Por lo que realizar pronósticos de precipitación más precisos para estas etapas sería de gran utilidad para el monitoreo de rendimiento final.

3.2.2. Temperaturas Máximas y Mínimas

De manera similar se analiza el comportamiento de las temperaturas extremas para los tres enfoques realizados con la precipitación. (Tablas 3.2.2 y 3.2.3).

	Argentina		Brasil N		Brasil S		USA		China N		China S	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
siembra	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
floracion	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
cosecha	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

H₀: la temperatura máxima se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la temperatura máxima se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A	A
siembra	R	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
floracion	A	A	A	A	A	R	R	R	A	A	A	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A	A

H₀: la temperatura máxima se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.2.2: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de temperatura máxima. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

	Argentina		Brasil N		Brasil S		USA		China N		China S	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
siembra	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R
floracion	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R
cosecha	R	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R

H₀: la temperatura mínima se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la temperatura mínima se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A
siembra	A	A	A	A	A	A	A	A	A	R	A	A
floracion	R	A	A	A	A	A	R	R	A	A	A	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la temperatura mínima se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.2.3: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de temperatura mínima. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

Tomando en cuenta la temperatura máxima, cuando se realiza el primer enfoque el análisis se basa en comparar las distintas estaciones que comprenden cada región. El resultado tanto a nivel campaña como en cada etapa en particular muestra que en todas las regiones hay estaciones en donde las temperaturas se diferencian del resto.

Lo mismo sucede cuando se comparan los promedios regionales para cada etapa, hay una etapa que difiere de las otras en cuanto al promedio de temperatura máxima.

En el último enfoque donde interviene el rendimiento la mayoría de las regiones de estudio aceptan la hipótesis nula indicando que las temperaturas máximas medias (por etapa o campaña) no afectan el tipo de rendimiento resultante.

Se procede a detallar los casos particulares en donde si se observa una diferencia entre las temperaturas según el rendimiento: en la siembra del maíz en la Argentina, en la floración de la soja en Brasil sur que luego se refleja en la campaña, en la floración tanto del maíz como de la soja en Estados Unidos y en la cosecha del maíz en el norte de China.

A grandes rasgos sucede lo mismo con la temperatura mínima. En el primer enfoque, en todas las zonas hay estaciones que se diferencian del resto, pero hay una particularidad: en el cultivo del maíz en Estados Unidos las temperaturas mínimas en las etapas son similares para todas las estaciones.

En el enfoque del promedio regional por etapa todas las zonas muestran que hay alguna etapa en donde las temperaturas mínimas se diferencian del resto. En clara referencia a la existencia de la onda anual.

En el tercer enfoque, al ingresar el concepto de rendimiento, en la mayoría de las regiones la temperatura mínima se comporta de igual forma para los tres tipos de rendimiento tanto en las etapas como en la campaña en general. Los únicos casos en donde si hay diferencias son: la floración del maíz en la Argentina, la floración de ambos cultivos en Estados Unidos y la siembra de la soja en el norte de China que proyecta este resultado a la campaña completa.

Al igual que lo visto en las precipitaciones, las temperaturas extremas que se registran durante la floración principalmente son las que pueden llegar a afectar el valor del rendimiento final de la campaña.

3.3. Análisis de Varianza en los Grupos de Estaciones

Dado que la precipitación es la variable que presenta mayor relación con el rendimiento, se decide analizar lo que sucede con la misma en los diferentes grupos hallados en el Capítulo 2.2, para estudiar el comportamiento de la precipitación entre las diferentes estaciones. Se realizan los tres enfoques como en la sección anterior: en un primer enfoque se compara a la precipitación acumulada (en la campaña y en cada una de las etapas) entre las estaciones que conforman cada grupo para ver homogeneidades existentes. En el segundo enfoque se analiza la presencia de una etapa en donde la precipitación se diferencie del resto. Y por último al incorporar el concepto de rendimiento bajo-medio-alto, se evalúa la existencia de diferencias en las precipitaciones acumuladas en estas categorías de rendimiento tanto para la campaña completa como en cada una de las etapas que la conforman.

Argentina

Se comienza el estudio con la Argentina, en la Tabla 3.3.1 se presenta el mismo formato de análisis.

	2 grupos				3 grupos					
	1		2		1		2		3	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	R	R	A	A	A	R	R
siembra	R	R	R	R	A	R	R	A	R	R
floracion	R	R	R	R	R	A	A	A	R	R
cosecha	R	R	A	R	R	A	A	R	A	R

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	A	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	R	A	R	A	R	R	A	A
siembra	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A
floracion	R	A	A	R	A	A	R	R	A	A
cosecha	R	A	A	A	R	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.3.1: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de precipitación en cada uno de los grupos de estaciones de Argentina. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

Para estudiar la homogeneidad de las estaciones agrupadas se evalúa a la precipitación acumulada en la campaña y en cada una de las etapas que la conforman. En este enfoque se plantea la hipótesis nula: en todas las estaciones la precipitación se comporta de una manera similar. A nivel campaña el grupo “2/3” de estaciones acepta esta hipótesis tanto para el cultivo del maíz como de la soja, y en este último caso se suma el grupo “1/3”, cabe recordar que el grupo “2/3” esta integrado por las estaciones ubicadas en la Pampa Húmeda las cuales mostraron un comportamiento similar en los acumulados de precipitación.

Al analizar en cada una de las etapas los resultados son variados, pero se continúa observando una conducta similar (de homogeneidad) en estos dos grupos de estaciones.

En el segundo enfoque se analiza si dentro de cada grupo las tres etapas muestran similitud en los acumulados de precipitación. En todos los casos (salvo maíz para el grupo “1/3”) se rechaza la hipótesis nula, lo que está indicando que existe alguna etapa que difiere del resto, pero como ya se mencionó con anterioridad esto se debe a la onda anual existente que exhibe esta precipitación en esta región de estudio.

En el tercer enfoque se incorpora a los rendimientos de ambos cultivos, y la hipótesis nula propuesta es que no existe diferencia entre los acumulados de precipitación en las tres categorías de rendimiento (bajo-medio-alto) a lo largo de la campaña como así también en cada etapa por separado. En la mayoría de los casos se acepta la hipótesis nula, lo que está

mostrando que los acumulados de precipitación no ejercen una influencia sobre el rendimiento (como sucede en todos los casos del grupo “3/3”). Pero hay que remarcar casos particulares en donde la hipótesis es rechazada, por ejemplo el grupo “2/3” durante la floración, lo que está indicando que en esta etapa los acumulados de precipitación influyen en el rendimiento.

Brasil

En la comparación de estaciones dentro de cada grupo, a nivel campaña se rechaza en todos los casos la hipótesis, salvo para las estaciones que integran el grupo “1/3” (las ubicadas en el sector sur) que a lo largo de la campaña presentan el mismo comportamiento en sus acumulados de precipitación. A nivel etapas durante la siembra ocurre la particularidad que todos los grupos en ambos cultivos presentan una conducta similar en la precipitación, en la floración solamente el grupo “1/3” acepta la hipótesis nula. Y en la cosecha las estaciones en ninguno de los agrupamientos tienen un comportamiento similar. (Tabla 3.3.2).

	2 grupos				3 grupos					
	1		2		1		2		3	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	R	R	A	R	R	R	R
siembra	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
floracion	R	R	R	R	A	A	R	R	R	R
cosecha	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
siembra	A	A	A	A	R	A	A	A	R	A
floracion	A	R	A	A	R	R	A	A	A	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.3.2: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de precipitación en cada uno de los grupos de estaciones de Brasil. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

Al estudiar la conducta de la precipitación entre las etapas se observa que en todos los grupos para ambos cultivos se rechaza la hipótesis nula, lo que está indicando la existencia de una etapa que difiere del resto producto de la onda anual que presentan las precipitaciones.

Cuando se incorpora el concepto del rendimiento en la mayoría de los casos se acepta la hipótesis que no existe una diferencia de las precipitaciones acumuladas entre los rangos de rendimiento. En donde se rechaza esta suposición es principalmente en el grupo “1/3” que tanto para la siembra y floración del maíz, como para la floración de la soja se encuentran diferencias entre los acumulados de precipitación.

Estados Unidos

Cuando se realiza la comparación entre estaciones de un mismo grupo tanto a nivel campaña completa como en cada una de las etapas, a diferencia de lo visto en los dos países detallados con anterioridad, en la mayoría de los casos se acepta la hipótesis nula que las precipitaciones acumuladas son similares, salvo casos especiales principalmente al tomar la campaña. (Tabla 3.3.3). Esto está indicando un grado de homogeneidad entre todas las estaciones de referencia de Estados Unidos.

	2 grupos				3 grupos					
	1		2		1		2		3	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	R	R	A	R	R	A	A	A	A
siembra	A	A	A	A	R	A	A	A	A	A
floracion	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
cosecha	A	A	R	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	A	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
siembra	A	R	A	A	A	A	A	A	A	A
floracion	A	A	R	A	A	A	R	A	R	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.3.3: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de precipitación en cada uno de los grupos de estaciones de Estados Unidos. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

Al confrontar las etapas para todos los grupos y en ambos cultivos se rechaza la hipótesis nula, indicando la presencia de alguna etapa que se diferencia del resto salvo en el caso del grupo “3/3” para el cultivo del maíz.

Cuando se evalúan las categorías de rendimiento por lo general se acepta la hipótesis que la precipitación es similar sin importar la categoría de rendimiento, salvo en algunos casos particulares en donde para la floración existe un rango de rendimiento que presenta valores de precipitación acumulada diferente al resto. Esto podría llegar a indicar que la precipitación que se produce en esta etapa ejerce una influencia en la categoría de rendimiento que se obtendrá al finalizar la campaña.

China

Por último, se analiza el comportamiento en China, cuando se evalúan las estaciones en la mayor parte de las oportunidades se rechaza la hipótesis de similitud en las precipitaciones, salvo en algunos casos como el del grupo “2/3” durante la campaña de ambos cultivos o en la floración de la soja. Tabla 3.3.4.

	2 grupos				3 grupos					
	1		2		1		2		3	
	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja	maiz	soja
campaña	R	A	A	R	R	R	A	A	R	A
siembra	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
floracion	R	A	R	R	R	R	R	A	A	R
cosecha	R	R	R	R	R	A	R	R	A	R

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las estaciones

etapas	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las etapas

campaña	A	A	R	A	A	A	A	A	A	A
siembra	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
floracion	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
cosecha	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

H₀: la precipitación se comporta igual en todas las categorías de rendimiento

Tabla 3.3.4: Resultados del análisis de varianza realizado con los valores de precipitación en cada uno de los grupos de estaciones de China. A: acepto la hipótesis nula, R: rechazo la hipótesis nula.

Como se viene observando en las otras regiones al estudiar las etapas entre sí, en todos los casos se rechaza la hipótesis, por tal motivo la precipitación acumulada en alguna de las etapas es diferente al resto.

En el caso de los rendimientos no se logra observar alguna etapa en donde la precipitación presente una diferencia para alguna de las categorías del rendimiento. Solamente cuando se evalúa a la precipitación acumulada a lo largo de la campaña del maíz para el grupo “2/2” se encuentra que la misma es diferente en alguna de las categorías de rendimiento.

3.4. Conclusiones

Cuando se trabaja con la totalidad de las estaciones de referencia para el caso de la precipitación se observa que existen diferencias significativas entre ellas, tanto en el acumulado por etapas como en la campaña completa. Las precipitaciones medias regionales acumuladas en las diferentes etapas muestran que hay alguna etapa que se destaca del resto producto de la onda anual que la variable presenta. En las categorizaciones según los rendimientos se encuentran diferencias entre las regiones.

Cuando se trabaja con las temperaturas extremas y se analiza lo que sucede entre los diferentes tipos de rendimiento se hallan casos más aislados que en el caso de las precipitaciones en donde se rechaza la hipótesis de uniformidad entre las categorías. Esto puede significar un comportamiento homogéneo para las temperaturas sin importar el tipo de rendimiento obtenido y no así para las precipitaciones, lo que da a entender una relación más estrecha entre la precipitación y la variable agrícola.

Al observar que son las precipitaciones las que mayor influencia presentan en los cultivos, se decide trabajar con dicha variable dentro de cada grupo de estaciones para cada país.

Como conclusión general del análisis con la agrupación de estaciones se encuentran diferencias a lo visto en la precipitación con la totalidad de estaciones o en la división arbitraria de regiones (caso Brasil y China). En general al analizar el comportamiento entre las estaciones se encuentra algún grupo que se diferencia del resto en donde las estaciones que lo conforman presentan acumulados de precipitación similares. Estos grupos son: el “2/3” para Argentina, el “1/3” para Brasil, el “2/3” para China y en el caso de los Estados Unidos las distintas agrupaciones muestran similitud entre las estaciones que las componen. Esto estaría indicando la existencia de zonas de homogeneidad en lo que respecta a las precipitaciones.

En la comparación de las etapas se halla que salvo casos aislados, en todas las oportunidades (grupos y cultivos) hay alguna etapa que se diferencia del resto, lo que estaría de acuerdo con lo visto en los capítulos precedentes en donde los niveles de precipitación son diferentes según la época del año.

Cuando entra en juego la categorización de los rendimientos la mayor cantidad de situaciones de rechazo de la hipótesis nula (la precipitación en todas las categorías es la misma) se produce durante la floración, corroborando de esta forma que la floración es la principal etapa en donde la precipitación puede llegar a afectar al rendimiento final de un cultivo.

Capítulo 4: Estimación de los Rendimientos mediante Variables Climáticas

A pesar de los avances en la tecnología agropecuaria, la producción agrícola continúa dependiendo del clima, el cual puede afectar la cantidad y la calidad de los cultivos cosechados. Comprender y estimar la influencia del clima en el rendimiento de los cultivos es un requisito para el pronóstico de la producción y para la proyección de los impactos económicos de un posible cambio climático (Lobell *et al.*, 2007).

A modo de antecedentes cabe mencionar a Thompson (1969) quien trabaja con variables climáticas y rendimientos en diferentes estados de Estados Unidos y encuentra que la precipitación en la etapa previa a la campaña, la temperatura en el mes de junio, la precipitación y la temperatura de julio y la temperatura de agosto (tanto en términos lineales como cuadráticos) son importantes en la explicación de los rendimientos de los cultivos del maíz. La inclusión de mayor cantidad de variables sigue una lógica agronómica en donde el tiempo meteorológico que acontece en la etapa de crecimiento puede afectar al rendimiento. Thompson en 1970, continúa utilizando esta técnica para medir la influencia del clima sobre el rendimiento de la soja en diferentes estados de los Estados Unidos, dando como resultado que temperaturas más cálidas en la siembra y más frías durante la etapa de floración dan lugar a mejores rendimientos, además de presentarse precipitaciones normales en la siembra y por encima de su valor promedio en la floración.

Tannura *et al.* (2008) toman la base de los diferentes estudios de Thompson y aplican modelos de regresión múltiple para investigar la relación entre el clima, la tecnología y los rendimientos de maíz y soja en el *Corn Belt* de los Estados Unidos.

Otros trabajos relacionan las temperaturas extremas mensuales junto con el acumulado de precipitación con el rendimiento de cereales en Inglaterra (Chmielewski and Potts, 1995) dando como resultado que la mayor influencia la ejerce la precipitación.

Rodríguez Puebla *et al.* (2004) aplican el modelo estadístico de regresión lineal para predecir la productividad del trigo en España mediante modos de variación de los campos climáticos. Sierra y Murphy (1983) explican la variabilidad del rendimiento del maíz con combinaciones de diversas variables en la región maicera de Argentina. Llano *et al.* (2011) aplican un modelo de regresión lineal a los cultivos de maíz y soja en la Argentina y en zonas de gran producción en el mundo.

4.1. Análisis Previos

La estimación del rendimiento supone que existen indicios de relación lineal o no entre el rendimiento y las precipitaciones o las temperaturas. Antes de intentar un ajuste con un modelo de regresión de los rendimientos es conveniente analizar la posible asociación entre rendimiento y las variables climáticas.

Para ello se separan los datos de rendimiento sin tendencia en tres grupos de 10 casos cada uno: rendimiento bajo – rendimiento medio – rendimiento alto. De igual forma se categoriza a las precipitaciones: precipitación baja – precipitación media – precipitación alta. Se calculan las frecuencias en una tabla de asociación para cada país (promedio general de estaciones y cada grupo de los obtenidos en el Capítulo 2.2) evaluando las campañas completas y las diferentes etapas de la misma.

Con estas categorizaciones se analiza la ocurrencia simultánea de eventos, por ejemplo precipitación baja – rendimiento bajo, precipitación alta – rendimiento medio y así sucesivamente las nueve opciones de ocurrencia. Esta ocurrencia simultánea se analiza mediante la metodología de *Tabla de Contingencia*, que consiste en la fabricación de una tabla de eventos que luego es testeada con una tabla de eventos independientes, bajo la hipótesis nula de que ambas tablas son iguales y por ende independientes. Si mediante la aplicación del test chi^2 (significancia del 5 %, valor crítico 9,49) se rechaza la hipótesis nula, resulta que la tabla es dependiente, esto significa que la precipitación y los rendimientos presentan una relación en su ocurrencia por categorías.

4.1.1. Resultados

Se comienza el análisis para el cultivo del maíz en la Argentina. Al tomar las precipitaciones acumuladas en las campañas, las mismas muestran dependencia entre rendimiento y precipitación en el promedio general de todas las estaciones de referencia y en los promedios areales de los grupos “2/2” y “2/3”, recordando que en estos grupos están las estaciones ubicadas en la Pampa Húmeda.

Este mismo análisis se realiza para los acumulados de precipitación en cada una de las etapas, para ver qué etapa es preponderante en la relación. En esta oportunidad durante la siembra en todos los grupos se acepta la hipótesis nula (de independencia). En la floración es el grupo “2/3” quien al rechazar la hipótesis, presenta una asociación entre las variables. Y nuevamente en la cosecha las variables estudiadas son independientes. A modo de ejemplo de los grupos que presentan asociación entre las categorías de rendimientos y precipitación se presenta la Tabla 4.1.1 pertenecientes al grupo “2/3” de estaciones (Ceres, Córdoba, Paraná, Río Cuarto, Marcos Juárez, Rosario y Junín).

Independientemente de la dependencia o no registrada con chi², de las tablas puede observarse que las frecuencias máximas coinciden por tipos de categoría bajo con bajo, alto con alto. Permitiendo extrapolar aquí una regla de dependencia.

Campaña		REND			Floración		REND		
		.2/3	bajo	medio			alto	.2/3	bajo
a	baja	7	3	0	a	baja	6	3	1
	media	3	2	5		media	4	3	3
	alta	0	5	5		alta	0	4	6

Tabla 4.1.1: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio de las estaciones del grupo “2/3” de Argentina, para el cultivo del maíz en la campaña completa (izq.) y en la floración (der.).

Con el cultivo de maíz en Brasil al tomar la precipitación acumulada en la campaña tanto en el promedio general como en los diferentes grupos, las categorías de rendimiento son independientes de las precipitaciones. En la siembra hay una dependencia en los promedios de los grupos “1/3” y “3/3”, cuyas estaciones están ubicadas en la zona centro – sur del área de estudio. En la floración y en la cosecha nuevamente el grupo “1/3” presenta una dependencia

(cuyas estaciones Irati, Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa María se ubican en el sector sur de la zona de producción).

Se presentan las tablas pertenecientes al grupo “1/3” para las tres etapas de desarrollo, en las cuales se rechazó la hipótesis nula. En la siembra y en la floración la dependencia existente entre el rendimiento y la precipitación es directa, mientras que en la cosecha es inversa. Tabla 4.1.2. Además, se muestra la tabla para la siembra del grupo “3/3”.

Siembra		REND			
		.1/3	bajo	medio	alto
P	baja	6	2	2	
	media	4	4	2	
	alta	0	4	6	
	gral				

Siembra		REND			
		.3/3	bajo	medio	alto
P	baja	0	8	2	
	media	5	1	4	
	alta	5	1	4	
	gral				

Floración		REND			
		.1/3	bajo	medio	alto
P	baja	6	2	2	
	media	2	6	2	
	alta	2	2	6	
	gral				

Cosecha		REND			
		.1/3	bajo	medio	alto
P	baja	2	3	5	
	media	4	1	5	
	alta	4	6	0	
	gral				

Tabla 4.1.2: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio de las estaciones del grupo “1/3” de Brasil en la siembra (sup. izq.), floración (sup. der.) y cosecha (inf. izq.) y grupo “3/3” en la siembra (inf. der.).

Para Estados Unidos de todos los casos analizados solamente se halla una dependencia en el promedio general de estaciones durante la floración. En la Tabla 4.1.3 se muestra este resultado.

Floración		REND			
		gral	bajo	medio	alto
P	baja	7	1	2	
	media	1	7	2	
	alta	2	2	6	
	gral				

Tabla 4.1.3: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio general de las estaciones de Estados Unidos, para el cultivo del maíz en la floración.

En China durante la campaña completa presentan dependencia los grupos “2/2” y “3/3”, cuyas estaciones se encuentran en la zona norte del área de estudio. Durante la siembra en todos los casos no se observa la presencia de ninguna relación. En la floración el grupo “2/2” tiene una relación directa entre el cultivo y la precipitación. Y por último en la cosecha todos los grupos aceptan la hipótesis nula de independencia. Tabla 4.1.4.

Campaña		REND			
		.2/2	bajo	medio	alto
P	baja	7	1	2	
	media	2	3	5	
	alta	1	6	3	

Campaña		REND			
		.3/3	bajo	medio	alto
P	baja	7	0	3	
	media	2	4	4	
	alta	1	6	3	

Floración		REND			
		.2/2	bajo	medio	alto
P	baja	7	0	3	
	media	1	5	4	
	alta	2	5	3	

Tabla 4.1.4: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio de estaciones del grupo “2/2” en la campaña completa del maíz (sup. izq.) y en la floración (inf. izq.). Y para el promedio del grupo “3/3” en la campaña completa (sup. der.).

En lo que respecta al cultivo de soja en la Argentina cuando se emplea el valor de precipitación acumulada en la campaña se encuentran dependencias entre esta variable y el rendimiento tanto para el grupo “2/2” como para el “2/3” donde domina la presencia de estaciones ubicadas en la zona de mayor producción. Cuando se emplean los valores por etapas, durante la siembra las estaciones que conforman el grupo “1/3” ubicadas en la zona norte del área de estudio presentan una dependencia entre el rendimiento y la variable climática. En la floración en el grupo “2/3” de estaciones se encuentra una dependencia directa entre el rendimiento y la precipitación, de igual forma el promedio general de estaciones de la Argentina también presenta esta dependencia. A lo largo de la cosecha todos los casos aceptan la hipótesis nula, por lo tanto son independientes. Tabla 4.1.5.

Campaña		REND			
		.2/2	bajo	medio	alto
P	baja	5	2	3	
	media	4	6	0	
	alta	1	2	7	

Campaña		REND			
		.2/3	bajo	medio	alto
P	baja	6	2	2	
	media	4	4	2	
	alta	0	4	6	

Siembra		REND			
		.1/3	bajo	medio	alto
P	baja	3	4	3	
	media	1	6	3	
	alta	6	0	4	

Floración		REND			
		gral	bajo	medio	alto
P	baja	6	3	1	
	media	3	5	2	
	alta	1	2	7	

Floración		REND			
		.2/3	bajo	medio	alto
P	baja	6	3	1	
	media	4	4	2	
	alta	0	3	7	

Tabla 4.1.5: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio de estaciones del grupo “2/2” (sup. izq.) y “2/3” (sup. der.) en la campaña completa de la soja. Promedio del grupo “1/3” para la siembra de la soja (med. izq.). Promedio general de estaciones (inf. izq.) y grupo “2/3” (inf. der.) en la floración de la soja. En Argentina.

En Brasil se encuentra dependencia entre el rendimiento de la soja y la precipitación acumulada a lo largo de la campaña en el promedio espacial de todas las estaciones de referencia. Cuando se evalúa la precipitación en cada una de las etapas en todos los casos se observa independencia entre el clima y el cultivo. Tabla 4.1.6.

Campaña		REND			
		gral	bajo	medio	alto
P	baja	5	2	3	
	media	1	8	1	
	alta	4	0	6	

Tabla 4.1.6: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio general de estaciones en la campaña de la soja. En Brasil.

En Estados Unidos a nivel campaña las categorías del rendimiento de la soja son independientes de la precipitación. Al tomar la precipitación en las etapas nuevamente hay independencia entre el clima y el cultivo, salvo en la siembra del grupo “2/3”. Tabla 4.1.7.

Siembra		REND		
		.2/3	bajo	medio
P	baja	2	7	1
	media	3	1	6
	alta	5	2	3

Tabla 4.1.7: Relación de ocurrencia por categoría de precipitación (baja-media-alta) y rendimiento (bajo-medio-alto) para el promedio de estaciones del grupo “2/3” en la campaña de la soja. En Estados Unidos.

En China tanto en la campaña completa como en las etapas el rendimiento de la soja es independiente de la precipitación. Lo que ya estaría indicando cierta dificultad para los modelos de estimación de rendimiento con los datos de ese país.

Tomando en cuenta los resultados de las correlaciones lineales (no mostrados en esta tesis), de los análisis de asociación y contingencia y los antecedentes bibliográficos, se postula que el rendimiento puede expresarse mediante una regresión lineal múltiple, donde se utiliza como predictandos a las variables climáticas.

4.2. Metodología

La regresión lineal busca resumir la relación existente entre variables. Este método es el más general de las técnicas de regresión, debido a la existencia de un solo *predictando* (Y) y en el caso de la regresión múltiple, a la existencia de más de una variable *predictora* (x_k). Estas variables predictoras son seleccionadas ya que se cree pueden afectar el valor del predictando. Este modelo supone que el valor del predictando puede ser expresado por una combinación lineal de las variables predictoras. (Wilks, 2006, von Storch and Zwiers, 1999).

La ecuación de predicción es la siguiente:

$$Y(i) = a_0 + a_1 x_1(i) + \dots + a_k x_k(i) + \varepsilon(i) \quad (1)$$

Cada variable x_k predictora tiene su propio coeficiente (a). Los a_k , incluido el a_0 son llamados parámetros de regresión.

$\varepsilon(i)$ son los n errores que presentan media 0 y se asume están normalmente distribuidos.

$$\varepsilon(i) = Y(i) - y(i) \quad (2)$$

$y(i)$ es el resultado de la combinación lineal de las variables predictoras, mediante el método de cuadrados mínimos, en donde se minimiza la distancia entre la variable original Y y la generada por el modelo.

Para ejemplificar el método se emplea notación matricial.

Y es un vector de n elementos, cuyo elemento i es $Y(i)$

X es una matriz de $n(k+1)$ elementos de la forma

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & x_{k,1} \\ 1 & x_{1,2} & x_{k,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1,n} & x_{k,n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

\mathbf{a} es un vector de $(k+1)$ dimensiones, cuyos elementos son: a_0, a_1, \dots, a_k

Mediante el método de cuadrados mínimos se estima al vector \mathbf{a} .

Se definen también las varianzas:

$$\text{Varianza Total: } SST = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (4)$$

$$\text{Varianza de la Regresión: } SSR = \sum_{i=1}^n [y(x_i) - \bar{Y}]^2 \quad (5)$$

$$\text{Varianza del Error: } SSE = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (6)$$

Y los grados de libertad correspondientes a cada uno de los componentes de la varianza son:

	Grados Libertad	
Regresión	df_R	k
Error	df_E	$n - k - 1$
Total	df_T	$n - 1$

En este estudio se utiliza como variable dependiente (predictando) al rendimiento del cultivo y como variables predictoras a las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones mensuales.

Dado que la técnica de regresión múltiple permite reconstruir la variable rendimiento (R_{end}) mediante varios parámetros climáticos. En una primera etapa se toman los valores de precipitación acumulada y los promedios de las temperaturas extremas durante la campaña completa, tanto para el maíz como para la soja. Estos parámetros son un promedio regional de las estaciones de referencia seleccionadas. El primer modelo está representado por la siguiente ecuación:

$$R_{end}(t) = a_0 + a_1 pp_{campa\tilde{n}a}(t) + a_2 Tx_{campa\tilde{n}a}(t) + a_3 Tn_{campa\tilde{n}a}(t) + \varepsilon \quad (7)$$

El segundo modelo empleado tiene en cuenta lo que ocurre con la precipitación (pp) y las temperaturas máxima (Tx) y mínima (Tn) en cada una de las tres etapas en las que la campaña se divide (siembra – floración – cosecha). La expresión de dicho modelo es la siguiente:

$$R_{end}(t) = a_0 + a_1 Tx_s(t) + a_2 Tn_s(t) + a_3 pp_s(t) + a_4 Tx_f(t) + a_5 Tn_f(t) + a_6 pp_f(t) + a_7 Tx_c(t) + a_8 Tn_c(t) + a_9 pp_c(t) + \varepsilon \quad (8)$$

Bondad del ajuste

Existen dos preguntas cuando se piensa en el ajuste de un modelo. La primera: ¿en que medida el modelo reproduce los valores de Y por medio de los predictores? Para dar una respuesta se utiliza el coeficiente de determinación $R^2 = SSR/SST$.

El segundo planteo ante la pregunta de si existe una relación de regresión, la respuesta que surge es testear la hipótesis nula H_0 en donde $a_1 = \dots = a_k = 0$ (los coeficientes de regresión son nulos), mediante el parámetro estadístico F (que relaciona la varianza de la regresión con la varianza del error):

$$F = \frac{SSR/df_R}{SSE/df_E} \quad (9)$$

Los valores críticos de F son para el primer modelo 2.98 y para el segundo 2.40.

4.3. Resultados

Los modelos de regresión múltiple (campañas y etapas) son empleados para el promedio de las estaciones de referencia de cada país y para los diferentes grupos de estaciones agrupadas en los 2 ó 3 clusters (Capítulo 2.2).

Se continúa manteniendo la división por campañas y por etapas de la misma, ya que según el análisis de varianza no siempre las variables climáticas discriminan categorías de rendimiento, a pesar de que un modelo conceptual podría indicar que siempre la mayor disponibilidad de lluvias en la floración y la ausencia de extremos en las temperaturas implicarían mayores rendimientos.

4.3.1. Argentina

En la Tabla 4.3.1 se presentan el valor medio del rendimiento original del maíz (sin tendencia) y su desvío estándar, como así también los valores de desvío estándar y coeficiente de determinación (R^2) de los rendimientos generados a partir de los dos modelos teóricos de regresión. Los resultados del empleo del primer modelo se encuentran en la columna “Campana” y los del segundo modelo en la columna “Etapas”.

	Rend Orig		Des. Est.	
	2817,6		564,9	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	383,4	0,46	430,7	0,58
Grupo 1/2	328,9	0,34	432,4	0,59
Grupo 2/2	395,8	0,49	384,7	0,46
Grupo 1/3	352,3	0,39	420,4	0,55
Grupo 2/3	379,4	0,45	430,5	0,58
Grupo 3/3	320,1	0,32	366,3	0,42

Tabla 4.3.1: Valores de rendimiento (kg/hectárea) del maíz y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Argentina y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

El rendimiento del maíz presenta un valor medio de 2817.6 Kg/hectárea, y su desvío estándar es de 564.9 Kg/hectárea. Mediante el análisis de los modelos de regresión empleados se observa en rasgos generales una mejor representatividad del rendimiento cuando se evalúan a las variables climáticas en las tres etapas de desarrollo del cultivo (mayor valor desvío estándar).

En el primer modelo de regresión el rango de los coeficientes de determinación se encuentra entre un 30 y un 50 %, lo que significa que el empleo de los mismos explica ese porcentaje de la varianza del rendimiento original. En el ajuste del modelo utilizando los diferentes promedios de estaciones se obtienen valores significativos del coeficiente de determinación en todos los casos.

El mayor porcentaje de varianza lo explica el modelo que emplea a las estaciones del grupo “2/2” (Resistencia, Formosa, Ceres, Reconquista, Paso de los Libres, Córdoba, Paraná, Concordia, Río Cuarto, Rosario y Junín), seguido por el grupo “2/3” (Ceres, Córdoba, Paraná, Río Cuarto, Marcos Juárez, Rosario y Junín). Lo que estaría indicando que el comportamiento de las variables climáticas de las estaciones ubicadas en la Pampa Húmeda son las que mejor representan al rendimiento del maíz.

Cuando se emplean las variables medidas para cada etapa de la campaña, el nivel de representatividad aumenta en todos los grupos de estaciones, superando el umbral del 55 % de varianza explicada salvo por los grupos “2/2” y “3/3”.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	7,39	3,08
Grupo 1/2	4,44	3,14
Grupo 2/2	8,35	1,92
Grupo 1/3	5,51	2,76
Grupo 2/3	7,12	3,07
Grupo 3/3	4,10	1,61

Tabla 4.3.2: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

Si se analiza en la Tabla 4.3.2 el rendimiento generado por medio del comportamiento del estadístico F se observa que el primer modelo que emplea las variables evaluadas a lo largo de la campaña presenta un ajuste significativo en el promedio general del país y en los diferentes grupos. Cuando se emplean las variables evaluadas en las distintas etapas nuevamente se observa un ajuste significativo salvo para el grupo “2/2” y “3/3”, este resultado es concordante con el visto mediante el coeficiente de determinación, ya que estos dos grupos presentan los valores de R^2 más bajos.

En las Figuras 4.3.1 se puede ver en forma gráfica el ajuste del modelo teórico de campaña para los diferentes conjuntos de estaciones. Comenzando por el caso del promedio total de estaciones (Fig. superior izquierda) se ve un buen ajuste en algunos de los extremos que presenta el rendimiento como puede ser en la campaña 1987-88, 1997-98, 2008-09, también hay un acompañamiento en la variabilidad, pero no llega a los mismos rangos en los demás años. En el grupo “2/2” (Fig. media izquierda) que presenta el mayor coeficiente de determinación en el gráfico se puede ver como ambas curvas se acompañan en el tiempo, principalmente en los extremos de las campañas 1987-88, 1997-98, 2005-06, 2008-09.

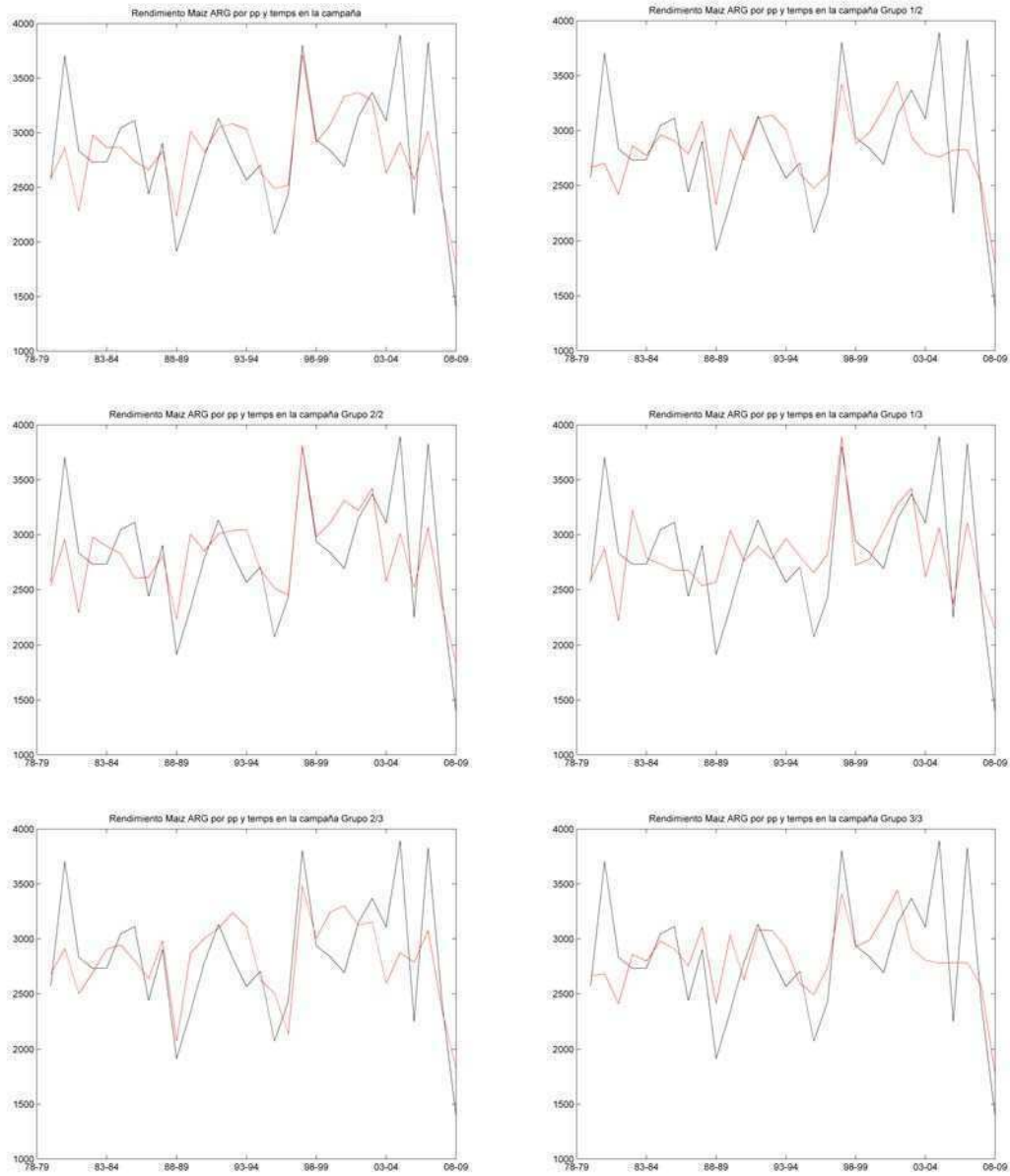


Figura 4.3.1: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en la Argentina (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo "1/2" de estaciones. Cen. Izq.: grupo "2/2" de estaciones. Cen. Der.: grupo "1/1" de estaciones. Inf. Izq.: grupo "2/3" de estaciones. Inf. Der.: grupo "3/3" de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.1).

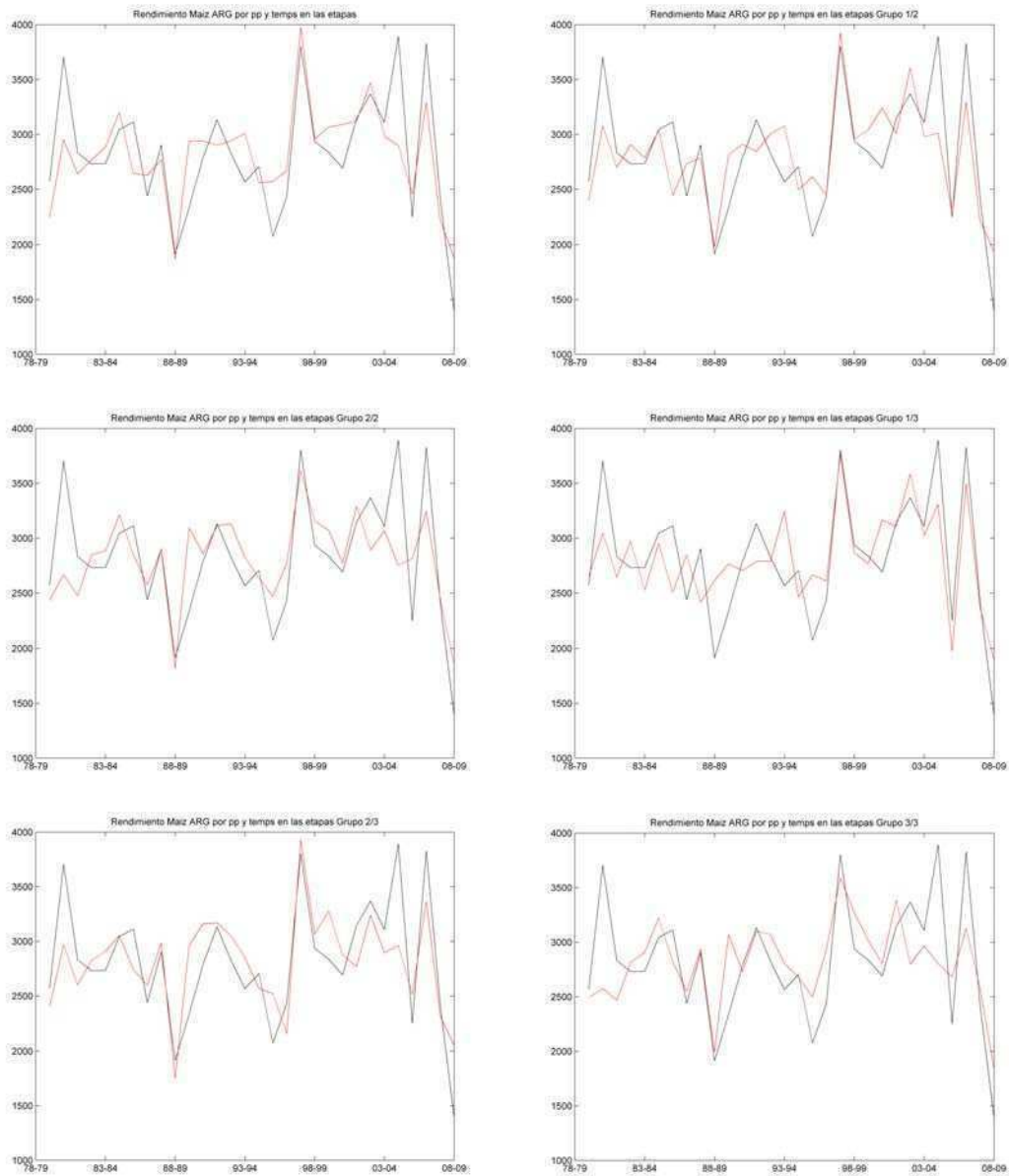


Figura 4.3.2: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en la Argentina (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo “1/2” de estaciones. Cen. Izq.: grupo “2/2” de estaciones. Cen. Der.: grupo “1/1” de estaciones. Inf. Izq.: grupo “2/3” de estaciones. Inf. Der.: grupo “3/3” de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.1).

En las Figuras 4.3.2 se presentan los ajustes del modelo teórico para las etapas. Tanto a nivel del promedio total de estaciones como en algunos de los grupos se observa un buen acompañamiento de ambas curvas al final del registro, alcanzando la mejor representatividad en las campañas 1987-88, 1988-89, 1997-98 y 2005-06.

En un análisis subjetivo en forma grafica se puede observar como el empleo de las variables en las etapas reproduce de forma mejor al rendimiento del maíz en la Argentina.

Si se hubiesen empleado los valores de rendimiento pertenecientes a sub-regiones y datos climáticos pertenecientes a estaciones que las integren, la representatividad del modelo aumentaría. Esto se debería a que hay presente variabilidad espacial del rendimiento en toda la zona productora. (Penalba *et al.* 2007).

4.3.2. Brasil

	Rend Orig		Des. Est.	
	1660		200,4	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	49,1	0,06	119,7	0,36
Grupo 1/2	52,7	0,07	144,9	0,52
Grupo 2/2	15,1	0,01	110,5	0,30
Grupo 1/3	58,2	0,08	165,9	0,69
Grupo 2/3	15,1	0,01	110,5	0,30
Grupo 3/3	59,9	0,09	83,2	0,17

Tabla 4.3.3: Valores de rendimiento (kg/hectárea) del maíz y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Brasil y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

El valor medio del rendimiento del maíz en Brasil es de 1660 Kg/hectárea y presenta un desvío estándar de 200 Kg/hectárea. Si se analizan los resultados es notoria la baja representatividad del rendimiento generado por el modelo que emplea las variables en las campañas, ya que en ningún caso se alcanza el 10 % en el coeficiente de determinación. (Tabla 4.3.3).

Cuando se analizan los resultados del modelo por etapas la representatividad aumenta llegando a valores superiores al 50 % en el R². Cuando se realiza la separación de estaciones en dos grupos, el primero de ellos (Bom Jesús de Lapa, Vitoria da Conquist, Campo Grande,

Iratí, Curitiba, Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa María) presenta un desvío estándar de 145 Kg/hectárea y logra explicar un 52 % de la varianza del rendimiento original del maíz. Pero el mejor ajuste lo logran las variables climáticas promediadas para las estaciones que integran el grupo “1/3” (Iratí, Irai, Sao Luiz Gonzaga y Santa María) que llegan a explicar un 69 % de la variabilidad del rendimiento.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	0,55	1,23
Grupo 1/2	0,64	2,43
Grupo 2/2	0,05	0,97
Grupo 1/3	0,79	4,85
Grupo 2/3	0,05	0,97
Grupo 3/3	0,85	0,46

Tabla 4.3.4: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

Mediante el análisis del estadístico F se reafirma lo visto para el modelo que emplea las campañas en donde ni en el promedio general ni en los diferentes grupos se logra obtener una serie de rendimiento generado que ajuste significativamente al rendimiento original. (Tabla 4.3.4). En cuanto al modelo de las etapas en esta oportunidad se logra un ajuste estadísticamente significativo en los grupos “1/2” y “1/3” (integrados principalmente por las estaciones ubicadas en la zona sur del área de estudio). Al comparar con lo visto mediante el coeficiente de determinación se advierte que por más que este coeficiente es significativo en algunos casos al emplear el estadístico F no se presentan los mismos resultados.

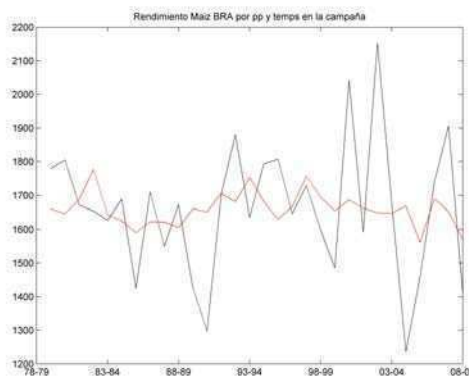


Figura 4.3.3: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en Brasil (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea. Para el promedio general de todas las estaciones de referencia.

En la Figura 4.3.3 se presenta el gráfico del rendimiento original y el generado a partir del primer modelo de regresión para el promedio general de todas las estaciones de referencia. La inclusión de esta figura es a modo de ejemplo ya que el modelo no ajusta al rendimiento original debido principalmente a la escasa variabilidad que presentó el rendimiento generado.

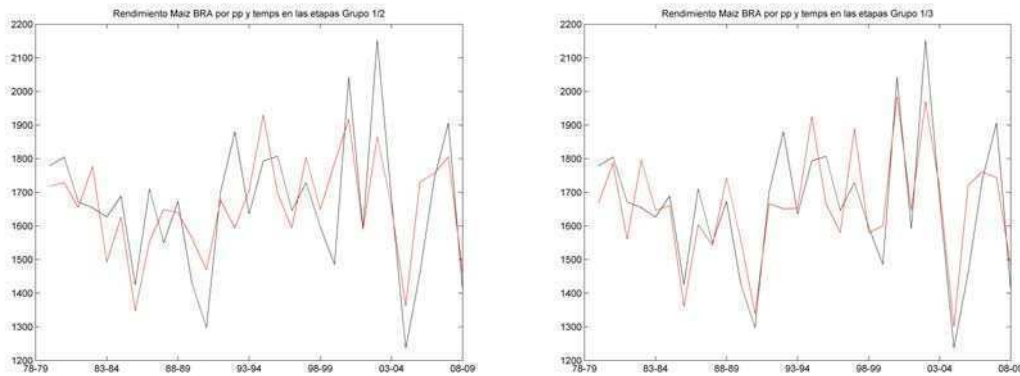


Figura 4.3.4: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en Brasil (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea. Izq.: grupo “1/2” de estaciones. Der.: grupo “1/3” de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.2).

En la Figura 4.3.4 se puede analizar en forma grafica la correlación existente entre ambos rendimientos (original y generado) en el grupo “1/2” (gráfico de la izquierda) la concordancia en los extremos de ambos rendimientos es lo que produce el alto valor del coeficiente de determinación (52 %). Una situación similar es la que se observa en el grupo “1/3” (gráfico de la derecha) en donde el rendimiento generado representa la variabilidad y los extremos del rendimiento original, especialmente en las campañas 1980-81, 1985-86 hasta 1990-91, en los años 2000-01 a 2004-05.

4.3.3. Estados Unidos

Cuando se estudia lo que sucede en los Estados Unidos la situación es similar a la observada en Brasil, al emplear el modelo de regresión con las variables climáticas medidas en las campañas, los valores de los coeficientes de determinación apenas alcanzan un 12 %

para el caso del promedio de estaciones del grupo “3/3” (Nashville, Memphis y Evansville). Mientras que si se utiliza el modelo que incluye a las variables evaluadas en las etapas los coeficientes de determinación superan el 60 %. Cuando se utiliza el promedio total de todas las estaciones de referencia se obtiene la mejor representatividad del rendimiento ya que el coeficiente de determinación es de 76 %. Al dividir a las estaciones en dos grupos, no se observan grandes diferencias entre uno y otro, ya que los rendimientos generados explican un 71% y un 73 % de la variabilidad del rendimiento original. (Tabla 4.3.5).

	Rend Orig		Des. Est.	
	6374,1		673,8	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	176,7	0,07	586,7	0,76
Grupo 1/2	132,6	0,04	574,5	0,73
Grupo 2/2	201,1	0,09	568	0,71
Grupo 1/3	149	0,05	581,9	0,75
Grupo 2/3	211,3	0,10	531,6	0,62
Grupo 3/3	235,4	0,12	565,2	0,70

Tabla 4.3.5: Valores de rendimiento (kg/hectárea) del maíz y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Estados Unidos y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

En la separación en tres grupos los valores de los coeficientes varían entre un 62 % para el grupo “2/3” y un 75 % para el grupo “1/3” (Knoxville, Louisville, St. Louis, Columbia, Peoria, South Bend y Toledo), este último grupo es el más numeroso lo que estaría indicando que cuando se emplean más estaciones de referencia mejor representado está el rendimiento del maíz.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	0,64	6,96
Grupo 1/2	0,35	5,92
Grupo 2/2	0,85	5,45
Grupo 1/3	0,44	6,51
Grupo 2/3	0,94	3,66
Grupo 3/3	1,20	5,27

Tabla 4.3.6: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

Si se analizan los resultados del estadístico F en el empleo del modelo de las campañas, ninguno de los rendimientos generados presentan un ajuste significativo con el rendimiento original. Mientras que los rendimientos obtenidos al emplear el modelo de las etapas ajustan significativamente al rendimiento original tanto en el promedio total de las estaciones de referencia, como en los promedios de los diferentes grupos. (Tabla 4.3.6).

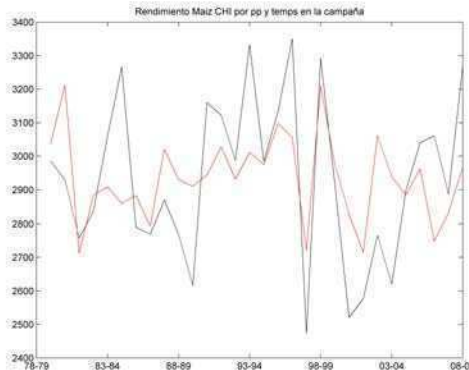


Figura 4.3.5: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en Estados Unidos (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea. Para el promedio general de todas las estaciones de referencia.

En la Figura 4.3.5 se muestra a modo de ejemplo el ajuste realizado para el promedio total de estaciones del modelo de regresión que utiliza los valores de las variables medidos durante la campaña. Como se exhibe en la Tabla 4.3.5 la variabilidad del rendimiento original (673.8 Kg/hectárea) no es bien representada por ninguno de los rendimientos generados, cuyos desvíos estándar se encuentran entre los 130 y los 240 kg/hectárea.

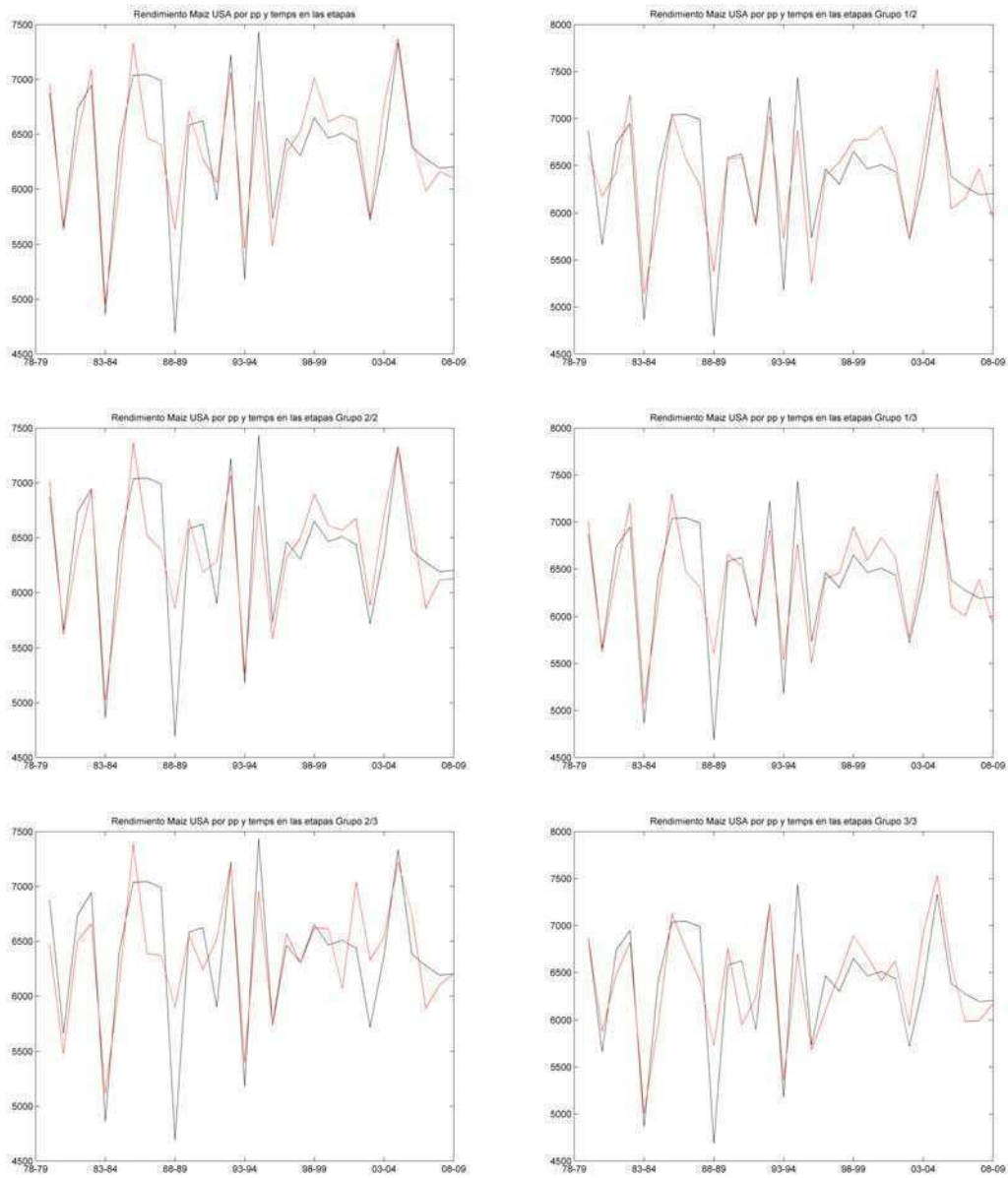


Figura 4.3.6: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en Estados Unidos (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo "1/2" de estaciones. Cen. Izq.: grupo "2/2" de estaciones. Cen. Der.: grupo "1/1" de estaciones. Inf. Izq.: grupo "2/3" de estaciones. Inf. Der.: grupo "3/3" de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.3).

En la Figura 4.3.6 se puede observar como la variabilidad del rendimiento del maíz se encuentra bien representada por el modelo que emplea a las variables climáticas en las etapas de desarrollo. En el caso del rendimiento generado por el promedio total de estaciones cuyo desvío estándar es de 586,7 kg/hectárea, es notoria la concordancia entre este rendimiento y el original a lo largo de todos los años del registro.

Entre las posibles causas se puede mencionar a la mínima diferencia entre tomar todas las estaciones o pequeños grupos en comparación a lo visto en Argentina y Brasil. Esto podría estar indicando una menor variabilidad espacial de los rendimientos en Estados Unidos, o una mejor discriminación regional de los mismos. En todos los casos representar al rendimiento mediante integradores climáticos (tomar precipitación y temperaturas en las campañas) no ajusta satisfactoriamente. Esto muestra un peso distinto del impacto de las variables climáticas en cada una de las etapas.

4.3.4. China

	Rend Orig		Des. Est.	
	2934,5		243,7	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	128,8	0,28	169,8	0,49
Grupo 1/2	118,9	0,24	170,5	0,49
Grupo 2/2	74,1	0,09	124,5	0,26
Grupo 1/3	76,6	0,10	154,7	0,40
Grupo 2/3	118,9	0,24	170,5	0,49
Grupo 3/3	51,1	0,04	134,1	0,30

Tabla 4.3.7: Valores de rendimiento (kg/hectárea) del maíz y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de China y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

En China los valores del coeficiente de determinación muestran la particularidad para el caso del modelo que emplea los datos en las campañas, en donde tanto el promedio total de estaciones y los grupos “1/2” y “2/3” en los cuales se encuentran entre el 24 y 28 %. En el resto de los grupos (formados por las estaciones ubicadas en la zona sur del país) los valores se encuentran entre el 4 y el 10%, siendo no significativos. (Tabla 4.3.7).

En el segundo modelo los coeficientes de determinación llegan a alcanzar un valor de casi el 50%. Nuevamente el promedio total de estaciones y los grupos “1/2” y “2/3” (que en

ambos casos quedaron agrupadas las mismas estaciones) generaron un rendimiento que explica un 49 % de la varianza del rendimiento original.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	3,36	2,09
Grupo 1/2	2,71	2,13
Grupo 2/2	0,88	0,78
Grupo 1/3	0,95	1,5
Grupo 2/3	2,71	2,13
Grupo 3/3	0,39	0,96

Tabla 4.3.8: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

Al analizar los resultados del estadístico F, solamente el rendimiento generado por el modelo que emplea los valores evaluados en la campaña del promedio total de todas las estaciones de referencia presenta un ajuste satisfactorio al rendimiento original. (Tabla 4.3.8).

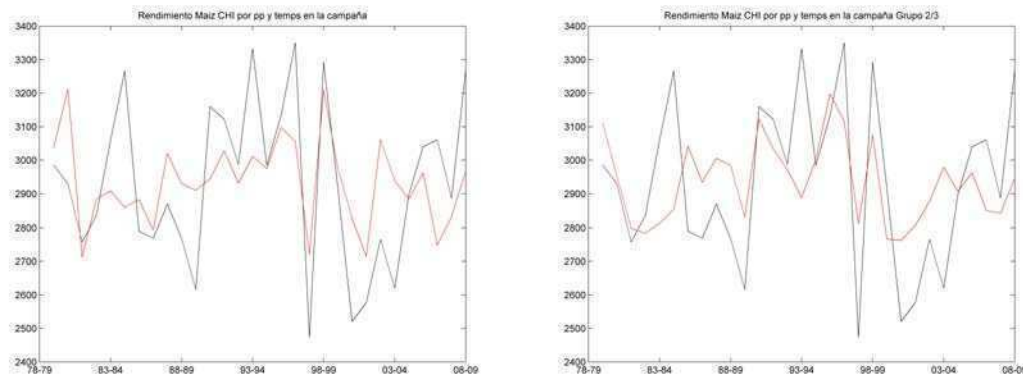


Figura 4.3.7: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en China (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Izq.: promedio total de est. de referencia Der.: grupo “2/3” de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.2).

En la Figura 4.3.7 se muestran los ajustes realizados al rendimiento del maíz mediante el modelo teórico que utiliza los datos en las campañas en ellos puede verse que tanto el promedio general de estaciones (gráfico de la izquierda) como las que conforman el grupo “2/3” (gráfico de la derecha) el rendimiento generado reproduce la variabilidad del original pero no llega a representar los extremos que el mismo presenta.

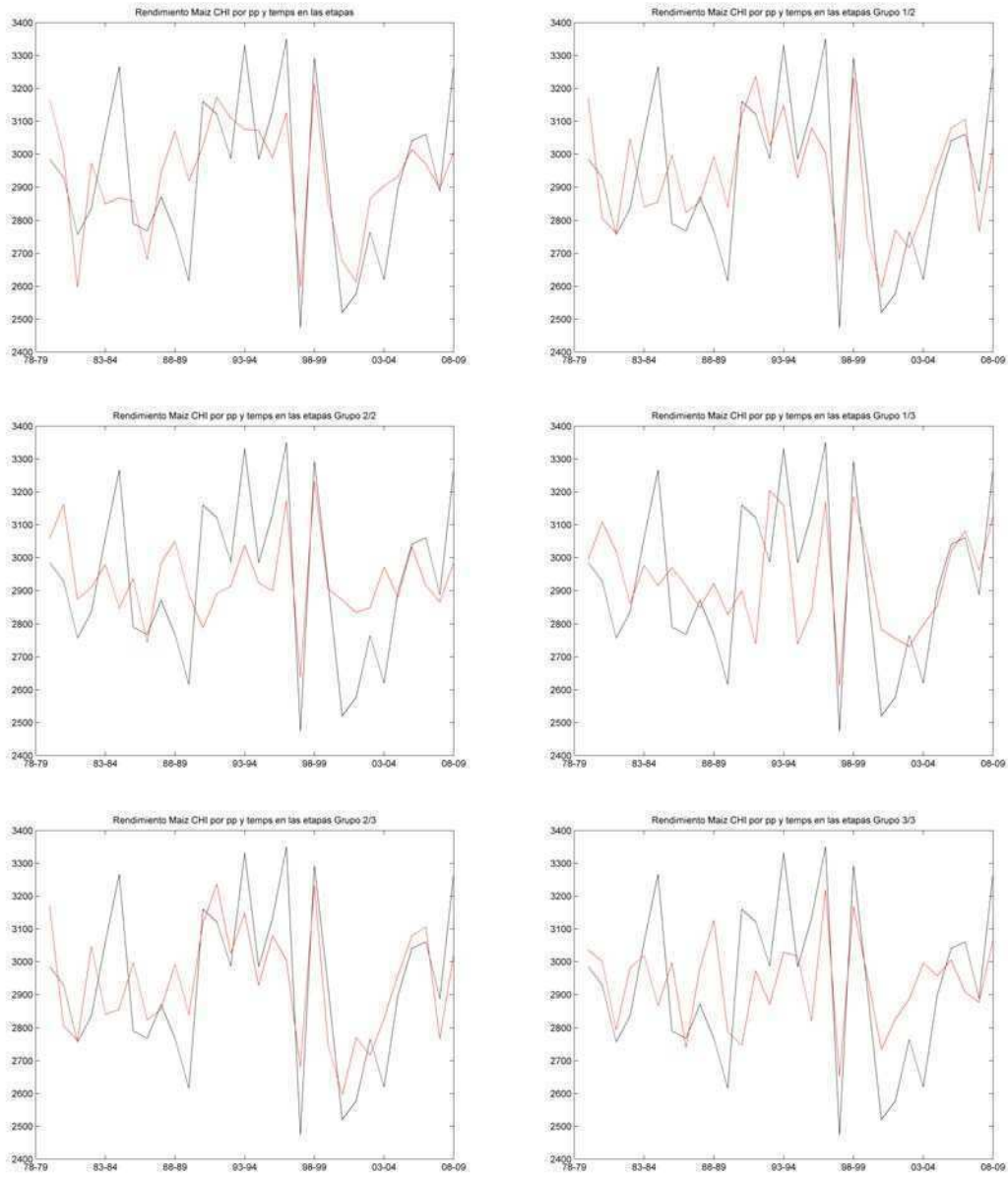


Figura 4.3.8: Rendimiento (sin tendencia) original del maíz en China (línea negra). Rendimiento del maíz generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo "1/2" de estaciones. Cen. Izq.: grupo "2/2" de estaciones. Cen. Der.: grupo "1/1" de estaciones. Inf. Izq.: grupo "2/3" de estaciones. Inf. Der.: grupo "3/3" de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.4).

En la Figura 4.3.8, al emplear las variables evaluadas en las etapas aumenta claramente la variabilidad del rendimiento generado llegando a representar en mayor medida a los extremos que presenta el rendimiento original, como puede ser en las campañas de los años 1997-98 y 1998-99.

4.3.5. Análisis General para el Cultivo de la Soja

El mismo análisis se realiza para el cultivo de la soja, en esta oportunidad solo se presentaron las Tablas y los gráficos del modelo que mejor ajusta en cada una de las regiones.

	Rend Orig		Des. Est.	
	1898,9		283,2	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	185,6	0,43	215	0,58
Grupo 1/2	185,4	0,43	221,4	0,61
Grupo 2/2	179,2	0,40	202,3	0,51
Grupo 1/3	125,5	0,19	150,6	0,28
Grupo 2/3	210,2	0,55	237,6	0,70
Grupo 3/3	180,9	0,41	214,4	0,57

Tabla 4.3.9: Valores de rendimiento (kg/hectárea) de la soja y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Argentina y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

El rendimiento de la soja sin tendencia en la Argentina presenta un valor medio de aproximadamente 1900 Kg/hectárea, y un desvío estándar de 283,2 Kg/hectárea. Ambos modelos de regresión se emplean en los diferentes agrupamientos de estaciones, los mismos presentan coeficientes de determinación significativos, con este valor se puede saber el porcentaje de varianza que el rendimiento generado explica del rendimiento original. Al igual que en el cultivo del maíz, el modelo que emplea a las variables climáticas evaluadas en las etapas es el que alcanza porcentajes más altos de varianza explicada, y dentro de ellos el grupo “2/3” de las estaciones ubicadas principalmente en la Pampa Húmeda (Ceres, Córdoba, Paraná, Río Cuarto, Marcos Juárez, Rosario y Junín) es el que presenta un valor de desvío estándar similar al del rendimiento original y explica un 70 % de la varianza del mismo.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	6,52	3,02
Grupo 1/2	6,5	3,49
Grupo 2/2	5,8	2,31
Grupo 1/3	2,1	0,87
Grupo 2/3	10,6	5,29
Grupo 3/3	5,90	2,98

Tabla 4.3.10: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

El empleo del estadístico F permite conocer por otro medio si el modelo ajusta bien al rendimiento original. En el caso del empleo del primer modelo se observa en la Tabla 4.3.10 que solamente el grupo “1/3” (Resistencia, Formosa, Reconquista, Paso de los Libres y Concordia) no presenta un ajuste significativo del rendimiento, esto es coincidente con lo visto por medio del coeficiente de determinación que presenta el porcentaje más bajo de varianza explicada.

En el caso del modelo de las etapas nuevamente el rendimiento generado a partir de este grupo de estaciones no ajusta al original y se suma el grupo “2/2”, cuyo parámetro F presenta un valor cercano al de corte.

Cuando se analiza en forma subjetiva los gráficos del empleo de modelo de regresión a nivel campaña se puede observar que en la mayoría de los casos existe un acompañamiento entre ambas curvas. Analizando el caso particular de grupo “2/3” (Figura 4.3.9 – Inferior izquierda) que tiene el mayor coeficiente de determinación y según el estadístico F ajusta satisfactoriamente, podemos ver una buena representación de valores extremos como los ocurridos en las campañas 1987-88, 1988-89, 1997-98 y 2008-09.

En el análisis de los rendimientos generados por medio del segundo modelo, todos los casos (salvo grupo “1/3”) representan el salto en el valor del rendimiento entre las campañas 1996-97 y 1997-98, como así también el 1987-88 y 1988-89. El mejor se obtiene con el grupo “2/3”, en el gráfico se refleja tanto en la variabilidad interanual como en los valores extremos. (Figura 4.3.10 –Inferior izquierda).

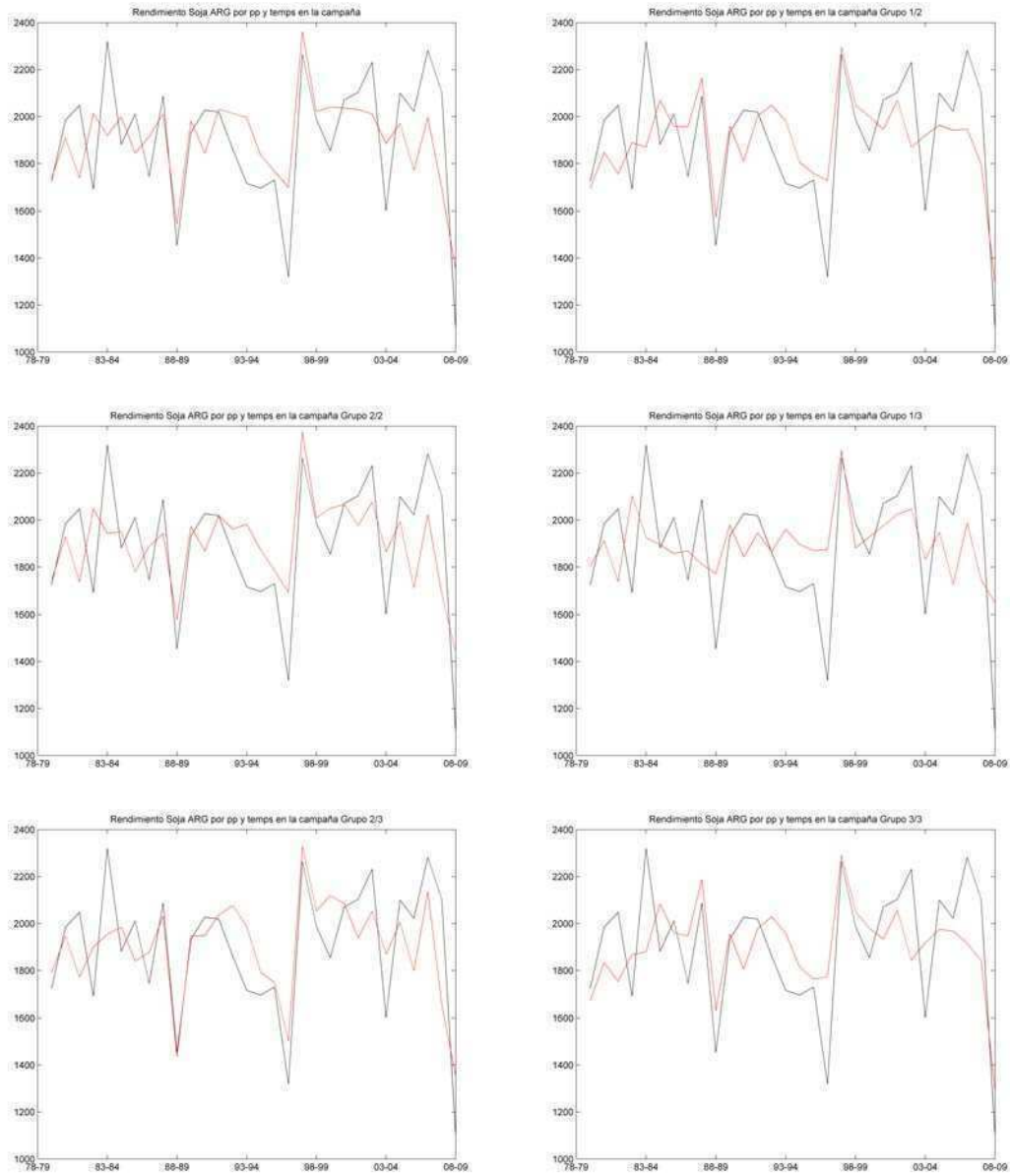


Figura 4.3.9: Rendimiento (sin tendencia) original de la soja en Argentina (línea negra). Rendimiento de la soja generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo "1/2" de estaciones. Cen. Izq.: grupo "2/2" de estaciones. Cen. Der.: grupo "1/1" de estaciones. Inf. Izq.: grupo "2/3" de estaciones. Inf. Der.: grupo "3/3" de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.1).

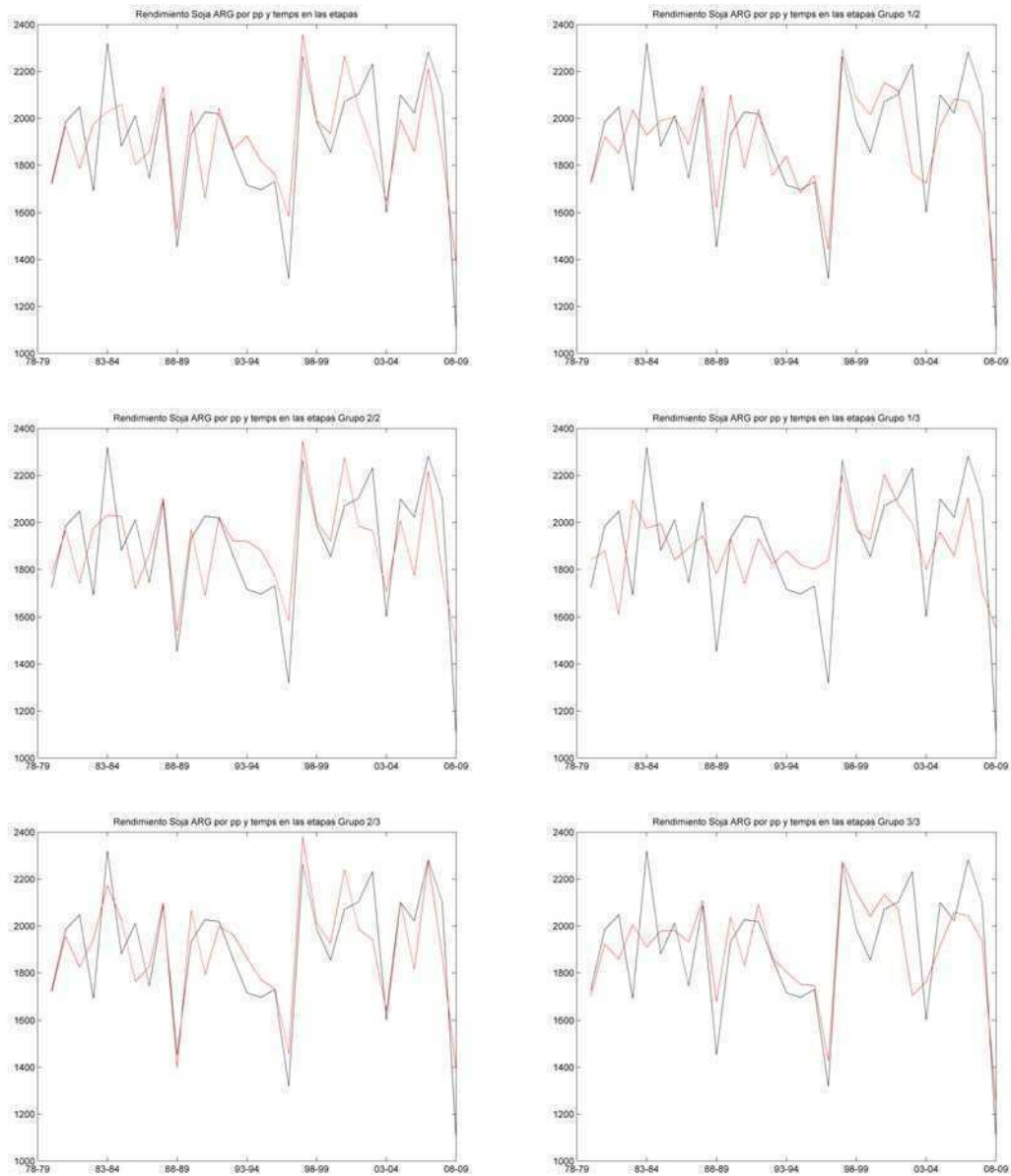


Figura 4.3.10: Rendimiento (sin tendencia) original de la soja en Argentina (línea negra). Rendimiento de la soja generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo "1/2" de estaciones. Cen. Izq.: grupo "2/2" de estaciones. Cen. Der.: grupo "1/1" de estaciones. Inf. Izq.: grupo "2/3" de estaciones. Inf. Der.: grupo "3/3" de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.1).

	Rend Orig		Des. Est.	
	1563		190,1	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	85,7	0,20	144,8	0,58
Grupo 1/2	89,7	0,22	154,5	0,66
Grupo 2/2	40,3	0,04	116,5	0,38
Grupo 1/3	83,5	0,19	151,3	0,63
Grupo 2/3	40,3	0,04	116,5	0,38
Grupo 3/3	66,2	0,12	97,4	0,26

Tabla 4.3.11: Valores de rendimiento (kg/hectárea) de la soja y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Brasil y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

En Brasil el rendimiento de la soja sin tendencia presenta un valor medio de 1563 Kg/hectárea, y un desvío estándar de 190 Kg/hectárea. Al emplear el primer modelo de regresión se observa que todos los grupos de estaciones presentan un bajo desvío estándar en comparación al observado en el original. El coeficiente de correlación es significativo para el promedio total de las estaciones de referencia y para los grupos “1/2” y “1/3” (estos dos grupos están integrados principalmente por las estaciones ubicadas en la zona centro-sur del área de estudio).

Cuando se emplea el segundo modelo, los valores de desvío estándar aumentan al igual que el coeficiente de determinación, el cual en todos los grupos de estaciones es significativo. Tomando como ejemplo se puede mencionar que el rendimiento generado por los grupos “1/2” ó “1/3” explican más de un 60 % de la varianza que el rendimiento original de la soja presenta.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	2,21	3,07
Grupo 1/2	2,48	4,32
Grupo 2/2	0,41	1,34
Grupo 1/3	2,07	3,84
Grupo 2/3	0,41	1,34
Grupo 3/3	1,19	0,79

Tabla 4.3.12: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

Cuando se analizan los resultados del estadístico F, al emplear el primer modelo no se observan ajustes significativos, mientras que al emplear el modelo con los valores medidos por etapas tanto para el promedio general de estaciones, como para los grupos “1/2” y “1/3” se obtiene un ajuste satisfactorio por medio del rendimiento generado.

Los rendimientos que se generan por el modelo de la campaña presentan una baja representatividad del rendimiento original, esto se debe principalmente al bajo valor de desvío estándar que la aplicación del modelo arroja, como sucede con el rendimiento del maíz. Dado que en ninguna oportunidad se produce un ajuste satisfactorio no se presentan los resultados en forma gráfica. Los rendimientos generados por el segundo modelo en todos los casos muestran un mejor acompañamiento entre ambas curvas. Analizando en particular los tres casos donde el ajuste es significativo (según el empleo del estadístico F) se nota al comienzo del registro una buena representatividad tanto de la variabilidad año a año, hacia la mitad del registro el rendimiento original no presenta una variación interanual, esta situación no está bien reflejada en ninguno de los rendimientos generados, los cuales muestran una variabilidad de un año a otro. En la Figura 4.3.11 se presenta el resultado del modelo aplicado al grupo de estaciones “1/2” (gráfico de la izquierda) y “1/3” (gráfico de la derecha).

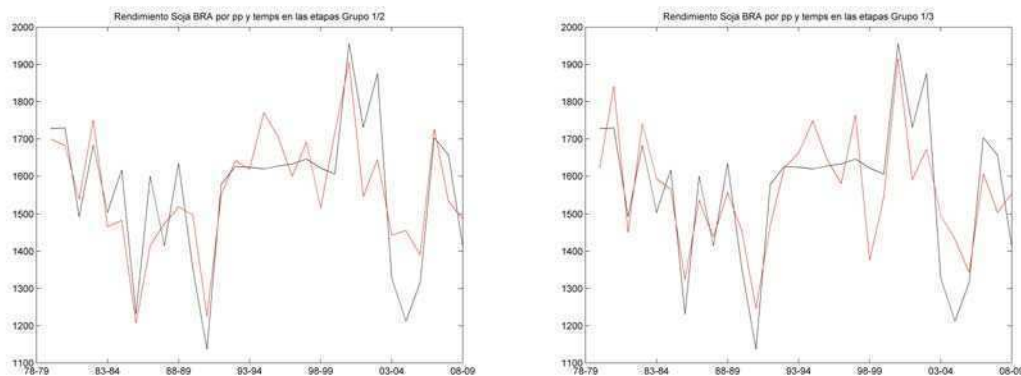


Figura 4.3.11: Rendimiento (sin tendencia) original de la soja en Brasil (línea negra). Rendimiento de la soja generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea. Izq.: grupo “1/2” de estaciones. Der.: grupo “1/3” de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.2).

	Rend Orig		Des. Est.	
	1903,2		177,9	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	75,9	0,18	129,1	0,53
Grupo 1/2	55,4	0,09	135,8	0,58
Grupo 2/2	80,7	0,21	127,7	0,51
Grupo 1/3	73,9	0,17	131,9	0,55
Grupo 2/3	64,6	0,13	131,9	0,55
Grupo 3/3	75,4	0,18	119,9	0,45

Tabla 4.3.13: Valores de rendimiento (kg/hectárea) de la soja y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de Estados Unidos y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

El rendimiento de la soja en los Estados Unidos presenta un valor medio de 1900 Kg/hectárea, cuando se lo evalúa sin la tendencia que posee, y un desvío estándar de 178 Kg/hectárea. En la Tabla 4.3.13 se puede observar como la utilización del modelo de regresión que emplea las variables climáticas evaluadas durante las campañas genera una serie de rendimientos en los cuales la variabilidad es baja (desvíos estándar del orden de 55-80 Kg/hectárea) si la comparamos con el rendimiento original de la soja.

Al utilizar el segundo modelo, que emplea las etapas, en los diferentes promedios de estaciones que se realizan se observa una mayor variabilidad de los rendimientos generados y en todas las oportunidades la correlación es significativa.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	1,93	2,47
Grupo 1/2	0,93	3,1
Grupo 2/2	2,24	2,36
Grupo 1/3	1,81	2,71
Grupo 2/3	1,31	2,72
Grupo 3/3	1,90	1,85

Tabla 4.3.14: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

En la Tabla 4.3.14 se presentan los valores del estadístico F, al emplear el primer modelo en ninguna oportunidad el rendimiento generado ajusta satisfactoriamente al

rendimiento de la soja original. Mientras que al utilizar los datos por etapas en cuatro oportunidades el rendimiento generado se ajusta al original.

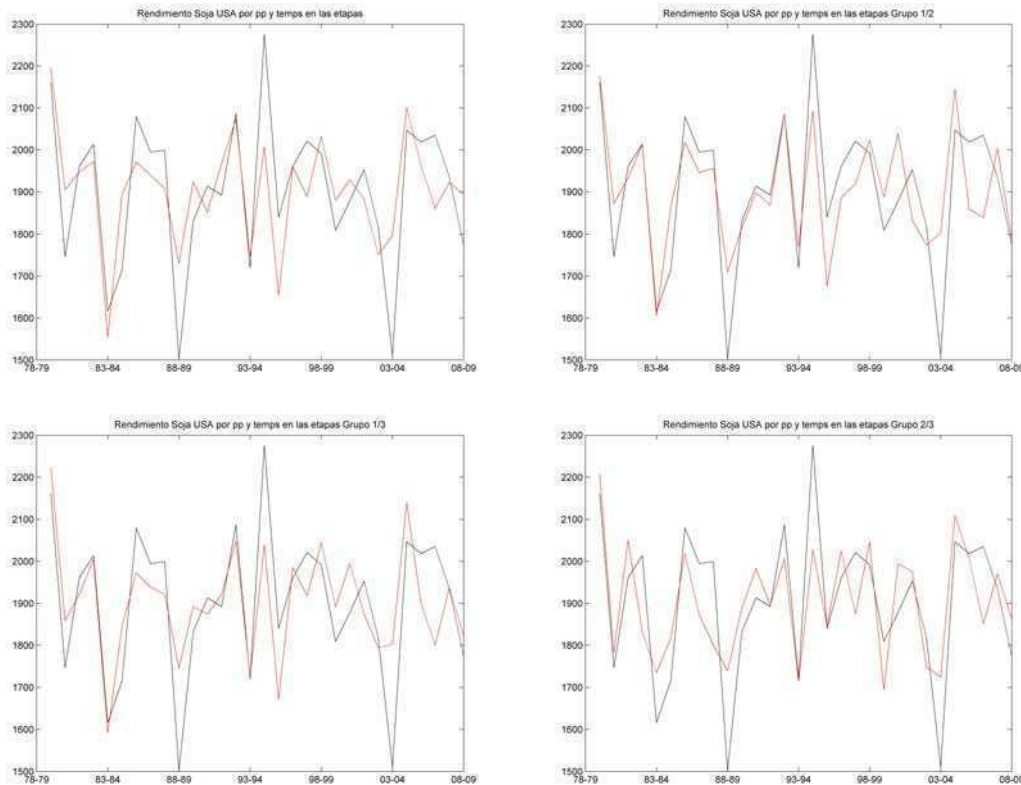


Figura 4.3.12: Rendimiento (sin tendencia) original de la soja en Estados Unidos (línea negra). Rendimiento de la soja generado mediante un modelo de regresión lineal múltiple que emplea las temperaturas máximas y mínimas y las precipitaciones evaluadas durante las etapas de la campaña (línea colorada). En unidades de Kg/hectárea.

Sup. Izq.: promedio total de est. de referencia. Sup. Der.: grupo “1/2” de estaciones. Inf. Izq.: grupo “1/3” de estaciones. Inf. Der.: grupo “2/3” de estaciones. (Grupos de estaciones según Tabla 2.2.3).

Los rendimientos que se obtienen con los datos por campaña presentan poca variabilidad en comparación a la variabilidad interanual que el rendimiento original exhibe. (Los resultados no se presentan en forma gráfica).

Al analizar los rendimientos generados por las variables climáticas en las etapas fue notoria la mayor variabilidad en comparación a lo visto al emplear el primer modelo. En la mayoría de las situaciones se observa un acoplamiento entre ambos rendimientos, con una buena representatividad de la variabilidad y de los valores extremos que la serie original presenta. Si se analiza el resultado del grupo “1/2” que presenta el mejor ajuste, se observa un

buena representación por parte del rendimiento generado principalmente en la primera mitad del registro. (Figura 4.3.12 –Superior derecha).

	Rend Orig		Des. Est.	
	1005,1		99,6	
	Campaña		Etapas	
	Des. Est.	R ²	Des. Est.	R ²
Prom. Total	30,9	0,09	60,3	0,37
Grupo 1/2	31,5	0,10	50,8	0,26
Grupo 2/2	17,4	0,03	56,9	0,33
Grupo 1/3	21,8	0,05	69,1	0,48
Grupo 2/3	17,4	0,03	50,8	0,26
Grupo 3/3	43,3	0,19	59,4	0,36

Tabla 4.3.15: Valores de rendimiento (kg/hectárea) de la soja y su desvío estándar. Desvío estándar y coeficiente de determinación (R²) del rendimiento generado por los modelos de regresión de la campaña y por etapas evaluados para el promedio total de las estaciones de referencia de China y de los diferentes grupos de estaciones según los 2 clusters utilizados. En negrita valores significativos al 5 % del coeficiente de determinación.

En China el valor medio del rendimiento de la soja (sin tendencia) es de 1005 Kg/hectárea y su desvío estándar alcanza los 99 Kg/hectárea. Al emplear el modelo que utiliza las campañas, se puede observar en la Tabla 4.3.15 que en ningún caso se encuentra una correlación significativa entre los rendimientos. La situación contraria se presenta al emplear el segundo modelo, en donde salvo un grupo de estaciones (“1/2” y “2/3” que son el mismo grupo de estaciones agrupadas) se genera un rendimiento que se correlaciona satisfactoriamente con el original.

F	Campaña	Etapas
Prom. Total	0,93	1,29
Grupo 1/2	0,96	0,78
Grupo 2/2	0,27	1,07
Grupo 1/3	0,44	2,06
Grupo 2/3	0,27	0,78
Grupo 3/3	2,02	1,23

Tabla 4.3.16: Valores del estadístico F. En negrita valores significativos al 5%.

En la Tabla 4.3.16 se muestran los valores del estadístico F, en esta oportunidad en ninguno de los 2 modelos hay un ajuste significativo entre ambos rendimientos.

Los rendimientos generados por el primer modelo no se presentan en forma gráfica, los mismos no ajustan al rendimiento original, principalmente por la escasa variabilidad que muestran.

Los rendimientos generados con los datos por etapas, en esta oportunidad presentan correlaciones significativas (salvo en los grupos ya mencionados), pero en ninguna ocasión el ajuste es satisfactorio (medido con el estadístico F), en gran medida por lo que sucede al comienzo del registro.

4.4. Conclusiones

A modo de síntesis de lo visto en la relación por categorías entre la precipitación y los rendimientos se infiere que las zonas núcleo de los países exportadores son las que presentan una asociación directa entre las categorías de rendimientos y las categorías de precipitación.

El propósito de este análisis es responder mediante modelos de regresión múltiple la pregunta de si existe una relación entre el clima y los rendimientos.

Se utilizan los valores climáticos medidos en las campañas completas y en las etapas particulares, y se los evalúa en los promedios de estaciones de referencia y en los diferentes grupos de estaciones hallados en el Capítulo 2.2.

Para Argentina con el empleo del segundo modelo se obtiene una mayor correlación entre el rendimiento generado y el original. Y dentro de los resultados del empleo del segundo modelo, la utilización de las variables climáticas medidas en el grupo “2/3” el cual incluye las estaciones ubicadas en la Pampa Húmeda es el que mejor representa al rendimiento del maíz, tanto en la mayoría de sus valores extremos como en la variabilidad que presenta a lo largo de los años. Este mismo grupo de estaciones muestra una significativa relación con el rendimiento de la soja logrando representar los valores extremos como fueron los años 1988-89, 1997-98, 1998-99 y la última campaña analizada de 2008-09. Por estos resultados y los vistos en los capítulos anteriores este grupo de estaciones es el que mejor representa lo que sucede en la Argentina con el rendimiento de ambos cultivos, por ese motivo se las utilizará para la selección de eventos particulares en el próximo capítulo.

En Brasil el empleo de las variables climáticas evaluadas en las campañas no muestran buenos resultados tanto para el maíz como para la soja. En cuanto al empleo del segundo modelo, las variables medidas para el promedio de estaciones que conforman el grupo “1/3” son las que mejor representan los rendimientos de maíz y de soja, logrando simbolizar la variabilidad existente a lo largo del período principalmente para el cultivo del maíz y los rendimientos extremos se registran al comienzo del período por el cultivo de la soja. Este grupo de estaciones ubicadas en el sector sur de Brasil se emplearan para la selección de eventos particulares en el siguiente capítulo.

En Estados Unidos el empleo del modelo que utiliza solamente los datos de las campañas completas no muestra buenos resultados para ambos cultivos. En cuanto al segundo modelo para el cultivo del maíz tanto el utilizar el promedio de todas las estaciones como los diferentes grupos se registran ajustes satisfactorios, el rendimiento que se genera con las variables evaluadas en las estaciones del grupo “1/3” representan la variabilidad que este rendimiento presenta a lo largo de todo el registro, como así también algunos de los valores extremos. Si el rendimiento que se analiza es el de la soja, este grupo continúa presentando el mejor ajuste representando en gran medida la variabilidad pero no así los valores extremos que se producen. Este grupo de estaciones será utilizado en el próximo capítulo para la selección de eventos extremos del clima en la región.

El rendimiento del maíz y la soja en China es difícil de representar tanto por el primer como por el segundo modelo, con este último se obtienen algunos casos satisfactorios en cuanto al valor del coeficiente de determinación.

La capacidad de representar el rendimiento de un cultivo por medio de variables climáticas permite poder predecir sus valores utilizando los pronósticos climáticos de precipitación y temperaturas. En conclusión general en base a lo analizado los mejores resultados son obtenidos al evaluar las variables durante las etapas que integran las campañas.

A pesar de las limitaciones de los modelos empíricos y de la utilización de datos mensuales que pueden enmascarar efectos de los extremos diarios (que afectan a los rendimientos, como por ejemplo son las heladas), los mismos pueden ser una importante herramienta para entender la relación entre las variaciones climáticas y la producción de cultivos.

Anexo:

Se presentan los parámetros de la regresión de ambos modelos para los diferentes promedios de estaciones y para ambos cultivos.

Argentina - Cultivo del Maíz:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	10352,9	10924,9	11526,2	3823,5	12866,7	10863,8
a1	-298,4	-340,2	-277,8	-51,4	-353,0	-332,9
a2	-93,3	-64,3	-186,2	-61,1	-148,0	-76,0
a3	1,7	1,4	1,6	1,3	1,2	1,3

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	10686,4	11210,5	9283,3	3940,5	12606,1	9431,2
a1	206,8	179,6	132,9	309,6	35,1	130,7
a2	-127,8	-163,8	11,6	-303,2	14,5	13,0
a3	3,0	2,7	0,2	3,9	-0,3	0,4
a4	-319,4	-227,3	-409,9	-55,3	-318,9	-409,2
a5	26,5	-85,1	165,5	-151,5	37,2	158,0
a6	1,4	1,6	1,3	2,3	1,3	0,6
a7	-208,9	-219,3	-36,6	-266,2	-145,8	-4,3
a8	101,4	127,4	-70,2	297,2	50,9	-129,1
a9	0,5	0,0	4,0	-0,4	1,0	4,3

Brasil - Cultivo del Maíz:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	1451,9	1204,0	1850,4	2167,6	1850,4	117,0
a1	-97,7	-76,5	-20,3	-39,3	-20,3	-28,9
a2	151,3	140,3	26,3	22,2	26,3	146,9
a3	0,2	0,1	-0,1	0,2	-0,1	-0,5

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	1261,3	376,8	-1510,6	39,3	-1510,6	30,5
a1	28,9	22,2	-21,1	63,4	-21,1	-8,6
a2	-103,9	-136,8	213,1	-124,0	213,1	193,1
a3	1,8	1,9	-0,7	1,3	-0,7	-0,1
a4	-149,0	-159,6	84,9	-100,7	84,9	-31,6
a5	334,0	345,7	-43,8	264,4	-43,8	21,0
a6	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,8
a7	-42,2	68,8	113,9	-16,0	113,9	-1,0
a8	-0,5	-59,2	-261,5	10,9	-261,5	-54,9
a9	-0,9	-0,6	0,4	-0,5	0,4	-0,5

Estados Unidos - Cultivo del Maíz:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	8381,3	9909,5	7920,3	9136,8	3713,4	10198,5
a1	-231,6	-154,4	-243,1	-216,3	-5,0	-340,3
a2	277,9	7,5	334,1	193,7	132,4	391,4
a3	0,0	-0,4	0,0	-0,1	1,0	-0,9

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	15565,2	15624,1	15467,6	14553,8	13781,8	16647,7
a1	238,3	142,2	274,1	187,5	96,2	232,2
a2	-75,0	-50,2	-87,5	-54,4	111,5	-65,5
a3	0,1	-0,3	-0,2	0,7	-3,0	-0,8
a4	-371,8	-405,7	-420,7	-303,8	-356,3	-519,8
a5	-169,3	-102,4	-108,7	-217,2	-119,8	4,8
a6	1,0	-1,3	-0,3	0,6	0,7	-0,7
a7	8,1	158,3	-2,0	35,7	128,8	23,7
a8	143,8	-62,3	191,9	132,3	32,9	180,1
a9	-3,6	-1,8	-3,5	-2,9	-0,9	-2,4

China - Cultivo del Maíz:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	5027,7	5334,1	3523,4	3492,3	5334,1	3311,5
a1	-285,0	-157,6	-40,9	-27,9	-157,6	-16,7
a2	249,9	78,3	-12,7	-30,1	78,3	-16,9
a3	1,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,3

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	1162,7	4422,0	726,3	3630,3	4422,0	-585,5
a1	-72,6	-28,1	72,7	17,6	-28,1	70,7
a2	-11,8	8,6	-214,7	-183,8	8,6	-171,0
a3	-0,5	1,4	1,8	3,5	1,4	0,3
a4	-170,6	-163,2	-57,1	-39,7	-163,2	-112,0
a5	145,9	116,3	36,4	-67,7	116,3	91,4
a6	0,9	0,4	0,3	1,9	0,4	-0,2
a7	218,0	85,2	-56,7	-225,8	85,2	30,1
a8	-87,3	-35,9	211,5	411,1	-35,9	163,9
a9	3,3	-0,6	0,7	-0,8	-0,6	1,2

Argentina - Cultivo de la Soja:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	7322,8	8304,3	6512,3	2541,7	7448,1	8416,7
a1	-191,3	-213,3	-155,9	-38,6	-204,8	-203,7
a2	-46,1	-82,4	-46,6	4,2	-33,6	-107,2
a3	0,5	0,1	0,5	0,4	0,5	-0,1
Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	7506,9	8345,2	6566,7	682,4	7755,9	8653,0
a1	-65,9	-74,1	-67,1	-30,1	-50,3	-65,0
a2	-42,9	-1,7	-30,1	-13,9	-58,7	11,2
a3	0,0	-1,7	0,2	0,3	0,3	-2,2
a4	-51,5	-36,4	-13,4	59,5	-131,7	-39,7
a5	-19,1	-72,0	-36,5	54,7	44,0	-99,3
a6	1,9	2,4	1,5	0,8	1,1	1,9
a7	-94,0	-151,1	-80,7	-55,1	-40,0	-153,2
a8	33,5	69,4	18,1	22,8	-4,0	59,2
a9	-1,6	-2,1	-0,9	-0,1	-0,4	-1,9

Brasil - Cultivo de la Soja:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	154,2	-549,3	1554,5	655,0	1554,5	-414,0
a1	-151,0	-104,5	-48,4	-50,9	-48,4	-68,6
a2	296,6	275,5	85,1	128,9	85,1	220,8
a3	0,1	0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,3
Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	1201,9	-77,7	-2037,5	147,0	-2037,5	48,4
a1	-110,1	-48,5	-157,8	3,8	-157,8	-55,5
a2	-5,8	-85,9	286,7	-80,8	286,7	169,0
a3	0,9	1,1	-0,7	0,7	-0,7	-0,4
a4	-66,2	-121,5	-30,3	-93,5	-30,3	-32,0
a5	177,2	247,0	115,4	128,5	115,4	73,0
a6	1,7	1,0	-0,7	0,7	-0,7	0,1
a7	-6,9	93,7	362,2	72,7	362,2	28,7
a8	92,8	30,0	-445,8	51,8	-445,8	-61,6
a9	-0,9	-0,7	0,3	-0,1	0,3	-1,2

Estados Unidos - Cultivo de la Soja:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	3415,9	3061,5	3513,3	3276,6	2563,7	3268,2
a1	-111,5	-76,8	-118,2	-101,1	-67,5	-109,6
a2	113,9	63,6	120,5	101,2	80,2	116,5
a3	-0,4	-0,2	-0,4	-0,4	-0,1	-0,3

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	4480,3	3704,7	4720,3	4065,5	3231,1	4092,1
a1	-45,5	67,0	-77,9	23,8	-108,0	-56,4
a2	77,8	-19,7	96,8	20,4	104,7	86,4
a3	-1,3	0,1	-1,5	-0,4	-1,9	-1,0
a4	-59,0	-129,1	-39,9	-101,6	-37,8	-43,0
a5	-33,0	40,6	-49,5	11,0	-23,7	-21,0
a6	0,5	-0,4	0,6	-0,3	1,1	0,7
a7	9,7	-25,1	18,6	-13,6	103,7	-2,4
a8	-2,2	57,8	-8,5	35,7	-54,9	-0,4
a9	-0,3	-0,3	-0,2	-0,5	0,5	-0,3

China - Cultivo de la Soja:

Modelo 1	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	890,3	1457,5	536,3	572,5	1457,5	309,1
a1	-18,2	-43,7	50,3	19,5	-43,7	37,0
a2	17,1	43,3	-59,7	2,9	43,3	-29,0
a3	0,4	0,0	0,3	-0,1	0,0	0,3

Modelo 2	general	grupo 1 / 2	grupo 2 / 2	grupo 1 / 3	grupo 2 / 3	grupo 3 / 3
a0	-222,7	-485,8	774,7	19,6	774,7	447,1
a1	-68,0	-28,1	-23,9	-30,5	-23,9	-46,9
a2	140,0	79,5	37,5	111,1	37,5	100,7
a3	0,8	0,7	0,4	-0,6	0,4	0,4
a4	-55,3	-12,6	-52,8	-48,4	-52,8	25,7
a5	124,7	53,1	113,4	71,7	113,4	-26,6
a6	0,2	-0,1	0,0	-0,5	0,0	0,3
a7	32,0	45,6	-11,2	77,4	-11,2	2,0
a8	-95,4	-78,3	-25,1	-95,4	-25,1	-26,9
a9	0,7	1,0	-0,8	0,6	-0,8	-0,1

Capítulo 5: Aspectos de la Circulación en Eventos Extremos

Una vez estudiadas las variables climáticas durante las campañas de la soja y el maíz es necesario caracterizar los procesos físicos asociados a eventos particulares durante estos períodos. Conocer los factores climáticos permite determinar la respuesta que las producciones agrícolas tienen frente a ellos, lo que presenta un gran interés para el uso adecuado de recursos y para los beneficios económicos que se pueden obtener. (Changnon and Kunkel, 1999).

Diferentes trabajos estudian la relación entre las variaciones climáticas y las producciones agrícolas. Gran parte de la bibliografía clima-cultivo estudia la relación que existe entre los cultivos y el ENSO (*El Niño – Southern Oscillation*), como por ejemplo Hansen *et al.* (1998) quienes estudian las producciones de diferentes cultivos en el sudeste de Estados Unidos para analizar cuáles son vulnerables a la variabilidad climática relacionada con el ENSO. Phillips *et al.* (1999) relaciona mediante correlaciones al ENSO con el rendimiento del maíz en los Estados Unidos. (Martinez and Jones, 2011) encuentran una relación entre el rendimiento del maíz en el sudeste de Estados Unidos y las anomalías en la SST (*Sea Surface Temperature*) asociando la variabilidad de estos rendimientos a los calentamiento y enfriamientos de las diferentes fases del ENSO.

En el sur de Sudamérica se encuentra el trabajo de Fraise *et al.* (2007) que relaciona las distintas fases del ENSO con las diferentes etapas del cultivo de la soja en Paraguay. Franchito *et al.* (2010) correlacionan la precipitación y el rendimiento en el estado de San Pablo (Brasil) encontrando que un aumento en la duración de la temporada de lluvia durante años Niño se asocia a aumentos en el rendimiento del maíz. Podestá *et al.* (1999) analizan los rendimientos de los algunos cultivos de mayor producción en la Pampa Húmeda con los eventos ENSO, encontrando bajos niveles de rendimiento en el maíz, el sorgo y la soja en los eventos fríos de ENSO.

Por otro lado, la disponibilidad de agua es un factor determinante en el desarrollo de los cultivos. Dado esto el análisis de la relación existente entre precipitación y la circulación atmosférica es de gran interés. En Sudamérica Grimm *et al.* (1998) analizan las anomalías en la precipitación en el sur de Brasil asociadas principalmente a la variabilidad del ENSO, concluyendo que en las primaveras de años Niño se observan anomalías positivas en la precipitación. Similar comportamiento es hallado por Díaz *et al.* (1998) donde analizan la SST en los océano Pacífico y Atlántico y las relacionan con la precipitación en el sur de Brasil y en Uruguay. En el sudeste de Sudamérica existe una banda de convergencia en niveles bajos y divergencia en niveles altos con una intensa convección al norte de esta región llamada zona de convergencia del Atlántico sur (SACZ), la cual está relacionada con la precipitación (Barros *et al.* 2000). Una disminución de valores de precipitación en el sur de Brasil y noreste de Argentina están asociados a un desplazamiento hacia el norte de la SACZ.

Diferentes aspectos de la circulación atmosférica están caracterizados por diversos autores:

Entre los que estudian la circulación atmosférica principalmente en el hemisferio sur encontramos a Mo and Higgins (1998) (en adelante *MH*) quienes analizan las características de dicha circulación y los patrones de convección asociados a los principales modos de baja frecuencia que se desarrollan en el hemisferio sur. Estos modos conocidos como *Pacific-South American* (PSA) están dominados por una onda 3 en latitudes medias con grandes amplitudes en el sector del océano Pacífico, otra característica es la oposición en fase entre las regiones subtropicales y las latitudes medias en el océano Pacífico.

Para el hemisferio norte Barnston and Livezy (1987) (en adelante *BL*) describen los patrones de circulación que dominan dicho hemisferio: NAO (*North Atlantic Oscillation*) y PNA (*Pacific North American*).

5.1. Descripción de la circulación asociada a eventos particulares

Se estudia la circulación asociada a eventos particulares en cada uno de los tres países productores y exportadores (Argentina, Brasil y Estados Unidos). Para la selección de eventos particulares se trabaja con las zonas núcleo de dichos países, las estaciones que las conforman pertenecen a los grupos de clusters realizados en el Capítulo 2.2., y seleccionados por su

homogeneidad y representatividad de los rendimientos mediante los estudios realizados en los capítulos precedentes.

La zona núcleo seleccionada de la Argentina está conformada por las estaciones del grupo “2/3”: Ceres, Córdoba, Paraná, Río Cuarto, Marcos Juárez, Rosario y Junín. (Figura 5.1).

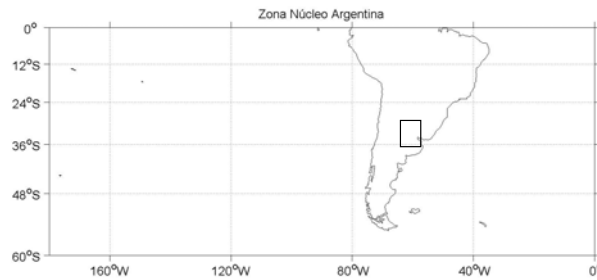


Figura 5.1: Ubicación geográfica de la zona núcleo de Argentina

La zona núcleo de Brasil, es la denominada grupo “1/3”: Iratí, Irai, San Luis Gonzaga y Santa María. (Figura 5.2).

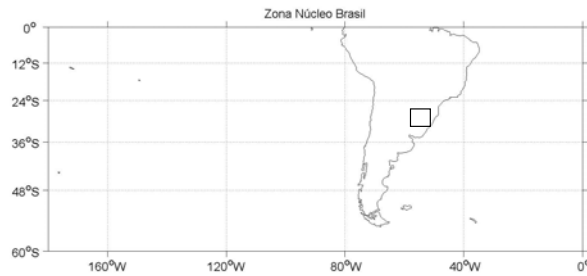


Figura 5.2: Ubicación geográfica de la zona núcleo de Brasil.

La zona núcleo de los Estados Unidos es la del grupo “1/3”: Knoxville, Louisville, St. Louis, Columbia, Peoria, South Bend y Toledo. (Figura 5.3).

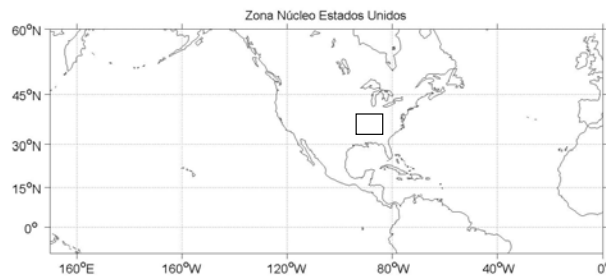


Figura 5.3: Ubicación geográfica de la zona núcleo de Estados Unidos

Con las zonas definidas se procede a la selección de eventos particulares. Se calculan los promedios espaciales de las precipitaciones en las zonas núcleo, con dichos promedios se procede a la elección de los eventos: campañas secas y campañas húmedas, con el criterio de que durante esas campañas la precipitación acumulada sea menor y mayor a la media (+/-) un desvío respectivamente.

Con estos años particulares se realizan composites de diferentes variables para estudiar la circulación asociada a estos eventos.

Los campos analizados son:

- Anomalías de altura geopotencial en 850 y 200 hPa.
- Anomalías de SST (*Sea Surface Temperature*)
- Anomalías de OLR (*Outgoing Longwave Radiation*)

El objetivo de la realización de estos composites es estudiar como la circulación de gran escala afecta a la precipitación en la zona núcleo de la Argentina y analizar si existen similitudes con lo que sucede en Brasil y los Estados Unidos.

Se analizan los composites de los años secos y húmedos, dado que en general los patrones de circulación asociados a eventos de déficit y de excesos en la precipitación muestran un comportamiento opuesto, y para sintetizar la información, se procede a realizar la diferencia entre los composites: “*seco – húmedo*”.

5.1.1. Argentina

Para la Argentina se agrupan como campañas secas y las húmedas, en la Tabla 5.1 se presentan los años y la categoría de rendimiento alcanzado en las mismas. (Bm (Bs): bajo rendimiento en el maíz (soja), Mm (Ms): rendimiento medio en el maíz (soja), Am (As): alto rendimiento en el maíz (soja)).

Seco		Húmedo	
1981-82	Mm-As	1999-00	Mm-Ms
1986-87	Bm-Bs	2000-01	Mm-As
1988-89	Bm-Bs	2002-03	Am-As
1996-97	Bm-Bs	2006-07	Am-As
2007-08	Bm-As		
2008-09	Bm-Bs		

Tabla 5.1: Años de las campañas secas y húmedas para la Argentina, según promedio de estaciones del grupo “2/3”. (Bm (Bs): bajo rendimiento en el maíz (soja), Mm (Ms): rendimiento medio en el maíz (soja), Am (As): alto rendimiento en el maíz (soja)).

El año fue dividido de acuerdo a las diferentes etapas del cultivo de maíz:

- Junio – Julio – Agosto: meses previos a las campañas
- Septiembre – Octubre - Noviembre: siembra
- Diciembre – Enero - Febrero: floración
- Marzo – Abril - Mayo: cosecha

Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa

En los campos de diferencia “*seco-húmedo*” se resaltan las características observadas en los composites de los años secos y lo opuesto sucede en los años húmedos. (Figura 5.1.1 – los gráficos comienzan en el mes de junio, por ser el primero del trimestre que integran los meses previos, en adelante al mencionar un gráfico en particular se nombra solo la letra que lo representa).

Se comienza el análisis para los meses previos a la campaña se puede observar como una secuencia de centros de anomalías positivas y negativas se alternan en el área de estudio. En junio (*a*) la zona núcleo de producción esta dominada por anomalías negativas de altura geopotencial, hacia el sudoeste ingresa al continente un centro de anomalías positivas y en el océano Pacífico un centro de anomalías negativas domina la zona. En el mes de julio (*b*) estos sistemas se desplazan quedando el centro de anomalías negativas posicionado sobre las costas de Brasil, las anomalías positivas dominan toda la parte sur del continente. En agosto (*c*) el tren de ondas se encuentra ubicado mucho más al sur, posicionándose anomalías negativas en el sur del país y positivas en el norte. Siendo este campo similar al modo PSA 2 de *MH*.

En los tres meses de la siembra hay una alternancia de los centros de anomalías sobre la zona núcleo de producción, en septiembre (*d*) las anomalías son positivas, en octubre (*e*) negativas y en noviembre (*f*) nuevamente positivas. El patrón de tren de ondas es más claro

durante el mes de octubre en donde los centros positivos y negativos están mejor definidos, quedando definido un patrón similar al modo PSA 2 de *MH*.

Los tres meses de floración se caracterizan por el poco desplazamiento que presentan los centros. La ubicación sobre el sur del continente de un centro de anomalías positivas provoca un corrimiento hacia el sur en la trayectoria de los sistemas. Episodios de secuencias secas prolongadas están caracterizados por la presencia de sistemas anticiclónicos, cuñas y bloqueos (Labraga *et al.* 2002, Barrucand *et al.* 2007). La zona núcleo de producción de la Argentina está dominada principalmente por el área de transición entre anomalías positivas de altura geopotencial al sur y anomalías negativas al norte. Se encontraron semejanzas con el modo PSA 1 de *MH* tanto en el mes de enero (*h*) como de febrero (*i*).

En los 2 primeros meses de la cosecha, marzo (*j*) y abril (*k*), el patrón sobre la zona núcleo no presenta grandes variaciones. En el último mes un centro de anomalías positivas domina el centro-norte del país.

En resumen durante la época de la floración y en parte de la cosecha se observa la presencia de un patrón cuasi-estacionario con anomalías negativas de altura geopotencial en 200 hPa sobre el área núcleo definida en la Argentina. Los campos de diferencia resaltan lo que ocurre en los años denominados secos, esto concuerda con la presencia de estas anomalías persistentes negativas indica que no son favorables las condiciones dinámicas para la precipitación.

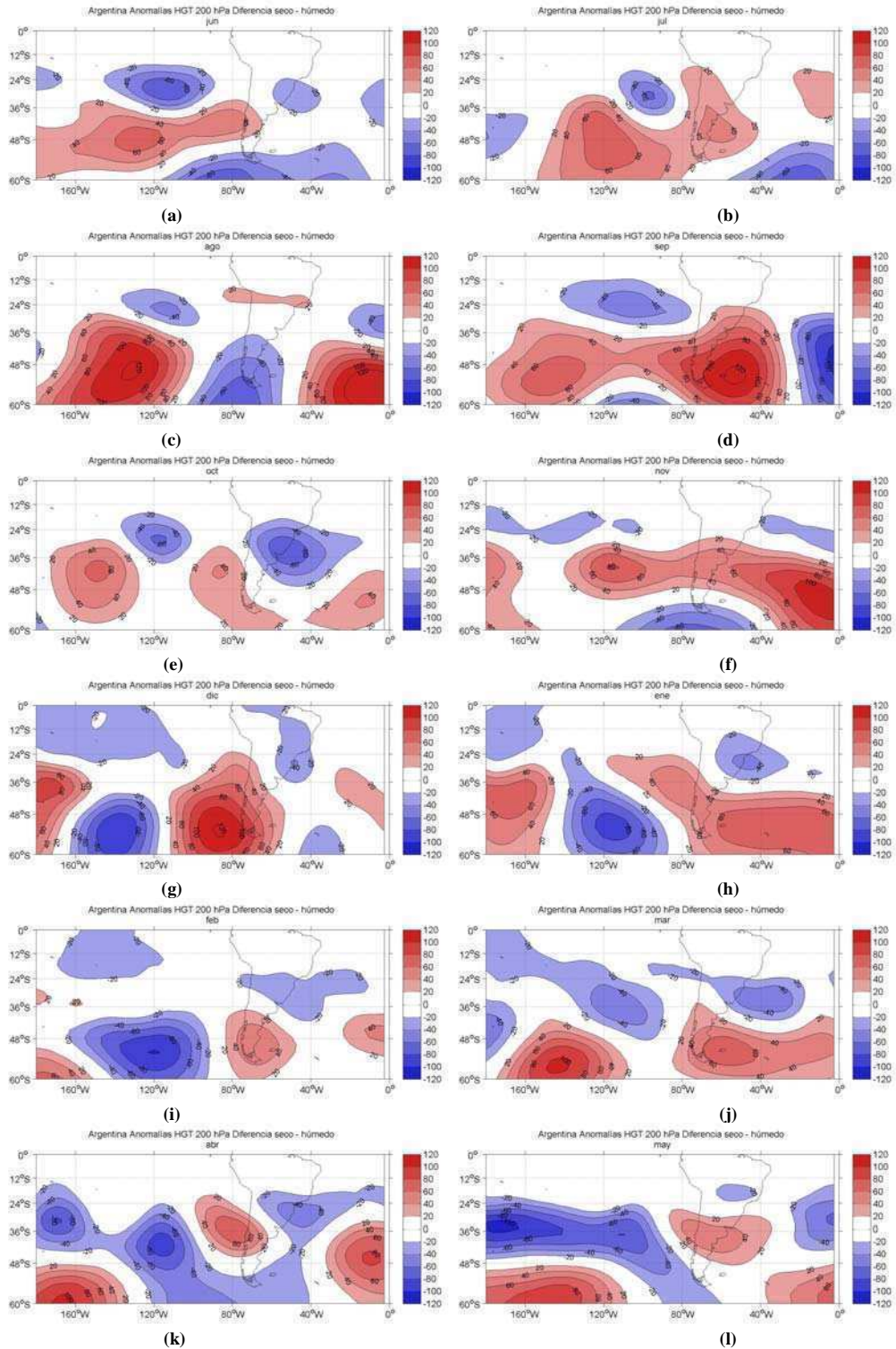


Figura 5.1.1: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “2/3” de Argentina. Unidades de metros geopotenciales.

Anomalías de Altura Geopotencial en 850 hPa

Nuevamente el campo de las diferencias se asocia en signo al campo de los años secos. (Figuras 5.1.2).

En los tres meses previos a la campaña la zona núcleo está dominada por débiles anomalías positivas de altura geopotencial. En el océano Pacífico dominan también las anomalías positivas, mientras que en el Atlántico, se observa un centro negativo durante el mes de junio (*a*) para luego desplazarse y relegarse en el sur del continente.

Durante la siembra la zona núcleo está influenciada por anomalías positivas al comienzo de la misma en el mes de septiembre (*d*), en los dos meses restantes el área productiva esta bajo la presencia de valores normales de las anomalías. Si se analiza el resto del área de estudio se observa un dominio de anomalías positivas en el mes de septiembre, durante octubre (*e*) las anomalías positivas se extienden hacia el sur sobre el océano. En el último mes de la siembra (*f*) en el sur del continente y los océanos se hace presente un centro de anomalías negativas.

En los meses de floración (*g-h-i*) anomalías de valores cercanos a cero o positivos están ubicadas en el área núcleo seleccionada, cuyo centro se halla en el sur del continente, el mismo se desplaza entre las costas del Pacífico y del Atlántico según los meses. Este tipo de centro de anomalías positivas de HGT ubicado en el Pacífico sur podría estar indicando situaciones bloqueantes poco frecuentes para esta época del año que inhiben la trayectoria de los sistemas sinópticos. (Alessandro, 2003).

Al finalizar la campaña (*j-k-l*) en la zona núcleo se continúan encontrando valores de anomalías de normales a positivos. En el sur del país se encuentra un importante centro de anomalías negativas, que se ubica en un principio sobre el océano Pacífico y con el transcurso de los meses domina el sur del continente y el océano Atlántico.

A lo largo de la campaña la zona núcleo está influenciada en su mayoría por anomalías positivas de altura geopotencial en 850 hPa. la presencia de estas anomalías positivas se asocia con la inhibición de la precipitación.

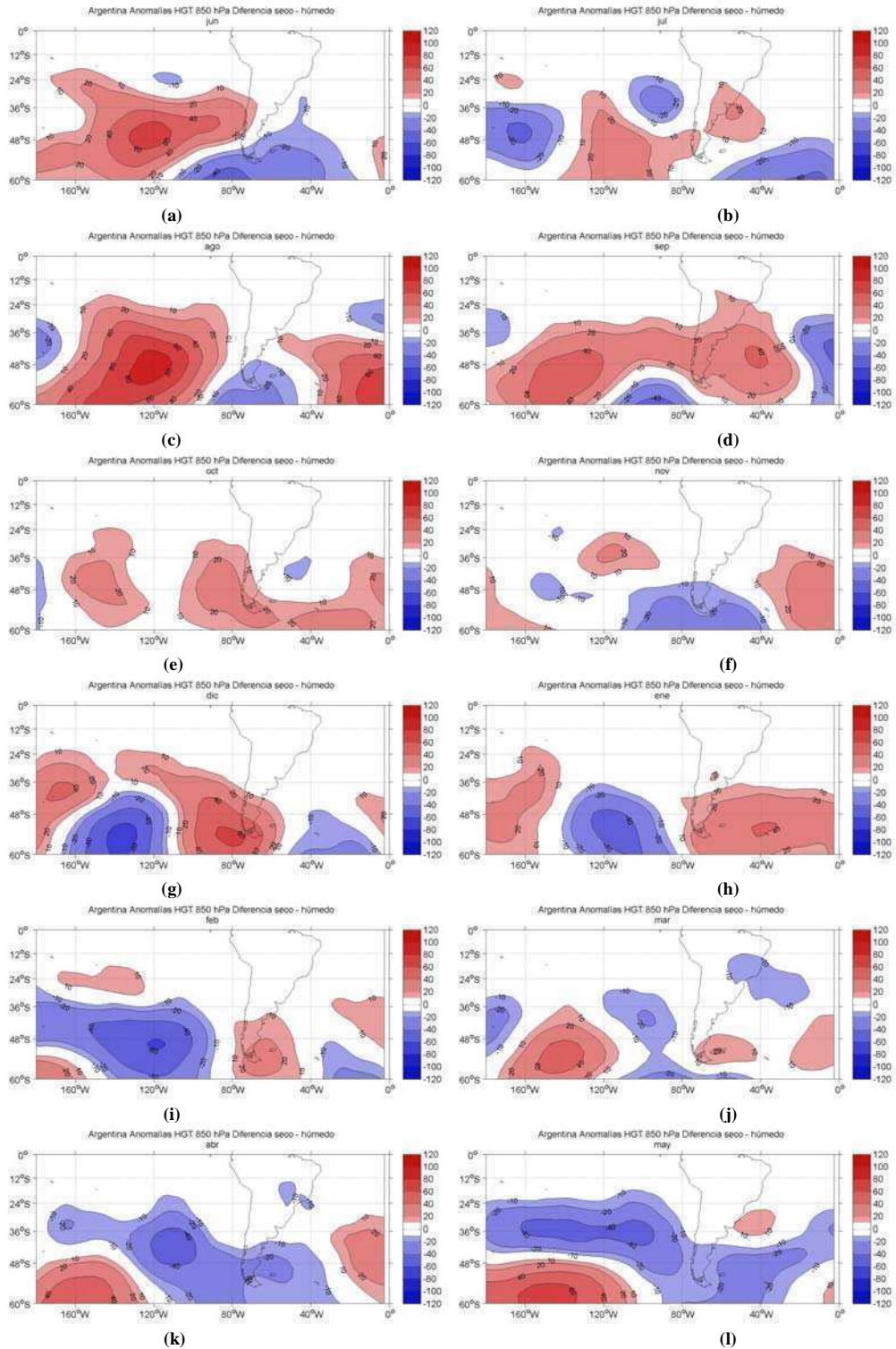


Figura 5.1.2: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 850 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “2/3” de Argentina. Unidades de metros geopotenciales.

Si se analiza mes a mes ambos campos sobre la zona núcleo, a modo de resumen se puede mencionar que domina un centro de anomalías positivas en 850 hPa y que en altura hay una alternancia entre las anomalías positivas y negativas. Esto se puede relacionar con altas presiones en superficie, lo que se puede asociar con movimientos de descenso y de “secamiento” del aire. La subsidencia por si sola no puede explicar la ausencia de la precipitación. Lo más factible es que la falta de precipitación se pueda deber a situaciones bloqueantes, ya que se observan anomalías positivas de HGT en ambos niveles. Estas situaciones perturban la trayectoria de los sistemas sinópticos (frentes y vaguadas) haciendo que no alcancen las latitudes de la zona núcleo.

5.1.2. Brasil

Las campañas seleccionadas en cada categoría se presentan en la Tabla 5.2.

Seco		Húmedo	
1988-89	Mm-As	1982-83	Mm-As
2005-06	Bm-Bs	1986-87	Mm-Ms
2008-09	Bm-Bs	1997-98	Am-As

Tabla 5.2: Años de las campañas secas y húmedas para Brasil, según promedio de estaciones del grupo “1/3”. (Bm (Bs): bajo rendimiento en el maíz (soja), Mm (Ms): rendimiento medio en el maíz (soja), Am (As): alto rendimiento en el maíz (soja)).

En este caso la división de meses también esta de acuerdo con la campaña del maíz, principalmente por ser la de mayor duración y por tener incluida a la campaña de la soja.

Dicha separación es la siguiente:

- Julio-Agosto-Septiembre: meses previos
- Octubre-Noviembre-Diciembre: meses de siembra
- Enero-Febrero-Marzo: meses de floración
- Abril-Mayo-Junio: meses de cosecha

Anomalías de altura geopotencial en 200 hPa

Los campos de las diferencias “seco-húmedo” reflejan las principales características observadas en los campos de los años secos con algunas pequeñas diferencias. (Figuras 5.1.3).

En los meses previos al desarrollo de las campañas, en julio (*a*) la zona núcleo se encuentra en el borde de un centro de anomalías positivas de HGT. El resto del área esta

marcada por la presencia de anomalías positivas, con centros en ambos océanos. En agosto (*b*) la zona núcleo no presenta cambios (nuevamente esta en la zona de transición entre anomalías de ambos signos). Mientras que el centro de anomalías negativas HGT que se encontraba en el centro del continente se extiende y domina todo el extremo sur del mismo. En el mes de septiembre (*c*) el mencionado centro se encuentra posicionado sobre la zona núcleo, quedando los centros de anomalías positivas y negativas formando un collado en el área bajo estudio, este campo es similar al modo PSA 1 de *MH* con un leve corrimiento hacia el sur.

En octubre (*d*), comienza la siembra y sobre la zona núcleo los valores de HGT son normales y sobre los océanos hay marcados centros de anomalías positivas, y en el extremo sur del continente se continúa observando el centro de anomalías negativas. En noviembre (*e*) la alternancia de centros es meridional, con anomalías negativas sobre la zona núcleo y en el sur del continente y sobre el centro de Argentina un elongado centro de anomalías positivas de HGT que se extiende hacia ambos océanos. En diciembre (*f*) la alternancia de centros presenta una posición más zonal, principalmente sobre el océano Pacífico. En resumen, durante los tres meses que componen la siembra sobre la zona núcleo de Brasil se observa la presencia de anomalías negativas de altura geopotencial en 200 hPa.

En los dos primeros meses de la floración (enero (*g*) y febrero (*h*)), sobre el continente el patrón se repite: anomalías negativas en el área núcleo, positivas al sur del continente, seguidas nuevamente por negativas en el océano Pacífico, este campo podría considerarse similar al modo PSA 1 visto por *MH*, pero solo en la sucesión de centros sobre la zona continental. En marzo (*i*) el centro de anomalías negativas del sur del continente se posiciona sobre el mismo confinando a las anomalías positivas de HGT a una delgada franja y centros bien definidos en ambos océanos, y sobre el área núcleo continúan las anomalías negativas.

En el comienzo de la cosecha, durante el mes de abril (*j*) todos los sistemas se ubican desplazados hacia el océano Atlántico comenzando a notarse la influencia de anomalías positivas sobre el área núcleo. En mayo (*k*) el centro del continente y la zona núcleo de Brasil se ven afectadas por las anomalías positivas, que así mismo dominan gran parte del sur de los océanos (modo PSA 2). Finalmente en junio (*l*) los sistemas no son tan intensos el área núcleo se halla bajo la influencia de la zona de transición entre anomalías de uno y otro signo y en el océano Atlántico sur se mantienen las anomalías positivas y en la cuenca del Pacífico sur se observa una sucesión de centros de diferente signo.

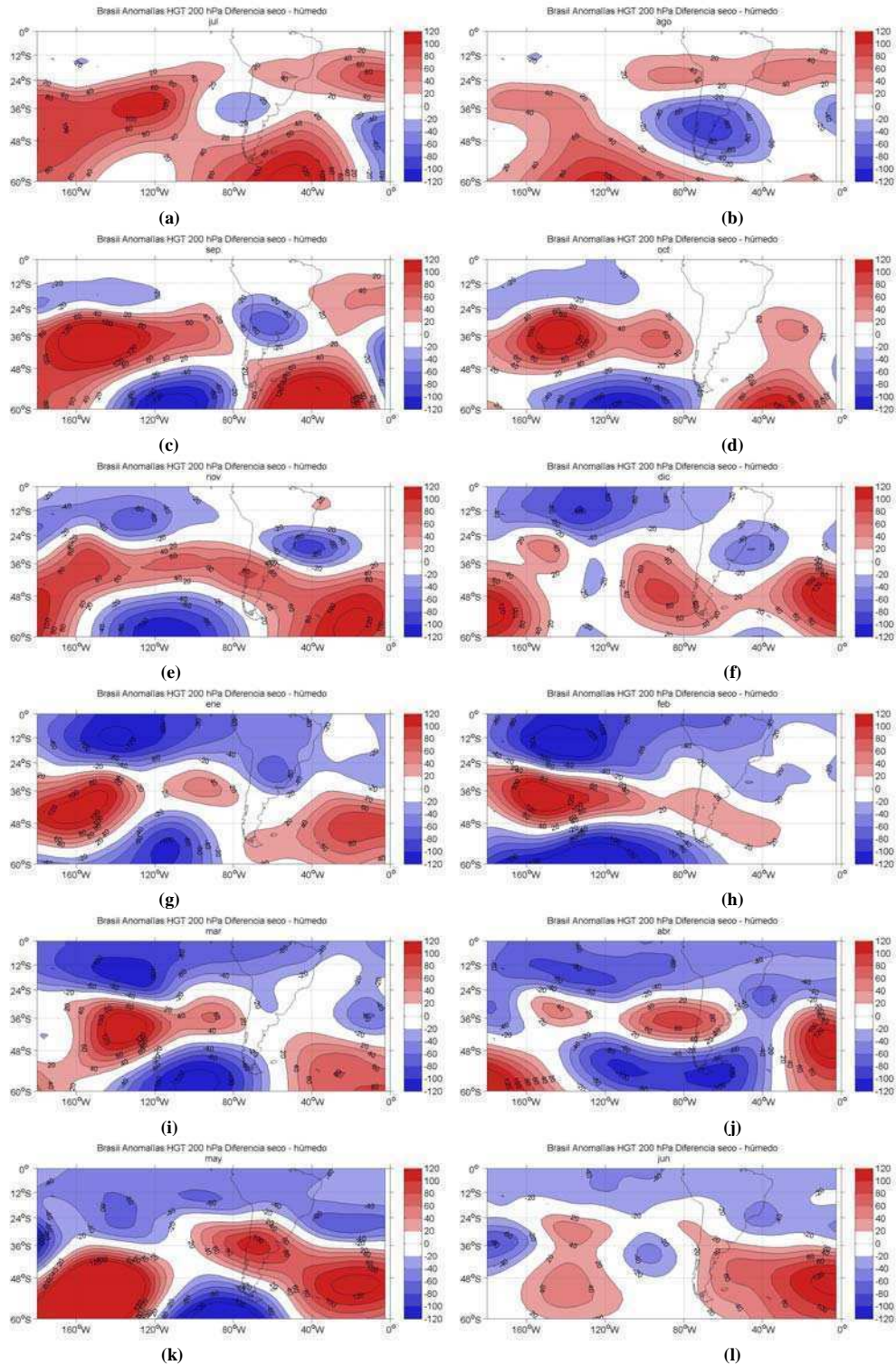


Figura 5.1.3: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Brasil. Unidades de metros geopotenciales.

En resumen a lo largo de la campaña los sistemas son cuasi estacionarios, no se observa una marcada alternancia de centros. En el sur del continente prepondera la presencia de anomalías positivas y el área núcleo está dominada principalmente por anomalías negativas de altura geopotencial en 200 hPa.

Anomalías de altura geopotencial en 850 hPa

Al analizar los campos de diferencias seco-húmedo de las Figuras 5.1.4, en el primer mes bajo estudio, julio (*a*), se observa la presencia de un sistema de anomalías positivas de HGT dominando la zona de estudio y más específicamente en el área núcleo los valores son de positivos a cero, y en el Pacífico sur se halla un centro de anomalías negativas. Durante agosto (*b*) el patrón cambia haciendo que sobre toda la zona continental se presenten anomalías negativas cuyo centro se ubica en la costa sur de Chile y en los océanos se ubican centros de anomalías positivas.

En septiembre (*c*) el patrón observado es similar al descrito para julio, con un claro dominio de anomalías positivas en una franja en el centro del continente, quedando el sur del mismo y el océano Pacífico adyacente bajo influencia de un centro de anomalías negativas.

En octubre (*d*), considerado el primer mes de la siembra, se continúa observando a gran escala el mismo campo de anomalías. Noviembre (*e*), muestra una franja de anomalías positivas que cruza el continente, afectando el área núcleo, y un centro negativo en el océano Pacífico sur. En diciembre (*f*) la banda de anomalías positivas continúa posicionada en el centro del continente, pero en este caso se extiende hacia el sur confinando a las anomalías negativas más al sur, en ambos océanos. A lo largo de la siembra, la zona núcleo de Brasil se encuentra bajo anomalías positivas de HGT.

En el comienzo de la floración (enero (*g*)) no se encuentran diferencias a lo visto en los meses anteriores. Mientras que en febrero (*h*) el patrón cambia quedando el continente dominado por anomalías negativas de altura geopotencial en 850 hPa. El puente de anomalías positivas de HGT que se observa entre los océanos Pacífico y Atlántico durante los meses previos no se observa durante febrero. Durante marzo (*i*) (último mes de la floración) no se encuentran grandes diferencias con lo visto en los dos meses previos. Los tres meses de la floración pueden caracterizarse con un campo cuasi-estacionario, ya que las anomalías negativas ubicadas en el sur del continente presentan un casi nulo desplazamiento.

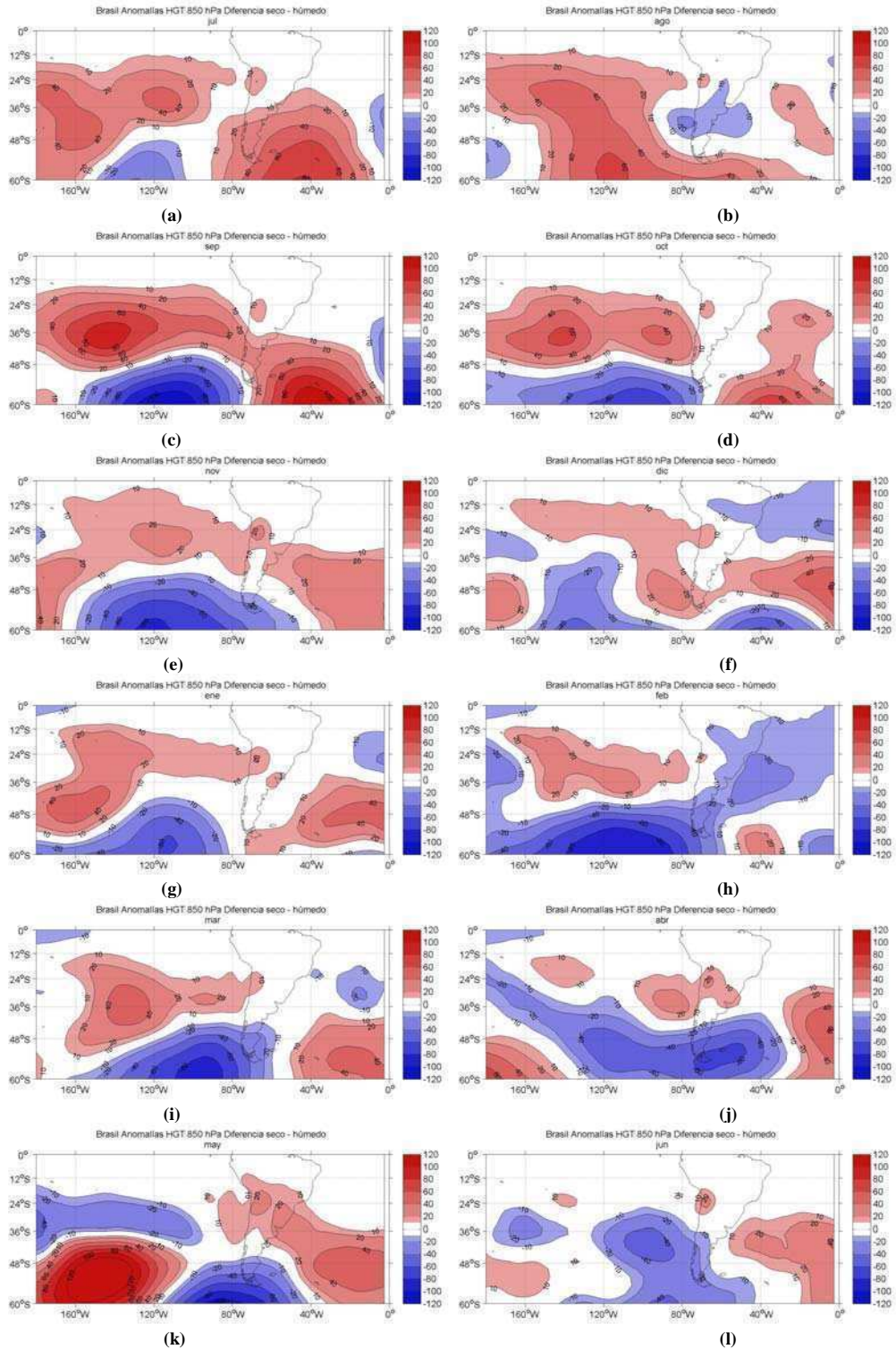


Figura 5.1.4: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 850 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Brasil. Unidades de metros geopotenciales.

En abril (*j*) se retoma el patrón de las anomalías positivas sobre el centro del continente, subsistiendo las negativas en la zona sur y en ambos océanos. En el mes de mayo (*k*) el patrón presenta un collado con anomalías positivas en la zona núcleo y en un importante centro en el Pacífico sur y negativas en el sur del continente y en el Pacífico central. En la finalización de la campaña, durante el mes de junio (*l*), los centros no exhiben un marcado desplazamiento, pero pierden intensidad.

Durante los primeros meses de la campaña y en la cosecha se observa un patrón cuasi-estacionario con un dominio de anomalías positivas en el centro del continente.

Si se analizan en conjunto los niveles de 200 y 850 hPa., se halla lo siguiente a los meses de la siembra y comienzo de la floración (octubre-noviembre-diciembre-enero) se los puede englobar en un patrón marcado por la presencia de altas presiones en los niveles bajos, y en niveles superiores las presiones presentan tanto anomalías de signo positivo o negativo, lo que estaría indicando la existencia de movimientos de descenso y esto está asociado a un secamiento del aire.

De manera similar a lo visto en Argentina la presencia de anomalías positivas en los niveles bajos de la atmósfera (en esta oportunidad sobre el océano Atlántico) puede asociarse con una situación bloqueante que no permite el pasaje de sistemas sinópticos. (Alessandro, 2003).

5.1.3. Estados Unidos

Las campañas de cada categoría se muestran en la Tabla 5.3.

Seco		Húmedo	
1980	Bm-Ms	1981	Am-Ms
1987	Am-Ms	1990	Mm-Ms
1988	Bm-Ms	1993	Am-Bs
1999	Mm-Ms	2008	Am-Bs
2005	Mm-Ms		

Tabla 5.3: Años de las campañas secas y húmedas para Estados Unidos, según promedio de estaciones del grupo "1/3". (Bm (Bs): bajo rendimiento en el maíz (soja), Mm (Ms): rendimiento medio en el maíz (soja), Am (As): alto rendimiento en el maíz (soja)).

Los meses que integran cada etapa de las etapas de la campaña del maíz, en esta oportunidad están separados en:

- Enero-Febrero-Marzo: meses previos
- Abril-Mayo-Junio: siembra
- Julio-Agosto-Septiembre: floración
- Octubre-Noviembre-Diciembre: cosecha

Anomalías de altura geopotencial en 200 hPa

En el análisis de las Figuras 5.1.5, para los meses previos al inicio de la campaña se observa que en enero (*a*) el área de estudio se encuentra dividida en bandas, la parte sur esta dominada por anomalías positivas de altura geopotencial, en el centro se ubican anomalías negativas (incluida la zona núcleo) y más al norte se encuentran dos importantes centros de anomalías positivas de HGT en sendos océanos y sobre el continente un marcado centro de anomalías negativas. En febrero (*b*) el patrón cambia al intensificarse los centros negativos que se posicionan en el este del continente y en el océano Pacífico. Durante marzo (*c*) en la parte central se observa la presencia de centros de anomalías negativas de HGT 200 confinando la presencia de anomalías positivas a regiones cercanas al Ecuador y los 50° N.

Durante el mes de comienzo de la siembra (abril (*d*)) se observa la formación de un tren de ondas que proviene desde el océano Pacífico. El centro de anomalías positivas se ubica al norte del continente, y sobre el área núcleo se continúa observando un centro negativo. En el mes de mayo (*e*) en altas latitudes se observa una alternancia de centros positivos y negativos, esta distribución de los centros de anomalías de altura geopotencial en niveles altos de la atmósfera es un típico patrón de los eventos secos de verano (Trenberth *et al.* 1988). Sobre la zona núcleo hay posicionado un centro de anomalías negativas de HGT y en su extremo norte se ubica un gradiente de anomalías llegando hasta valores positivos de las mismas. En el mes de junio (*f*) no se observa un patrón similar al del mes anterior, debido a que el centro positivo ubicado sobre el continente se une con el que se encuentra sobre el océano, relegando a las anomalías negativas a más bajas latitudes.

En resumen se puede mencionar que durante la siembra para campañas particularmente secas (húmedas) el campo de anomalías de altura geopotencial en 200 hPa es

cuasi-estacionario, principalmente por el escaso corrimiento del centro de anomalías positivas que se halla la norte del continente, cuya presencia se asociada por varios autores, entre ellos Liu *et al.* (1998) con el corrimiento hacia al norte de la corriente en chorro y de la trayectoria de las tormentas, alejándolas de esta forma de la zona núcleo de producción.

En el comienzo de la floración durante julio (*g*) el patrón cambia, se suaviza, no hay centros muy marcados, hay una clara preponderancia de las anomalías de valores cercanos a cero a positivos que incluyen el área núcleo, ubicándose centros de signo negativo en altas latitudes y en la zona oeste del continente. En agosto (*h*) el patrón visto durante estos meses cambia radicalmente, ya que en la zona núcleo se ubica un importante centro de anomalías positivas, las anomalías negativas quedan relegadas a latitudes mayores. Durante septiembre (*i*) se repite la ubicación de las anomalías positivas en la zona núcleo, al mirar en general toda el área de estudio se ve la alternancia zonal de centros positivos y negativos en altas latitudes.

Al comenzar la etapa de la cosecha, en octubre (*j*) se establece un claro tren de ondas desde el océano Pacífico quedando posicionado en esta oportunidad un centro de anomalías negativas sobre el área núcleo. En noviembre (*k*) la alternancia de centros de anomalías de ambos signos se ubica en latitudes más bajas y en la zona núcleo están presentes anomalías positivas de altura geopotencial. Por último en diciembre (*l*) en altas latitudes se encuentran profundos centros cerrados de anomalías que alternan en signo, sobre la zona núcleo se ubica un elongado centro de anomalías de HGT de signo negativo.

A lo largo de la campaña se observa la presencia de un tren de ondas que en algunos meses permanece cuasi estacionario.

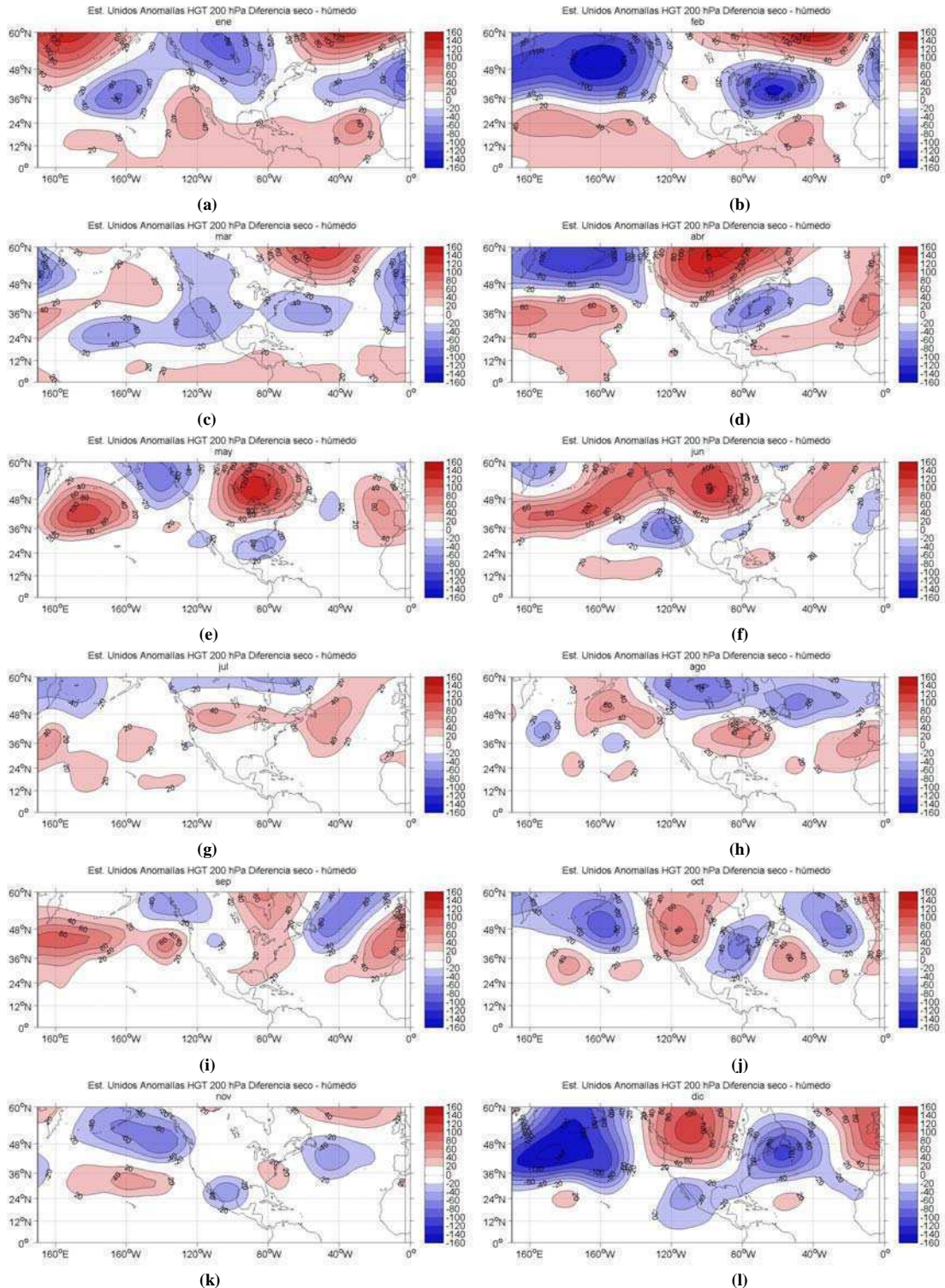


Figura 5.1.5: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo "1/3" de Estados Unidos. Unidades de metros geopotenciales.

Anomalías de altura geopotencial en 850 hPa

En el análisis de las Figuras 5.1.6, el mes de enero (*a*) se caracteriza por presentar centros de anomalías negativas en las latitudes medias del área de estudio, y en los 60° de latitud norte centros de anomalías positivas de HGT. Si se analiza lo que ocurre en el océano Pacífico la sucesión de centros negativos y positivos se asemeja al campo de PNA hallado por *BL* y el dipolo sobre la costa este del continente representa al campo de NAO.

Durante febrero (*b*) son las anomalías negativas las que dominan el área de estudio, ubicándose principalmente sobre el océano Pacífico y en la costa este de los Estados Unidos, influyendo en parte a la zona núcleo. La sucesión de centros es similar al encontrado por *BL*. En marzo (*c*) sobre el área núcleo se observan anomalías negativas, al igual que mayor parte del territorio quedando las anomalías de HGT de signo positivo relegadas al extremo noreste del continente.

Durante la siembra, en el mes de abril (*d*), el patrón es similar al del mes de febrero. El dipolo sobre la costa es similar al hallado por *BL* para dicho mes y el tren de ondas que proviene del Pacífico corresponde al patrón PNA. En mayo (*e*) la franja situada entre los 24 y 48° de latitud, incluida la zona núcleo de producción, se ve influenciada por la presencia de anomalías positivas de HGT. En junio (*f*) se observa la presencia de centros de menor extensión de anomalías que se asemejan a un débil tren de ondas.

Durante la floración, en el mes de julio (*g*) los valores de las anomalías son cercanos a cero, en el norte del océano Pacífico se ve la sucesión de centros de anomalías de ambos signos que conforman un tren de ondas. Se observa la presencia del dipolo que conforma el patrón de la NAO. En el mes de agosto (*h*) las bajas latitudes presentan valores normales de altura geopotencial en 850 hPa, solo se observa la presencia de un centro de signo positivo en la costa noroeste del continente y un centro negativo en el este del continente extendiéndose hacia el océano Atlántico. En septiembre (*i*) se observa una alternancia de centros en la zona norte del área de estudio, quedando ubicadas anomalías positivas en el océano Pacífico, negativas sobre la mayor parte del continente y en el océano Atlántico, conformando de esta forma un débil campo de PNA. Mientras que sobre la costa atlántica se observa la presencia del patrón NAO.

En la cosecha, durante el mes de octubre (*j*) se ve un corrimiento de los centros que conforman el tren de ondas con orientación claramente zonal, quedando la parte oeste del

continente bajo influencia de anomalías positivas de altura geopotencial, pero sobre la zona núcleo se halla un centro de signo negativo. Este campo está representando el típico patrón PNA. En noviembre (*k*) se desarma el tren de ondas, en ambos océanos se observan anomalías negativas de HGT, sobre el continente hay pequeños centros de ambos signos, de tal forma que la zona núcleo se encuentra en la transición entre centros. Por último en diciembre (*l*) todo el continente se halla bajo la acción de anomalías positivas y dos grandes centros de signo contrario se ubican en ambos océanos. Este tren de ondas que estos centros conforman se asocia al patrón PNA.

La campaña exhibe un claro patrón de PNA, este tren de ondas permanece casi estacionario en la mayoría de los meses, las únicas variaciones que se observan son los fortalecimientos y debilitamientos de los centros de anomalías de altura geopotencial en 850 hPa.

Al analizar en conjunto las anomalías en ambos niveles, durante los tres meses previos es claro que la zona núcleo está dominada por anomalías negativas de altura geopotencial en los dos niveles estudiados, esto estaría asociado a movimientos de ascenso que favorecen la precipitación. En los tres meses de la siembra esta situación continuaría. Y es en la floración donde en los dos primeros meses se presentan anomalías positivas en el nivel bajo, lo que se asocia a movimientos de descenso y por ende a un secamiento del aire. Finalmente en la cosecha la sucesión de campos no está bien definida.

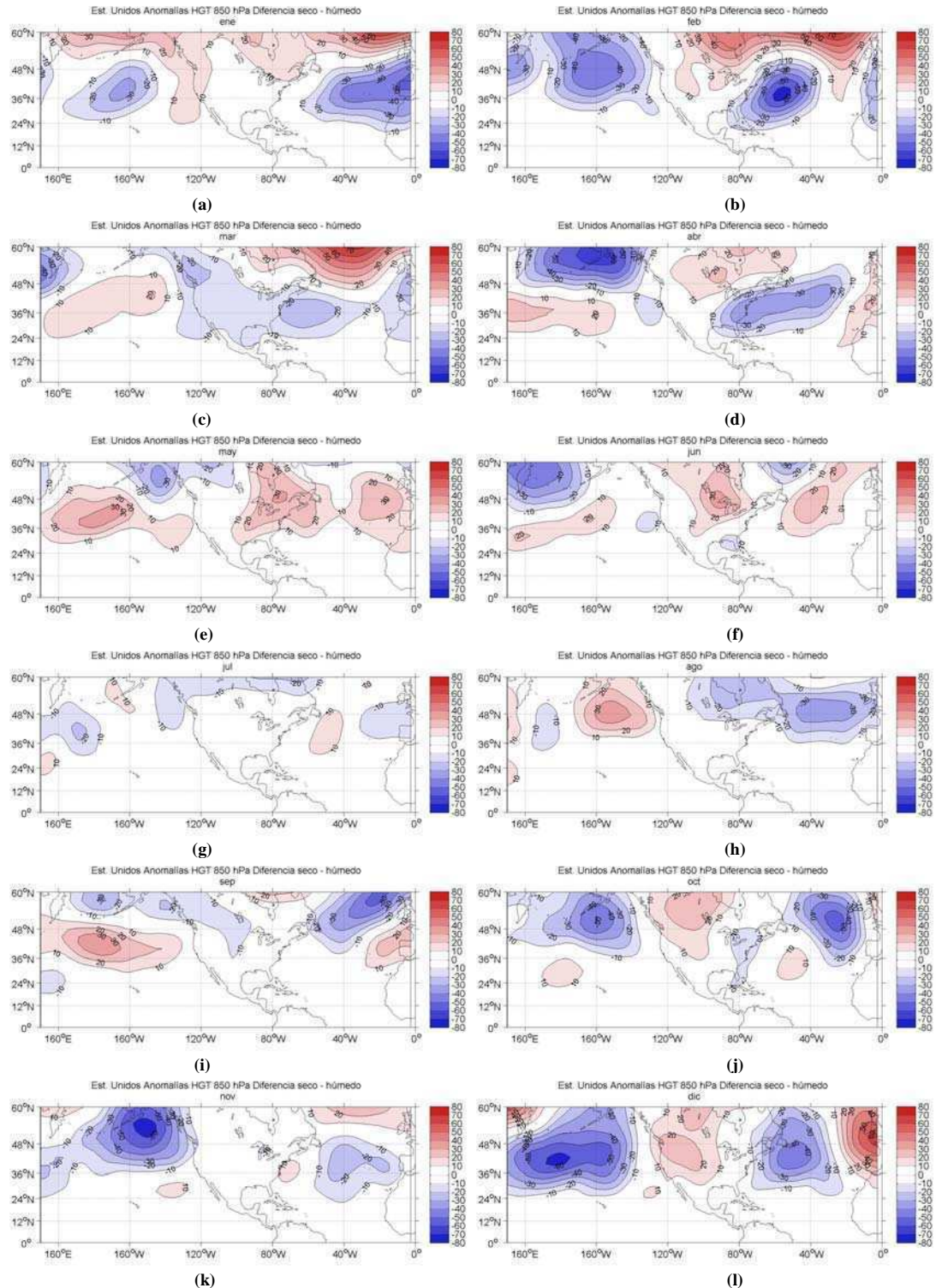


Figura 5.1.6: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 850 hPa de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo "1/3" de Estados Unidos. Unidades de metros geopotenciales.

5.1.4. Anomalías de la Temperatura de la Superficie del Mar (SST)

Diferentes estudios muestran que la precipitación en el sudeste de Sudamérica está fuertemente ligada a la temperatura de la superficie del mar (SST) en el océano Pacífico ecuatorial. Eventos cálidos de SST en el Pacífico ecuatorial están relacionados con precipitaciones por encima del valor medio en este sector de Sudamérica (Lau and Sheu, 1988).

En relación a lo que ocurre en el océano Atlántico, Díaz *et al.* (1998) analizan la precipitación en Uruguay y los estados del sur de Brasil, encontrando que para los meses comprendidos entre noviembre y febrero se incrementa la precipitación cuando la SST es más cálida que lo normal en región de la SACZ. En la costa del océano Atlántico se unen las corrientes cálida de Brasil y fría de Malvinas y esta zona de convergencia puede tener un “feedback” con la extensión de la SACZ. Pero a pesar de la cercanía del océano Atlántico a las zonas de producción de Argentina y Brasil existe una poco clara relación que se puede deber principalmente a la escasa variabilidad del Atlántico tropical. (Zebiak, 1993).

Argentina

En los campos de las Figuras 5.1.7, en el mes de junio (*a*) se observan anomalías positivas de SST en la costa chilena, con un máximo a la altura de los 35° S de latitud. Este centro positivo se extiende hacia el centro norte del océano Pacífico, pero en la zona ecuatorial es clara la presencia de anomalías negativas. En el océano Atlántico se encuentran pequeños centros de anomalías. En julio (*b*) el patrón sobre ambos océanos continúa siendo el mismo. En el mes de agosto (*c*) no se encuentran diferencias, por lo tanto durante los tres meses previos al inicio de la campaña el océano Pacífico ecuatorial exhibe un enfriamiento que concuerda con una ausencia de precipitación en la zona núcleo en relación a lo visto por diferentes autores debido al feedback existente entre la SST en el Pacífico ecuatorial y la precipitación en el sudeste de Sudamérica. (Barros and Silvestri, 2002).

En septiembre (*d*) en el océano Pacífico no se hallan grandes diferencias. En el océano Atlántico se extienden las temperaturas frías en la costa de Brasil (aproximadamente en 24° S). En octubre (*e*) las temperaturas en el océano Pacífico no presenta cambios, mientras que en el Atlántico se extiende a lo largo de la costa de Argentina y Uruguay un pequeño centro de

anomalías positivas. En noviembre (*f*) esta situación continúa, las anomalías positivas se extienden sobre el océano Atlántico. A lo largo de la siembra el enfriamiento del Pacífico ecuatorial continúa observándose, este patrón de enfriamiento se asocia a los eventos de La Niña que se caracterizan por un déficit en las precipitaciones en el área núcleo de producción.

En diciembre (*g*) el patrón no presenta grandes cambios, persisten temperaturas frías en el océano Pacífico ecuatorial y en el Atlántico las anomalías positivas continúan pero en un centro alejado de la costa. La diferencia que muestra el campo de anomalías de SST en el mes de enero (*h*) es un predominio de anomalías positivas que bordea al continente abarcando ambos océanos desde el norte del Perú hasta el sur de la provincia de Buenos Aires. En febrero (*i*) las anomalías positivas se desplazan un poco más al sur en la costa de Argentina. Encontrándose un centro intenso de anomalías negativas pegado a la costa sur de Brasil, en lo que se refiere al enfriamiento observado en el Pacífico ecuatorial durante la floración el mismo comenzó a debilitarse.

Durante los meses de la cosecha, comenzando por marzo (*j*) se observa que en el Pacífico ecuatorial las temperaturas alcanzan valores normales y en la costa oeste del continente continúan las anomalías positivas. En abril (*k*) se intensifica el patrón de las anomalías positivas principalmente en las zonas cercanas a la costa de ambos océanos en 40° S. Y en el mes de mayo (*l*) este patrón vuelve a repetirse. Observándose sobre el océano Pacífico ecuatorial una intensificación de las anomalías positivas de SST que comenzaron a insinuarse en el mes anterior.

Durante los meses previos a la campaña y hasta comenzada la etapa de floración el océano Pacífico ecuatorial exhibe un enfriamiento progresivo, esta situación en las anomalías de SST está indicando la presencia de un evento Niña, lo que se puede asociar con la ausencia de precipitación en la zona de producción. Pero es en la cosecha donde el patrón cambia mostrando un calentamiento en el mes de mayo.

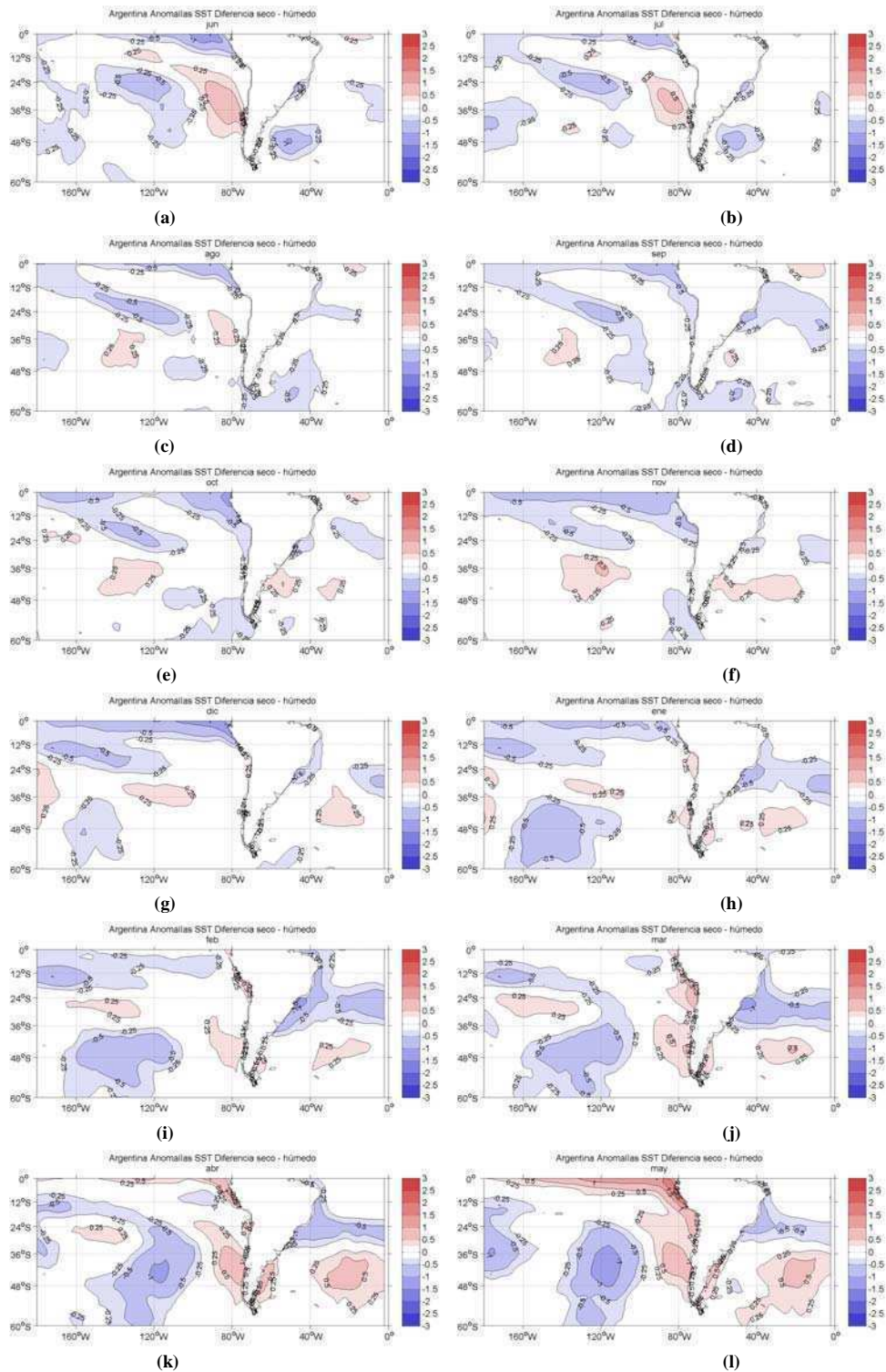


Figura 5.1.7: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de SST de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “2/3” de Argentina. Unidades de °C.

Brasil

En las Figuras 5.1.8 en el mes de julio (*a*) a lo largo de toda la costa de Brasil se encuentran anomalías positivas de SST. En el océano Pacífico ecuatorial se presenta una importante franja de anomalías negativas de SST, mientras que anomalías positivas se extienden desde un centro en 30° S y 170° O hasta la costa de Chile. En agosto (*b*) no hay grandes diferencias en lo visto para julio, salvo pequeñas modificaciones en la extensión de los centros. En septiembre (*c*) la ubicación de las anomalías de SST es la misma a la vista con anterioridad, salvo por la intensificación que las mismas presentan principalmente en el océano Pacífico. Los meses previos exhiben un importante enfriamiento de la temperatura de la superficie del mar en el océano Pacífico ecuatorial, como ya fue mencionado en el análisis de los campos de SST para Argentina, los enfriamientos en el Pacífico ecuatorial se asocian a eventos Niña y por ende a déficit en las precipitaciones en el sudeste de Sudamérica.

En la siembra se observa que durante el mes de octubre (*d*) la situación en el océano Atlántico continúa, mientras que en el Pacífico llegan hasta la costa de Chile las anomalías negativas de SST. En noviembre (*e*) las diferencias con el mes de octubre se encuentran en el océano Pacífico, donde las anomalías positivas vuelven a posicionarse en la costa chilena con mayor intensidad en los valores. Las anomalías negativas presentan un fuerte gradiente en la zona ecuatorial. Y en el campo de diciembre (*f*) sobre el océano Pacífico la distribución de las anomalías continúa siendo la misma. En el océano Atlántico la presencia dominante de anomalías positivas en la costa se ve interrumpida entre 15° y 25° S por un elongado centro negativo.

A lo largo de la floración se observa que en enero (*g*) el campo de anomalías visto en diciembre persiste con pequeñas diferencias en la extensión de los centros. Y durante febrero (*h*) y marzo (*i*) la situación no presenta grandes diferencias con el campo del mes de enero.

En los últimos meses de la campaña comenzando por abril (*j*) las anomalías negativas en la zona del Pacífico ecuatorial continúan con la misma intensidad y extensión. Sobre el océano Atlántico no se advierten cambios. Mayo (*k*) y junio (*l*) son muy similares entre sí. Las anomalías positivas presentes en el océano Atlántico se concentran en la costa sur de Brasil aumentando su intensidad. En el océano Pacífico las anomalías negativas pierden intensidad sobre el Ecuador durante la cosecha, quedando los máximos en las cercanías de la costa americana.

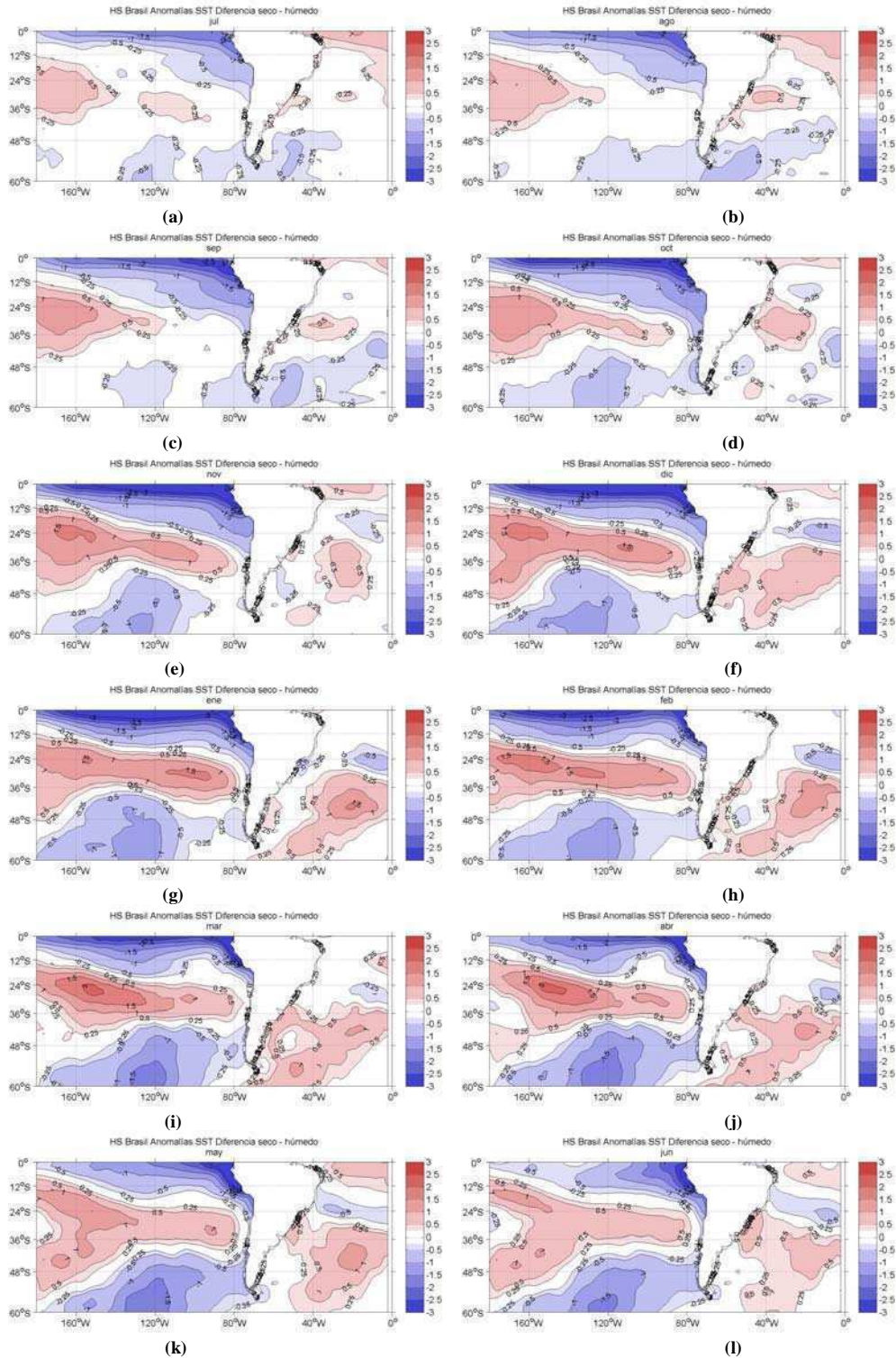


Figura 5.1.8: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de SST de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Brasil. Unidades de $^{\circ}\text{C}$.

En los campos de diferencias “seco – húmedo” para Brasil, en todos los meses se encuentra que el enfriamiento en el océano Pacífico ecuatorial (en asociación a eventos de La Niña) que en comparación a lo visto para la Argentina presenta una mayor intensidad.

Estados Unidos

En el análisis de las Figuras 5.1.9 en enero (*a*) en el océano Pacífico se observan anomalías positivas de SST en la zona ecuatorial y dominando la costa americana, salvo en una pequeña porción en donde las anomalías negativas se acercan a la costa californiana. Las anomalías positivas de SST dominan el océano Atlántico. Durante el mes de febrero (*b*) el océano Pacífico se comporta de igual forma que en enero. En marzo (*c*) sobre el océano Atlántico no se encuentran diferencias con el mes de febrero. En el océano Pacífico las anomalías positivas de SST pierden extensión.

En el comienzo de la campaña en el mes de abril (*d*) en el océano Pacífico hay una clara posesión de anomalías negativas, haciendo que las positivas se retrotraigan a una delgada banda sobre la costa del norte de Estados Unidos y Canadá. En mayo (*e*) en el océano Pacífico ecuatorial las anomalías negativas presentan mayor extensión. En junio (*f*) en el océano Pacífico ecuatorial comienza a observarse un claro dominio de las anomalías negativas de SST, en el océano Atlántico en la región cercana a la costa de los Estados Unidos también se hacen presentes anomalías de este signo, dejando a las positivas relegadas en la zona del Caribe.

Durante la floración, comenzando por el mes de julio (*g*) se ve que en el Atlántico vuelven a posicionarse las anomalías positivas en la zona adyacente a la costa. En el Pacífico pequeños centros de anomalías negativas se encuentran sobre la costa y en la zona ecuatorial. En agosto (*h*) el patrón es similar al encontrado en julio. En septiembre (*i*) sobre el océano Pacífico no se presentan grandes variaciones y en el Atlántico los centros de anomalías presentan menores extensiones.

A lo largo de la cosecha, en octubre (*j*) la diferencia con respecto al mes de septiembre es la expansión de las anomalías negativas en el océano Pacífico ecuatorial. Noviembre (*k*) presenta un comportamiento muy similar. Finalmente en diciembre (*l*) sobre el Atlántico no se observan diferencias y sobre el Pacífico las anomalías negativas se ubican desde el Ecuador hacia la costa de California.

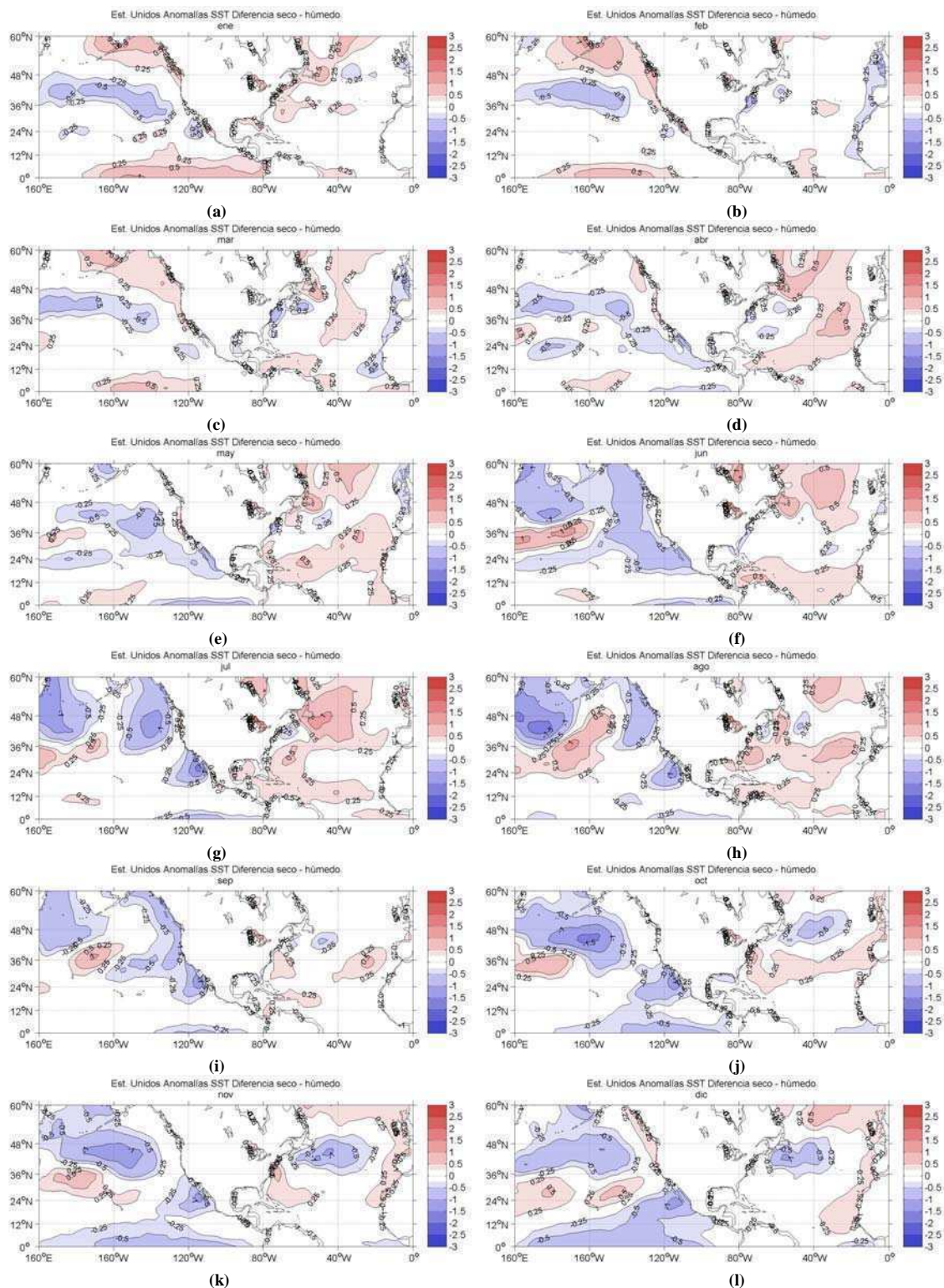


Figura 5.1.9: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de SST de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Estados Unidos. Unidades de °C.

A lo largo de la campaña la situación en el Pacífico ecuatorial fue variando, los meses previos presentan anomalías positivas y en la siembra comienzan a insinuarse anomalías negativas que se hicieron más intensas durante la floración. Al igual que lo visto en las otras dos regiones de análisis estas anomalías negativas en la SST del Pacífico ecuatorial se relacionan con eventos de déficit de precipitación en el sudeste de Estados Unidos.

5.1.5. Anomalías de OLR (Outgoing Longwave Radiation)

En el verano la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ, según su nombre en inglés) es la característica dominante de la nubosidad en la zona subtropical de América del Sur y del océano Atlántico sur (Liebmann *et al.* 1999). En los campos de OLR (Outgoing Longwave Radiation), se la puede reconocer como una banda nubosa que emerge de una intensa convección desde el Amazonas hacia el sudeste de Sudamérica, llegando al océano Atlántico sur.

Una débil SACZ está caracterizada por anomalías positivas de OLR acompañadas por aumentos en las precipitaciones en el norte de Argentina y sur de Brasil.

La asociación entre anomalías negativas de OLR y un incremento en la precipitación debe tomarse con precaución principalmente durante el invierno ya que la presencia de cirrus u otra nubosidad no precipitante puede ocasionar anomalías negativas de OLR. (Nogués-Paegle and Mo, 1997).

En el análisis de las anomalías de OLR se puede observar la ubicación de la zona asociada a la convección, es decir las anomalías negativas.

Argentina

Los campos de anomalías de OLR están representados en las Figuras 5.1.10, en el mes de junio (*a*) la zona núcleo de producción en la Argentina presenta valores normales de OLR, y la banda de convección asociada a la SACZ se halla ubicada más al norte del país. Durante julio (*b*) desde la zona núcleo hasta el sur del continente se observa la presencia de anomalías positivas de OLR. En agosto (*c*) no se observan valores anómalos de OLR. En resumen, los

meses previos a la campaña presentan anomalías positivas que caracterizan una menor presencia de nubosidad durante los eventos secos.

En el comienzo de la campaña, durante septiembre (*d*) el campo de anomalías presenta signo positivo en la mayoría del continente, mostrando un patrón similar a una SCAZ débil según la clasificación de Carvalho *et al.* (2004). En octubre (*e*) dominan las anomalías positivas, en concordancia a lo visto para las anomalías de HGT en 850 hPa en donde es claro el dominio de sistemas de altas presión que se los puede asociar con movimientos de descenso y por ende a cielos despejados. Un patrón muy similar se observa en noviembre (*f*), con la zona de anomalías negativas relegada al norte del continente. En lo que respecta a las anomalías en el océano Pacífico ecuatorial se observa un incipiente centro positivo en la línea de cambio de día, lo que estaría indicando que la convección esta restringida a la zona más oeste de la cuenca.

Durante la floración, en diciembre (*g*) la Argentina continúa bajo el dominio de anomalías positivas de OLR, observándose una banda asociada a la convección (SACZ) en la zona centro - sur de Brasil. En enero (*h*) se repite lo visto en noviembre, en donde la zona de anomalías negativas se ubica al norte del continente y sobre la costa de Brasil. La zona núcleo de producción de la Argentina continúa dominada por las anomalías positivas de OLR. Durante febrero (*i*) la zona núcleo presenta anomalías positivas, la zona asociada a la convección la podemos ubicar sobre la costa central de Brasil. Durante la floración lo que sucede sobre el océano Pacífico tiene una débil semejanza con los campos de los eventos de La Niña, en los cuales la actividad convectiva queda posicionada al oeste de la cuenca.

En los meses de la cosecha la SACZ se encuentra en el centro-norte del continente. En marzo (*j*) la Argentina se ve bajo influencia de anomalías positivas de OLR. En abril (*k*) el patrón observado sobre la Argentina cambia, ya que las anomalías positivas se ubican en forma de una franja en el centro-norte del país, quedando las anomalías de signo negativo relegadas al sur del país. En el mes de mayo (*l*) se presenta el mismo patrón visto en abril.

En los campos de diferencias “seco-húmedo” en donde se remarcan las características que los años secos presentan se ve en los meses de verano (diciembre-enero-febrero-marzo) una concordancia a lo encontrado para “eventos negativos” por Nogués-Paegle and Mo (1997) (*NP-M*) en donde la presencia de anomalías de OLR principalmente en forma de banda sobre el centro de Brasil extendiéndose hacia el océano Atlántico esta asociada con anomalías negativas de precipitación en el centro noreste de Argentina, Uruguay y extremo sur de Brasil.

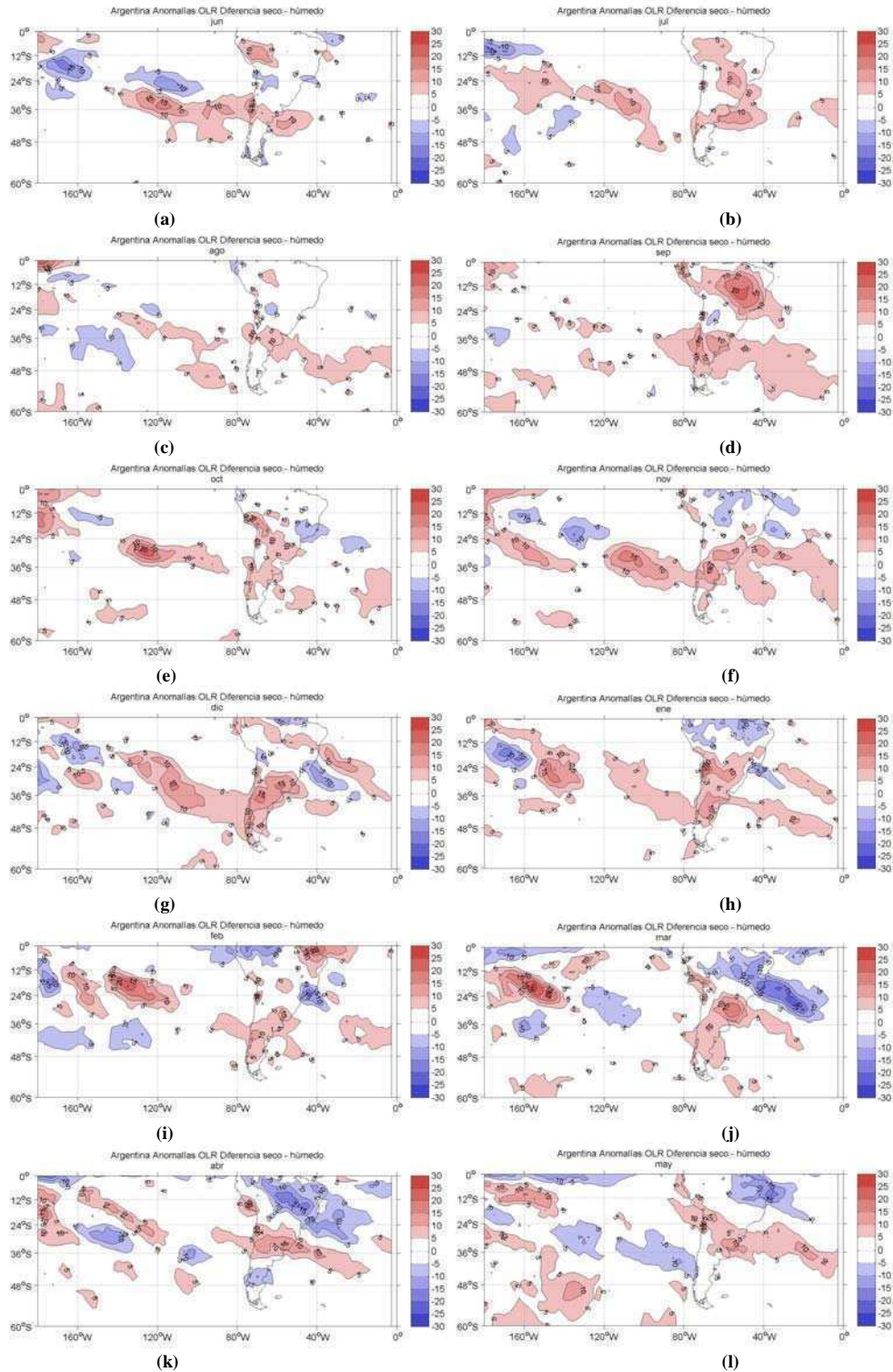


Figura 5.1.10: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de OLR de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “2/3” de Argentina. Unidades de W/m^2 .

Brasil

Los campos de anomalías de OLR de las Figuras 5.1.11 presentan para el mes de julio (a) sobre la zona núcleo de Brasil un centro positivo, lo que se puede asociar con cielos despejados. En agosto (b) nuevamente tenemos presentes anomalías positivas sobre la zona núcleo. En el mes de septiembre (c) la mayoría del continente esta bajo influencia de anomalías positivas, pero sobre la zona núcleo se encuentra un centro de anomalías negativas de OLR, el cual puede ser asociado a una zona de convección.

En octubre (d) al comienzo de la siembra, el patrón es muy similar al mes anterior con un marcado centro de anomalías negativas sobre la zona núcleo de producción de Brasil que se extiende hacia la cordillera de los Andes y también hacia el océano Atlántico. Este patrón es similar a los eventos negativos analizados por NP-M, en donde un centro de anomalías positivas de OLR se ubica desde la zona del Amazonas hacia el sudeste hasta ingresar sobre el océano Atlántico y dichos autores asocian este campo con valores normales de precipitación en Brasil y anomalías negativas en el extremo sur de de este país.

Durante noviembre (e) el patrón dominante es un dipolo ubicado sobre la costa de Brasil, caracterizado por la presencia de anomalías positivas sobre el área de mayor producción. Este patrón es similar al de los “eventos negativos” indicados en NP-M, principalmente en lo que se refiere a Brasil, asociado a esta situación se encuentran anomalías negativas en la precipitación en todo el sudeste de este país. Igual situación se repite en diciembre (f) observándose la zona de convección (SCAZ) relegada en la parte norte del continente. En los meses que integran la siembra sobre el Pacífico ecuatorial hay presente un marcado centro de anomalías positivas que avanza desde el oeste de la cuenca, este patrón esta asociado a campos neutrales o de evento La Niña.

Durante la floración, en enero (g) la zona núcleo continúa bajo el efecto de las anomalías positivas de OLR, las cuales también se sitúan sobre la costa noreste de Brasil, dejando a la zona convectiva (anomalías negativas) ubicada en el extremo norte del continente, estos campos están en concordancia con lo visto en las anomalías de HGT de 850 hPa en donde en el extremo norte del continente presentan signo negativo. En febrero (h) no se observan grandes diferencias, ya que en la zona núcleo se encuentran anomalías positivas asociadas a los cielos despejados y solamente difiere en el avance de las negativas en el norte del continente. Dicho avance de las anomalías negativas continúa en marzo (i), pero en la

zona núcleo persisten las anomalías positivas. Durante la floración sobre la zona núcleo, como se menciona en los ítems previos es dominante la presencia de altas presiones durante las campañas clasificadas como secas, esto está en relación con lo aquí observado en las anomalías positivas de OLR. Durante la siembra y la floración se intensifican las anomalías positivas en el Pacífico ecuatorial dando un claro reflejo de la ocurrencia de un evento de La Niña.

Por último durante la cosecha, en el mes de abril (*j*) el centro de anomalías positivas se hace más intenso, lo mismo que las negativas ubicadas en el noreste de Brasil. En mayo (*k*) la posición de los centros de anomalías positivas y negativas no se desplaza en comparación al mes anterior. Algo similar ocurre en junio (*l*), en donde no cambian su posición pero si alteran su forma, esto hace presumir el carácter estacionario de este patrón. Sobre toda la cuenca ecuatorial del Pacífico en los tres meses de cosecha se hallan anomalías positivas de OLR.

En resumen, se puede decir que durante la mayor parte de la campaña en los campos de diferencias “seco – húmedo” domina la presencia de anomalías positivas de OLR las cuales se las puede asociar a una mayor frecuencia de cielos despejados y por ende con anomalías negativas en la precipitación.

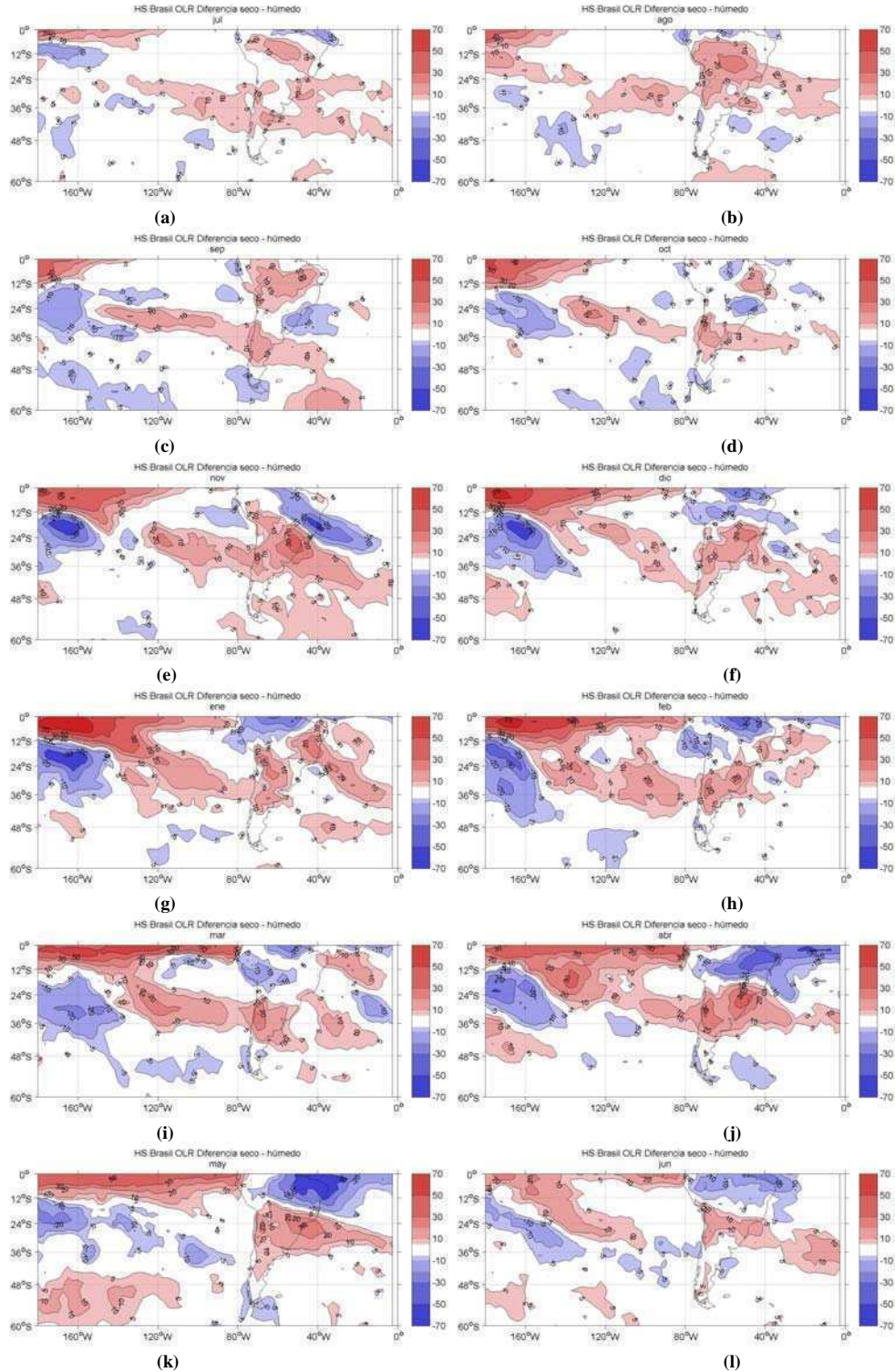


Figura 5.1.11: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de OLR de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Brasil. Unidades de W/m^2 .

Estados Unidos

En el análisis de las Figuras 5.1.12, en enero (*a*) el campo de anomalías es muy irregular con un dominio de anomalías negativas en las altas latitudes del continente, y con un centro de anomalías positivas posicionado en el sudoeste del país, la zona núcleo de producción se ve afectada por ambos tipos de anomalías. En febrero (*b*) el patrón invierte su signo, al norte del área núcleo se ubican anomalías positivas y al sur negativas. En marzo (*c*) la zona núcleo presenta valores normales para la época de OLR, las anomalías negativas asociadas a la convección continúan situándose sobre México y sus océanos adyacentes.

En el comienzo de la campaña, en el mes de abril (*d*), el patrón cambia rotundamente, la mayor parte del continente presenta anomalías positivas, asociadas a cielos despejados y por lo tanto a escasa precipitación. Solamente la parte oeste del país muestra anomalías negativas de OLR. En mayo (*e*) continúa registrándose este patrón con un marcado centro de anomalías positivas en la zona núcleo de producción de los Estados Unidos. En junio (*f*) persiste esta situación, asociando a los campos de diferencias durante la siembra con condiciones de escasa precipitación. Durante la siembra no se evidencia ningún dominio preponderante en el Pacífico ecuatorial de algún tipo de anomalías, se deduce que esto que no hay una directa relación con los eventos ENSO.

En julio (*g*) comienza la etapa de la floración y el centro de anomalías positivas de OLR que se encuentra en el este del país se ve afectado por un pequeño núcleo de anomalías negativas, de esta forma el área de producción está bajo la influencia de ambos signos de anomalías de OLR. Durante agosto (*h*) nuevamente un importante centro de anomalías positivas afecta a la zona núcleo. En septiembre (*i*) la zona núcleo continúa bajo influencia de anomalías positivas presentando en su extremo sudeste anomalías negativas. En este último mes se insinúa un patrón de eventos Niña en donde la cuenca central – este del Pacífico ecuatorial presenta cielos despejados.

En la cosecha se observa que en octubre (*j*) la totalidad del continente presenta anomalías positivas. Igual situación se repite en noviembre (*k*) y en diciembre (*l*). Asociando a todos estos meses con campos de escasa nubosidad y por ende de baja precipitación.

A lo largo de toda la campaña no se encontró en el océano Pacífico un claro patrón de convección que puede relacionarse en forma directa a los eventos del ENSO.

Teniendo en cuenta que el campo de las diferencias “seco – húmedo” potencia lo que ocurre en los años secos se pueden comparar los resultados obtenidos con el trabajo de Liu *et al.* (1998) en donde analizan la sequía de 1988 y la inundación de 1993 que afectaron a Estados Unidos. En dicho trabajo los autores presentan el campo de anomalías de OLR para ambos eventos siendo el de la sequía muy similar en forma y signo al que se encuentra en el presente trabajo.

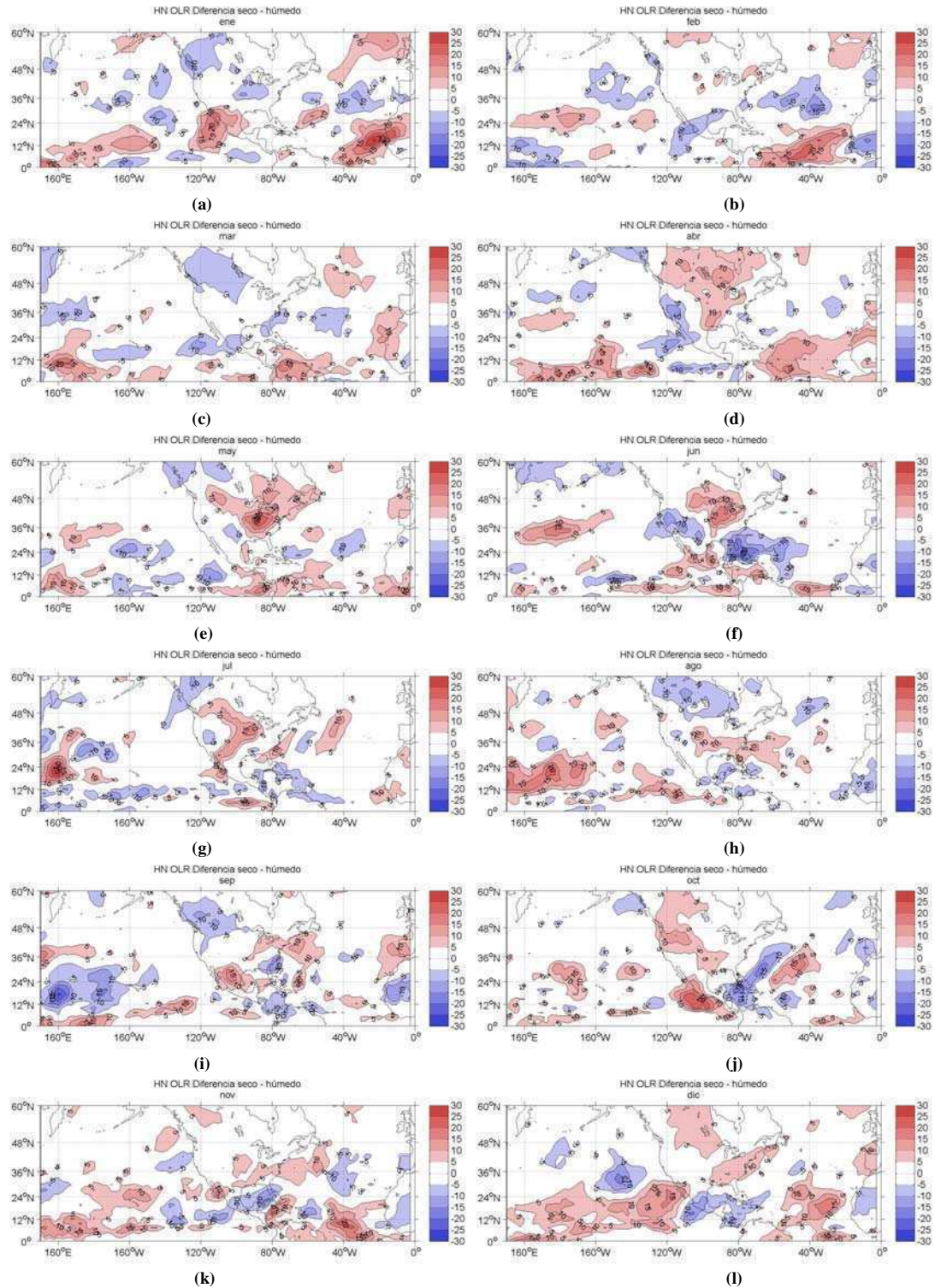


Figura 5.1.12: Campos mensuales de diferencias seco-húmedo para las anomalías de OLR de los composites de los años secos y húmedos del promedio de estaciones pertenecientes al grupo “1/3” de Estados Unidos. Unidades de W/m^2 .

5.1.6. Conclusiones

Conclusión de las Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa

En los tres casos analizados de los campos de diferencias la característica principal es que existe al menos un periodo durante la campaña donde este campo es cuasi estacionario, en la Argentina esto se produce principalmente en el fin de la floración y en la cosecha. En Brasil esta situación comienza desde la floración y en Estados Unidos principalmente en la siembra.

En los composites de los tres países en alguna etapa se ve la influencia ejercida por la presencia de anomalías positivas, en los dos casos del hemisferio sur, este centro se posiciona en el sur del continente alterando la trayectoria de los sistemas. Mientras que en el hemisferio norte se posiciona sobre el norte del continente cambiando claramente la ubicación de la corriente en chorro y la trayectoria de tormentas.

Recordando que en los campos de diferencias se resaltan las condiciones de los eventos secos, en cuanto a lo que sucede en las zonas núcleo en Argentina y Brasil, las mismas están dominadas por anomalías negativas, lo que está indicando que las condiciones dinámicas no son favorables para la precipitación.

Conclusión de las Anomalías de Altura Geopotencial en 850 hPa

En los campos de anomalías de altura geopotencial en 850 hPa, el comportamiento de las tres regiones es diferente sobre las zonas núcleo. En la Argentina en la mayoría de los meses se observa la presencia de anomalías positivas. En Brasil se encuentran anomalías negativas de altura geopotencial. En Estados Unidos el campo permanece cuasi estacionario a lo largo de cada etapa de la campaña, alternando de esta forma el signo de las anomalías en la zona núcleo.

En la Argentina la presencia de anomalías positivas con su centro en el sur del continente a lo largo de la floración (que también puede notarse en el nivel de 200 hPa) estaría indicando la posibilidad de situaciones bloqueantes que no permiten el pasaje de sistemas sinópticos.

Conclusión de las Anomalías de SST

En lo que respecta a las anomalías de la temperatura en la superficie del mar lo que sucede en el océano Pacífico ecuatorial influye en las tres regiones. Para los eventos de Brasil es notoria la diferencia de temperaturas entre los eventos secos (enfriamiento) y los húmedos (calentamiento), por eso se ven incrementadas las anomalías negativas. Este campo de SST está claramente relacionado a los eventos fríos del ENSO como se vio también en las anomalías de OLR. En la Argentina también se observa la presencia de anomalías negativas a lo largo del Pacífico ecuatorial pero las mismas son de menor intensidad a las registradas en Brasil, la situación en el océano Atlántico puede llevar a explicar los eventos secos, ya que a lo largo del año se observan anomalías negativas en la costa de Sudamérica siendo este tipo de anomalías inhibitorias de la convección. En el análisis de Estados Unidos se observa un enfriamiento débil y progresivo en la cuenca del Pacífico ecuatorial a medida que avanza la campaña.

Conclusión de las Anomalías de OLR

En los campos no se observa un comportamiento similar entre las zonas, siendo la convección sobre el océano Pacífico uno de los forzantes naturales que alteran la circulación atmosférica. En los campos hallados para Brasil es notoria la presencia de anomalías positivas de OLR a lo largo de toda la franja central y este del Pacífico ecuatorial, esto está indicando un claro patrón de la convección relegada a la zona oeste del océano que se encuentra en los eventos de La Niña, esto se puede deber principalmente a que los años seleccionados como secos para Brasil pertenecen a eventos de La Niña y los años húmedos a eventos de El Niño. En los campos de diferencias “seco-húmedo” se enfatiza lo que sucede en los años secos, es por este motivo es que en el campo de anomalías de OLR está bien definida la situación presente en los eventos fríos del ENSO. Esto está en concordancia con los campos de anomalías de OLR muestran en el trabajo de Grimm *et al.* (1998) en donde los autores encuentran una relación entre La Niña e importantes anomalías negativas en la precipitación del sur de Brasil.

A diferencia de Brasil, los años de eventos extremos en Argentina y Estados Unidos no están total y directamente asociados a las fases del ENSO por ese motivo los campos de anomalías en OLR no reflejan un patrón definido.

En resumen, se puede decir que durante la mayor parte de la campaña en los campos de diferencias “seco – húmedo” en las zonas núcleo de los tres países domina la presencia de anomalías positivas de OLR las cuales se las puede asociar con cielos despejados y por ende con anomalías negativas en la precipitación.

Síntesis general

Dado que se realizaron composites de eventos secos y húmedos, los campos resultantes muestran un promedio de las situaciones en cada una de las variables analizadas. Por este motivo si los factores que favorecen uno u otro evento son diferentes en cada uno de los años el resultado no es un campo que representa una situación bien definida.

Al realizar los campos de diferencias “seco-húmedo” son las condiciones secas las que están potenciadas. En estos años los eventos de La Niña son los que parecerían estar conduciendo los cambios en la circulación atmosférica.

Al analizar los campos de OLR y SST se puede tratar de dilucidar los forzantes que provocan las anomalías que dan lugar a estos eventos extremos.

En los que respecta al campo de anomalías de la temperatura de la superficie del mar las mismas mostraron que en los meses que conforman las etapas críticas de los cultivos se registra un enfriamiento en la zona ecuatorial del océano en el centro-este del Pacífico y un calentamiento en la zona oeste de la cuenca (no mostrado en las figuras). Dicho calentamiento tiene mayor intensidad en los eventos de Brasil y menos en los de Argentina y Estados Unidos debido a que en estos dos últimos países los eventos secos y húmedos no están siempre ligados a las fases del ENSO.

Estos enfriamientos en la temperatura de la superficie del mar generan una inhibición de la convección en el Pacífico central, como se observa en los campos de anomalías de OLR. En la zona central y este del océano se observan anomalías positivas de OLR mientras que en la zona oeste del océano Pacífico las anomalías de signo negativo se hacen presentes (no mostrado en las figuras). Como ya se explico para la SST, en esta oportunidad nuevamente es

en los composites de Brasil donde mejor se refleja la ubicación de la zona de convección sobre Indonesia, clásico patrón de los eventos de La Niña.

Estas situaciones observadas pueden ser uno de los forzantes que dan lugar a la circulación anómala que da inicio a los trenes de ondas que afectan a las diferentes regiones en sus eventos particulares.

En los campos de altura los trenes de ondas presentes en etapas particulares de la campaña presentan una configuración cuasi-estacionaria, en Argentina y Brasil estas condiciones se presentan en las etapas críticas de los cultivos es decir en el final de la siembra y durante la floración principalmente, mientras que en Estados Unidos la situación varía a lo largo de los meses. En estos campos la ubicación de anomalías positivas de altura geopotencial en 200 hPa en el sur de Sudamérica y sobre el centro de Norteamérica provocan un desplazamiento de las corrientes en chorro y por ende de las trayectorias de las tormentas, alejando de esta forma las condiciones favorables para la precipitación de las zonas núcleo de producción de los tres países estudiados.

Cercano a superficie esta situación es acompañada también por campos cuasi-estacionarios en donde las zonas núcleo de producción se ven afectadas por anomalías positivas de altura geopotencial en 850 hPa. Además los centros de anomalías positivas se posicionan principalmente en el sur del continente durante la etapa de la floración pueden llegar a inducir la presencia de situaciones bloqueantes que alteran la trayectoria de los sistemas sinópticos.

5.2. Análisis de la coherencia regional

Estudiar la coherencia entre los regímenes de lluvia y los rendimientos entre países es necesario para evaluar la existencia de similares eventos extremos que puedan llegar a producirse en un mismo período. Para comenzar con el análisis de la coherencia regional se separan en tres categorías a las precipitaciones acumuladas por campaña para los grupos de estaciones seleccionados y a los rendimientos del maíz y de la soja. Cada categoría consta de 10 eventos y las mismas son: precipitación baja-media-alta y rendimiento bajo-medio-alto.

El primer análisis de coherencia que se realiza es la ocurrencia conjunta de eventos de rendimiento. Esto quiere decir, que se toman las categorías de rendimiento antes detalladas y se compara la ocurrencia entre Argentina y los otros 2 países (Brasil y Estados Unidos). Para el cultivo del maíz no se observa una asociación entre las regiones. Mientras que para el cultivo de la soja se encuentra que entre Argentina y Brasil hay presente una asociación en la ocurrencia de eventos.

Dado que entre la campaña en Argentina y la campaña de Estados Unidos existe un corrimiento en meses, y como en la mayoría de los estudios desarrollados en esta tesis se plantea la comparación entre la campaña de Argentina y la previa en Estados Unidos, en esta oportunidad también se lleva a cabo la comparación inversa, es decir, nuestra campaña con la siguiente de Estados Unidos. Pero nuevamente no se encuentra coherencia entre los rendimientos para ninguno de los dos cultivos.

En el análisis de las precipitaciones acumuladas durante la campaña de maíz y soja no se encuentran correlaciones significativas por categoría entre los países.

Dada esta situación de no dependencia se buscan años de eventos en común (déficit o excesos de precipitación, altos o bajos rendimientos). En las precipitaciones se halla la particularidad que tanto en la campaña del maíz como en la de la soja en los años 1988 y 1989 Argentina, Brasil y Estados Unidos presentan un déficit en la precipitación, y los rendimientos de ambos cultivos en la Argentina y en los Estados Unidos fueron uno de los más bajos de todo el registro, mientras que en Brasil se alcanzaron valores medios en el rendimiento del maíz y altos en el de la soja. Otra particularidad es lo sucedido en el año 2008-09, en el cual las campañas de Argentina y Brasil de maíz y soja presentan un déficit en la precipitación mientras que en Estados Unidos hay un exceso en la misma. El rendimiento en este año es

bajo para tanto para el maíz como para la soja en los tres países analizados, siendo para la Argentina el rendimiento más bajo de todo el período de análisis.

5.2.1. Aspectos de la circulación en el evento de déficit de precipitación del año 1988-1989

Al analizar los años en que se producen eventos en común entre estos tres países, las campañas 1988 para los Estados Unidos y 1988-89 tanto para Argentina como para Brasil integran la categoría de muy baja precipitación acumulada. En estas campañas los tres países continúan con una situación de anomalías negativas en la precipitación acumulada desde la campaña del año anterior.

La sequía de 1988 en los Estados Unidos fue estudiada por diferentes autores principalmente debido a considerarla la más severa y extensa (que afectó la etapa de desarrollo de cultivos) que se produjo en la segunda mitad del siglo XX (Mishra and Cherkauer, 2010), entre los que se encuentran Trenberth *et al.* (1988) los cuales analizan el comienzo de la sequía que afectó diferentes sectores del país y sugieren que la causa de la misma fue un cambio en la circulación atmosférica forzado por la variación de la SST en el Pacífico tropical. Esta línea de trabajo fue continuada por Trenberth and Branstator (1992).

Otra forma de abordar el estudio de este evento fue la comparación con la inundación que sufrió Estados Unidos en el año 1993, Trenberth and Guillemot (1996) analizan los procesos físicos involucrados en ambos eventos, mediante las anomalías en diferentes campos, principalmente la SST que presenta un claro signo inverso en uno y otro evento. Además analizan la distribución de la convección especialmente de la ITCZ (*Intertropical Convergence Zone*).

Liu *et al.* (1998) reproducen con un modelo de ondas las características principales que presentan las circulaciones anómalas durante la sequía de 1988 y la inundación de 1993.

La bibliografía de trabajos específicos sobre la sequía de los años 1988-89 en la Argentina y Brasil con un enfoque en la circulación no es abundante. Naumann et al (2008) estudian las secuencias secas en la Cuenca del Plata y analizan en forma particular la circulación asociada a la sequía de 1988. Vargas *et al.* (2011) analizan en forma particular la duración de la sequía de 1988. El estudio de las grandes sequías que afectan a la Argentina

tuvo varias orientaciones, principalmente se analizan las situaciones sinópticas aparejadas, tal es el caso de Malaka y Nuñez (1980) que estudian la sequía de 1962, o el de Alessandro y Lichtenstein (1996) que analizan la situación sinóptica asociada a la sequía del invierno de 1995.

Anomalías de Altura Geopotencial en 200 hPa

En el estudio se analizan los campos de las anomalías mensuales desde enero de 1988 a junio de 1989 (abarcando las campañas de maíz y soja de los tres países).

En la Figura 5.2.1 se presenta la evolución mensual de las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa para el período de análisis, (en adelante se menciona solo la letra de la figura que identifica al mes analizado). En los meses de enero (*a*), febrero (*b*) y marzo (*c*) de 1988 en el hemisferio norte (HN) existe un tren de ondas cuasi estacionario que pierde definición con los meses. Mientras que en el hemisferio sur (HS) otro tren de ondas que tiene su comienzo en el océano Pacífico oeste se va desplazando lentamente con el correr del tiempo.

En los meses de abril (*d*), mayo (*e*) y junio (*c*) que conforman la siembra en el HN no hay un desplazamiento de los centros de anomalías pero en junio se observa un reordenamiento y una intensificación de las anomalías positivas sobre el continente que es coincidente a lo hallado por Trenberth and Branstator (1992) que asocian el fuerte anticiclón en la alta tropósfera sobre Norte América con un corrimiento hacia el norte de la corriente en chorro y la trayectoria de las tormentas. En estos meses de la siembra se obtiene uno de los menores registros de precipitación acumulada en el período de estudio. Este campo es un clásico modo PNA, que está mostrando la respuesta de la circulación de la atmósfera frente al forzante generado por el ENSO. En el HS se continúa observando el desplazamiento del tren de ondas.

En la floración del HN las anomalías positivas que se observan en los meses previos continúan durante julio (*g*), agosto (*h*) y septiembre (*i*) con una menor intensidad (Liu et al, 1998). Las precipitaciones en estos meses también se ubican en el extremo más bajo de la distribución.

En el HS los meses previos a las campañas (julio (*g*) –agosto (*h*)), el tren de ondas se desdibuja y un centro de anomalías positivas se posiciona al sur del continente.

En octubre (*j*), noviembre (*k*) y diciembre (*l*) (etapa de la cosecha en el HN) se vuelve a formar un tren de ondas que con su desplazamiento produce una alternancia de centros sobre el continente americano. Durante la cosecha los valores de precipitación alcanzados en la zona de mayor producción de los Estados Unidos vuelven a encontrarse en los valores normales para esta etapa de la campaña.

En la siembra del HS (septiembre (*i*), octubre (*j*) y noviembre (*k*)) el tren de ondas no esta bien definido pero igual se observa una alternancia de centros de anomalías de ambos signos.

En diciembre (*l*), enero (*m*) y febrero (*n*) en el HS es la etapa de floración en donde un sistema de anomalías positivas de altura geopotencial se posiciona en el sur del continente (con una menor intensidad al hallado en el HN y presentando un pequeño desplazamiento). Al mismo se lo puede asociar también con un corrimiento hacia el sur de las trayectorias de las tormentas, provocando de esta forma que se registre el menor valor acumulado de precipitación durante la etapa de floración en las dos mayores zonas de producción del HS. .

En la cosecha del HS los campos varían, en marzo (*o*) se asemejan a un débil patrón de PSA, mientras que en abril (*p*) y mayo (*q*) comienza a posicionarse una banda de anomalías positivas entre los 25° y 50° S. Las precipitaciones que se registraron en esta etapa se ubican en los valores normales para la época del año.

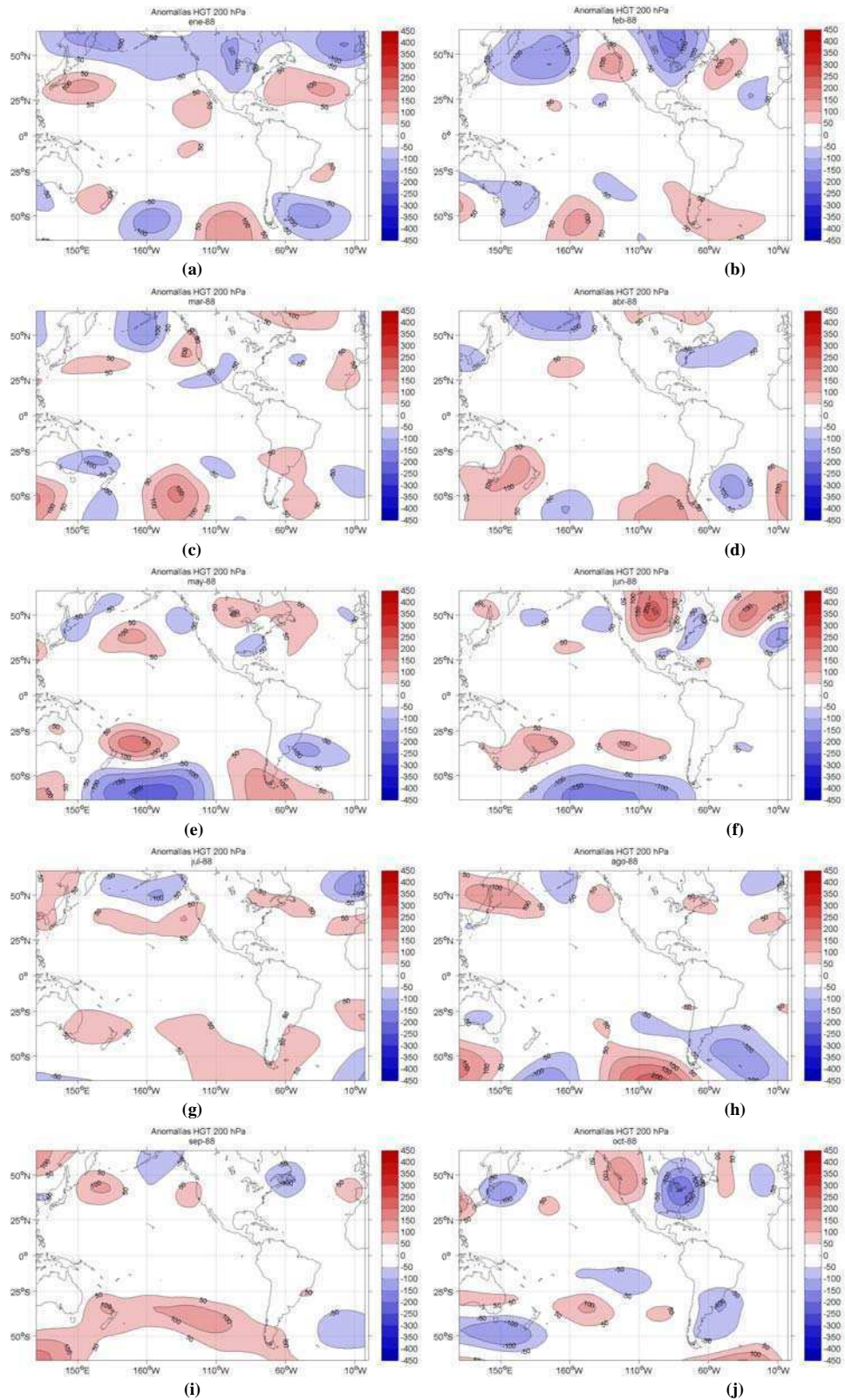


Figura 5.2.1: Campos mensuales de las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa. Unidad metros geopotenciales. (Período Enero 1988 - Junio 1989).

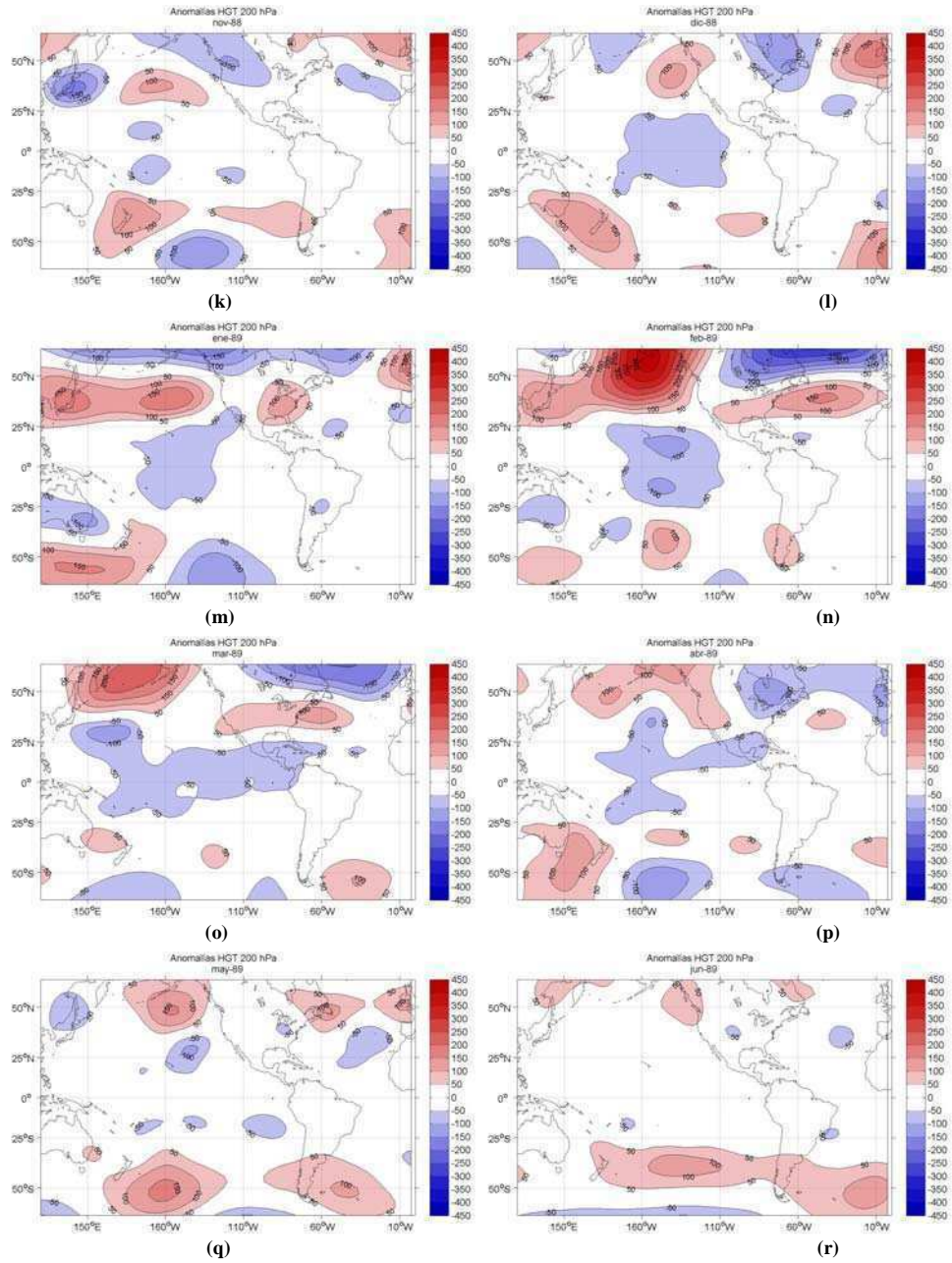


Figura 5.2.1 (continuación): Campos mensuales de las anomalías de altura geopotenciales en 200 hPa. Unidad metros geopotenciales. (Período Enero 1988 - Junio 1989).

Anomalías de SST

La Figura 5.2.2 presenta las anomalías en la temperatura de la superficie del mar a lo largo de los meses, las cuales exhiben un enfriamiento progresivo del océano Pacífico ecuatorial. Desde comienzos del año 1988 las anomalías positivas que dominan la zona se ven relegadas a la cuenca oeste del océano. La señal de las anomalías negativas comienza en marzo (*c*) desde la costa de Perú y Ecuador, la lengua de agua más fría de lo normal se va extendiendo hacia el oeste con el correr del tiempo. Su máxima intensidad la presenta en los meses de junio (*f*) y julio (*g*) de 1988 (fin de siembra e inicio de floración de HN) y nuevamente las anomalías negativas se hacen mayores en los meses de noviembre (*k*) y diciembre (*l*) de 1988 (fin de siembra e inicio de floración de HS). En ambas regiones para las mismas etapas los cultivos presentan similar comportamiento en la temperatura de la superficie del mar.

El fuerte enfriamiento que sufre el Pacífico ecuatorial tan característico en los eventos de La Niña tiene una fuerte correlación con la precipitación en el Sudeste de Sudamérica (Barros and Silvestre, 2002). Durante estos eventos esta región experimenta un déficit de entre 50 a 150 milímetros durante las meses de junio a diciembre. (Ropelewski and Halpert, 1989 y 1996).

En el comportamiento que presentan las anomalías de la SST se observa el feedback existente con la convección que se analiza en los campos de anomalías de OLR. Y ambas situaciones representan un evento de La Niña intenso.

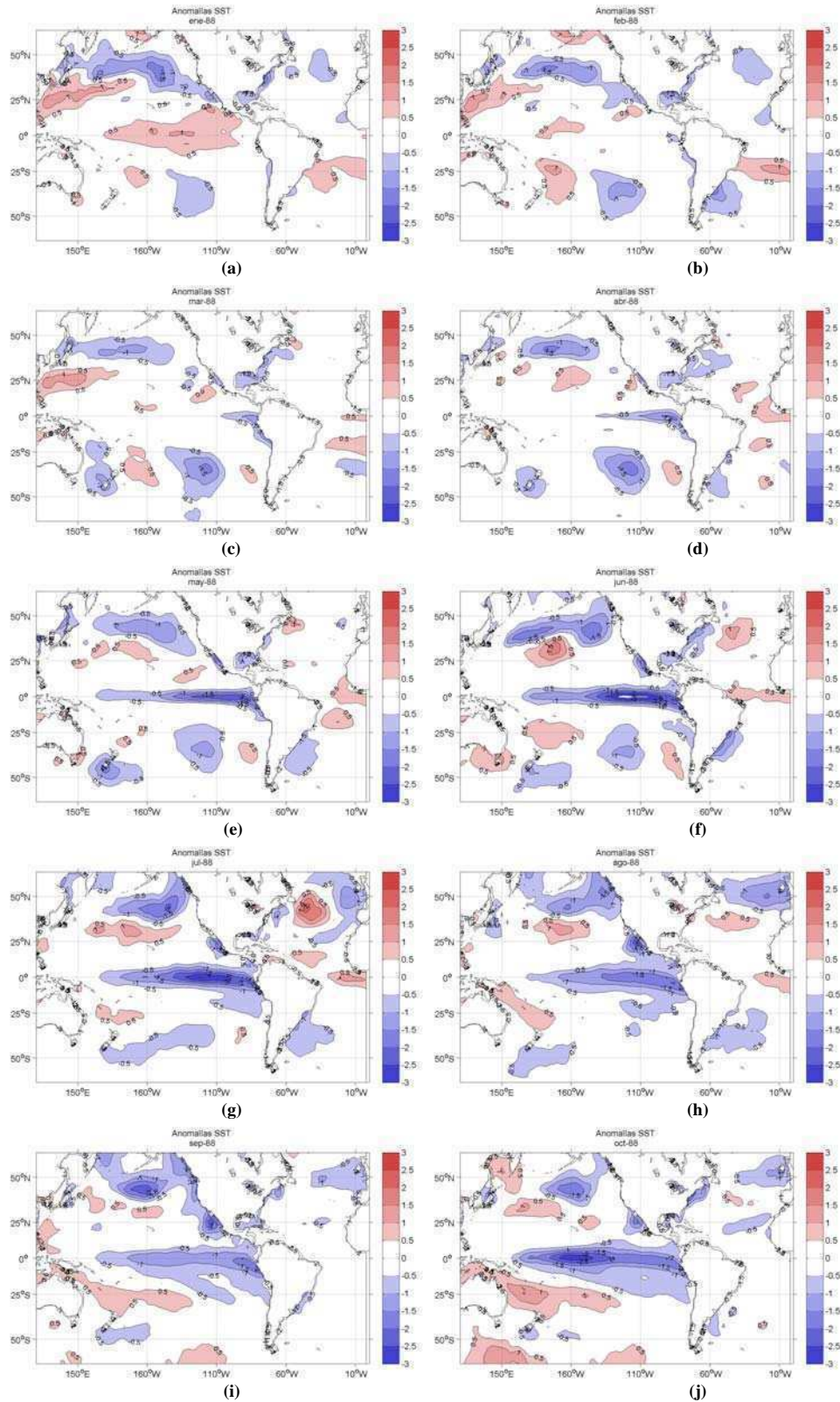


Figura 5.2.2: Campos mensuales de anomalías de SST. Unidad ° C. Período Enero 1988 – Junio 1989.

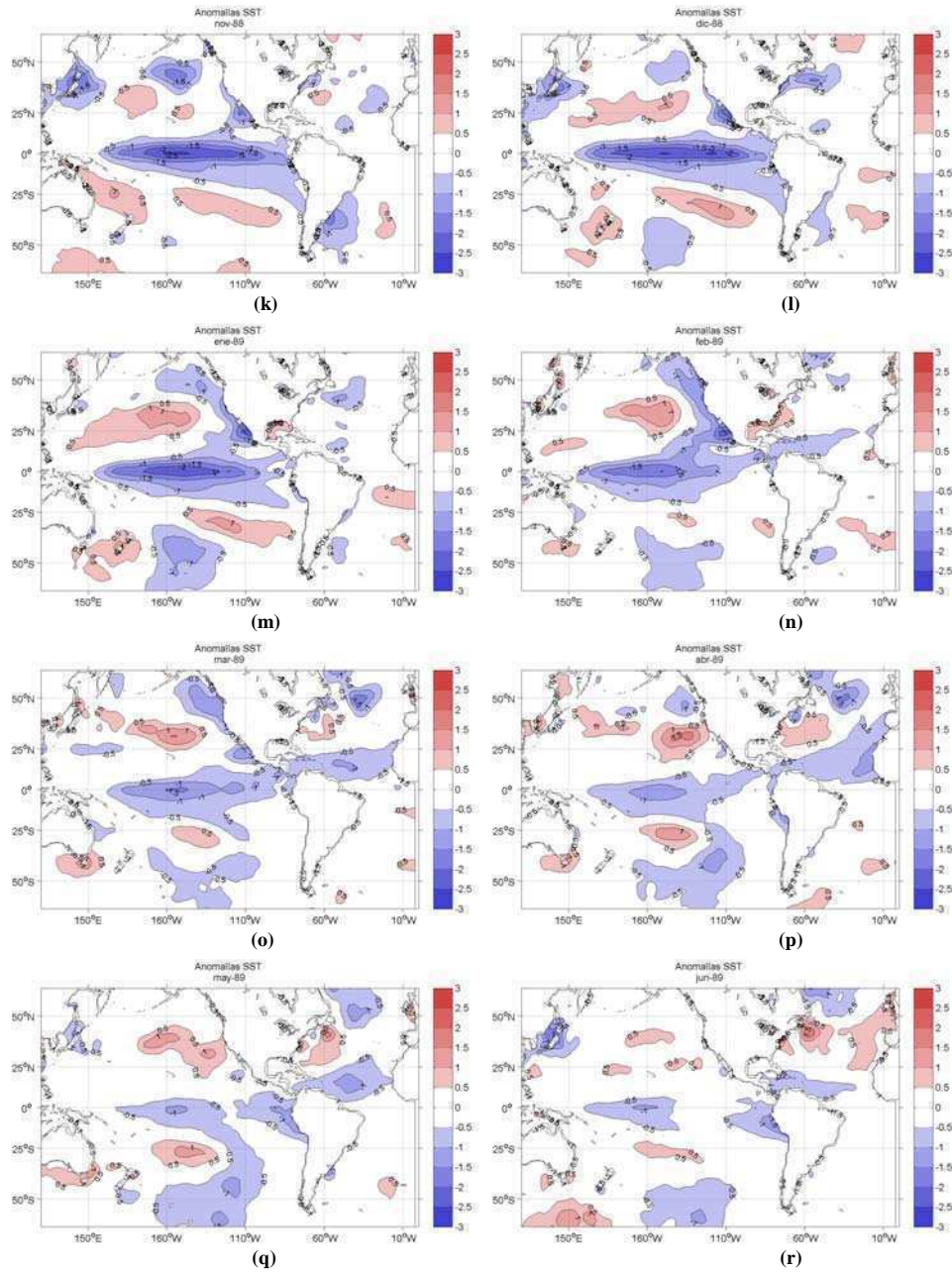


Figura 5.2.2 (continuación): Campos mensuales de anomalías de SST. Unidad °C. Período Enero 1988 – Junio 1989.

Anomalías en OLR

Con los campos de anomalías mensuales de OLR (Figura 5.2.3) se puede hacer un seguimiento de la convección a lo largo de los meses.

En enero (*a*) el océano Pacífico presenta una zona de las anomalías positivas sobre la parte oeste de la cuenca y negativas en el centro, durante febrero (*b*) y marzo (*c*) este patrón comienza a cambiar de signo. En la zona productora de HN se registran valores normales.

En los tres meses siguientes (figuras *d-e-f*) que conforman la siembra en el HN sobre el continente se ubica un importante centro de anomalías positivas de OLR, asociado a cielos despejados, que se corrobora por lo hallado por Liu *et al.* 1998. Sobre el océano Pacífico ecuatorial hay una importante banda de anomalías positivas de OLR.

En julio (*g*), agosto (*h*) y septiembre (*i*) se produce la floración en el HN y en esta oportunidad la extensión de los centros de anomalías no es tan importante, pero sobre la zona núcleo de producción continúa ubicándose anomalías positivas de OLR. En el océano Pacífico comienza a vislumbrarse el patrón de anomalías negativas en la zona oeste y positivas en el centro-este, típico de los años con evento La Niña.

Julio (*g*) y agosto (*h*) conforman los meses previos a las campañas en el HS, en donde las anomalías de OLR presentan valores positivos o cercanos a cero en las zonas de mayor producción de cultivos.

En septiembre (*i*) comienza la siembra en el HS, en el campo se observa una banda de anomalías negativas (asociadas a la convección) en el norte de Argentina y sur de Brasil, pero la misma se ve acotada por dos bandas de anomalías positivas ubicadas en sendas zonas núcleos de ambos países. En los restantes meses de la floración la configuración de este campo se modifica quedando el sudeste de Sudamérica bajo influencia de anomalías positivas asociadas a cielos despejados, por tal motivo en esta época, una de las etapas críticas para los cultivos esta situación concuerda con el déficit en la precipitación registrado.

En la cosecha del HN (octubre (*j*), noviembre (*k*) y diciembre (*l*)) sobre la zona núcleo no hay un claro dominio de ningún patrón ya que se pasa de tener anomalías negativas a neutrales y luego finaliza la campaña con valores positivos. En diciembre se establece en forma clara el dipolo de anomalías de OLR en la cuenca del Pacífico.

En el comienzo de la floración del HS ambas zonas núcleo (Argentina y Brasil) están bajo influencia de anomalías positivas, pero en enero (*m*) y febrero (*n*) una banda convectiva

en el norte de Argentina y sur de Brasil se desplaza, influyendo en la actividad convectiva de las dos zonas núcleo.

Para finalizar en los meses de la cosecha del HS a escala hemisférica se acentúan los centros de anomalías negativas en el oeste y positivas en el centro del Pacífico, dejando relegada la actividad convectiva asociada a la zona de Indonesia, estableciéndose de esta forma el campo típico de un evento de La Niña. En lo que se refiere a las zonas de mayor producción de cultivos en ambos países, se observa el dominio de anomalías positivas de OLR.

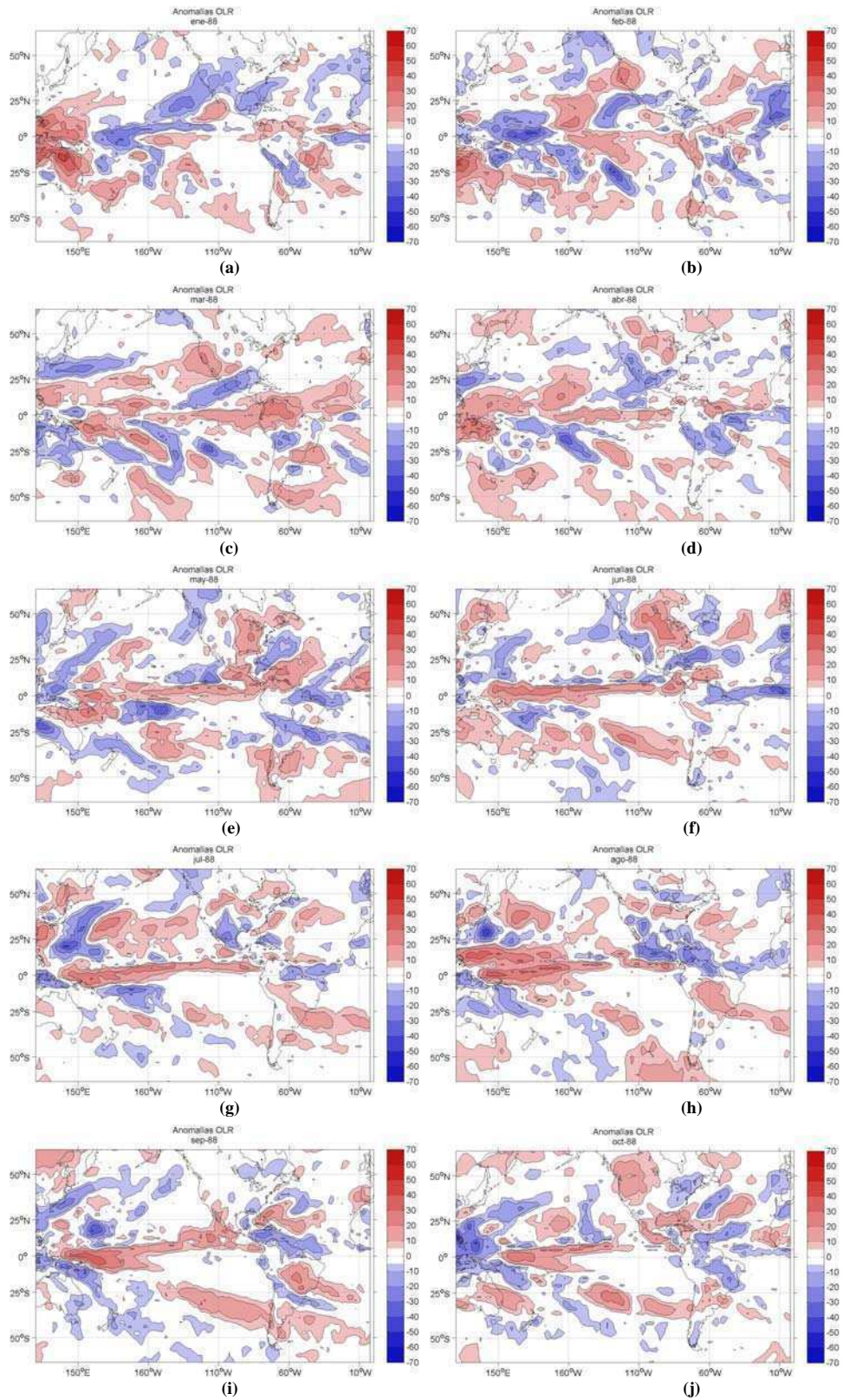


Figura 5.2.3: Campos mensuales de anomalías de OLR. Enero 1988 – Junio 1989. (W/m^2)

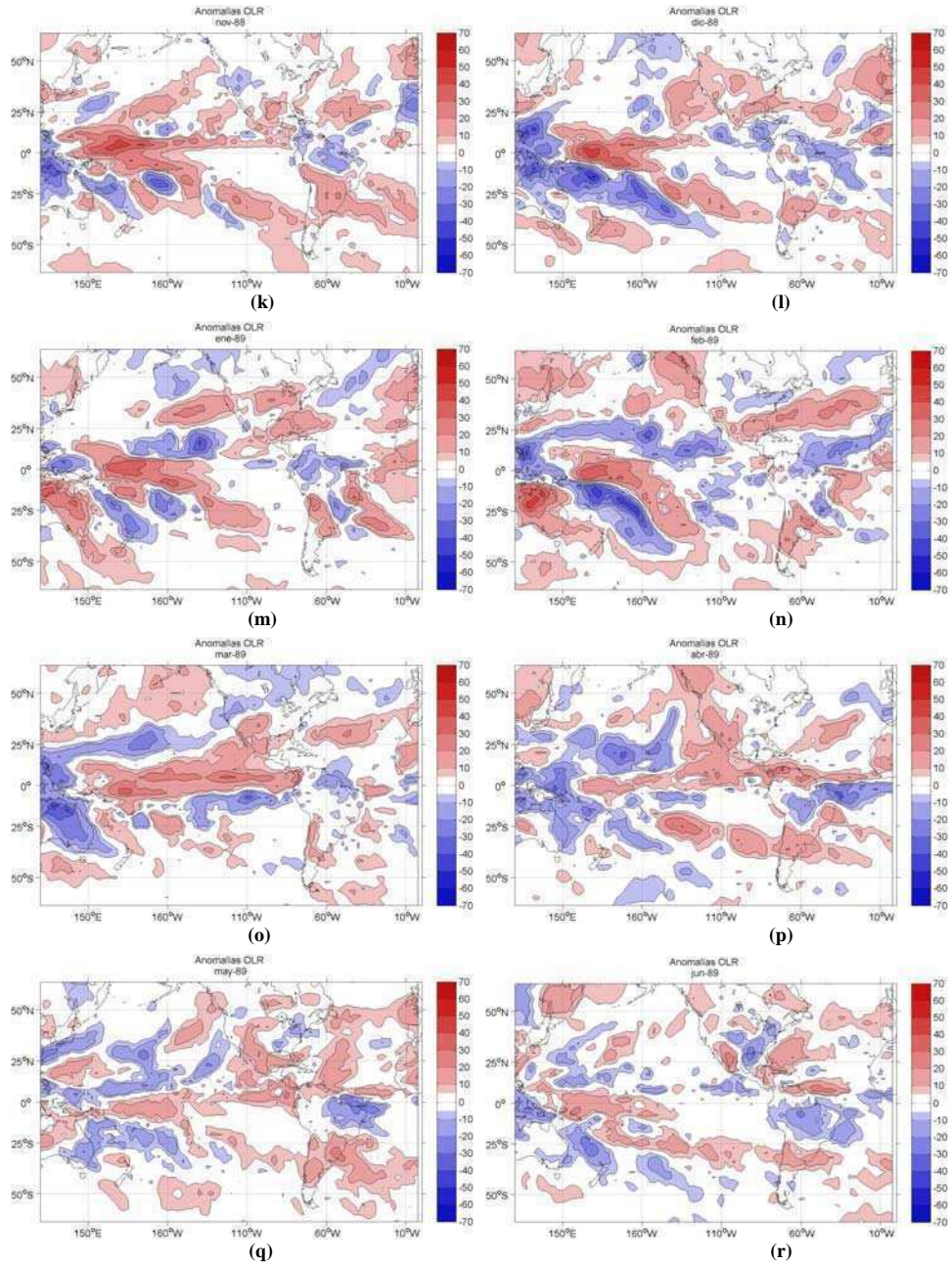


Figura 5.2.3 (continuación): Campos mensuales de anomalías de OLR. Enero 1988 – Junio 1989. (W/m^2)

Características generales

La actividad tropical en los años 1988-89 estuvo caracterizada a comienzos del primer año por valores positivos del “*Oceanic Niño Index*” (ONI) (valor promedio de tres meses de anomalías de SST en la región Niño 3.4). Desde aproximadamente el mes de mayo este índice adquiere valores negativos. En el trimestre abril-mayo-junio (siembra en el HN) adquiere la categoría de Niña (al superar los $-0,5^{\circ}$ C). Esta categoría la mantiene hasta mediados del año 1989, pero los valores negativos del índice continúan por el resto del año. (Fuente: Climate Analysis Section NCAR – www.cgd.ucar.edu).

Las anomalías positivas de OLR en el Pacífico ecuatorial reflejan la ausencia de actividad convectiva, la cual queda confinada a la cuenca oeste del océano.

Por lo tanto, el enfriamiento anómalo del Pacífico ecuatorial asociado con el cambio en la zona de convergencia (ITCZ) pueden ser los forzantes iniciales que generan el tren de ondas que permanece cuasi estacionario durante los meses de verano del HN (meses críticos). Con un sistema de anomalías positivas de la altura geopotencial en la alta atmósfera sobre el centro de Norteamérica que provoca un corrimiento hacia el norte de la corriente en chorro y de las trayectorias de las tormentas.

En el HS este mismo forzante pudo haber provocado el establecimiento en los meses críticos de la campaña, de un centro de anomalías positivas en el sur del continente americano que provocan un efecto similar al detallado para el HN.

5.2.2. Aspectos de la circulación en el evento particular del año 2008-2009

Anomalías de altura geopotencial en 200 hPa

Al igual que con el año 1988-89, se describe mes a mes lo que sucede en ambos hemisferios para las diferentes etapas de las campañas. Este año en Estados Unidos se registra un exceso de precipitación mientras que en Argentina y Brasil la precipitación es deficitaria. (Figura 5.2.4).

En los primeros tres meses (*a-b-c*), considerados los previos a la campaña en el HN se observa la presencia de un tren de ondas que avanza desde el océano Pacífico oeste en forma lenta, dejando anomalías positivas de altura geopotencial en la costa oeste mientras que en el centro del continente se observan anomalías de signo opuesto. En la costa este dominan las anomalías de signo positivo. En el HS se observa la presencia de un sistema cuasi-estacionario en donde el tren de ondas se caracteriza por presentar anomalías de altura geopotencial de signo positivo en el sur del continente.

En abril (*d*), mayo (*e*) y junio (*f*), los meses de la siembra en el HN, el tren de ondas se desplaza, alternando el signo de las anomalías sobre la zona núcleo. Si se realiza una comparación con lo visto en el año 1988, es clara de diferencia existente entre el intenso centro de anomalías positivas que se posiciona sobre el continente ese año y las débiles anomalías negativas que se encuentran en junio de 2008. En el HS estos tres meses la situación es similar a la vista en 1988, en donde el tren de ondas se desplaza por el Pacífico alternando el signo de los centros de anomalías en el sur del continente.

En los meses de floración del HN se observa la progresión de los centros al igual que en los años húmedos (no mostrado), en julio (*g*) la ubicación de anomalías negativas en el centro del continente rodeado por dos centros de signo positivo es similar a lo encontrado por Liu *et al.* 1998 para la inundación que afectó a los Estados Unidos en el año 1993. Este tipo de patrones produce un corrimiento hacia el sur de la trayectoria de las tormentas (Trenberth and Guillemot, 1996). Durante esta etapa la zona productora de los Estados Unidos registra una de los mayores valores de precipitación del período de análisis.

En el HS en los meses previos (*g-h*) a la campaña la sucesión de centros de anomalías es más clara que en el año 1988, ubicándose principalmente en el sur del continente un centro de anomalías negativas de altura geopotencial.

En octubre (*j*), noviembre (*k*) y diciembre (*l*) en el HN se desarrolla la cosecha, el campo de anomalías de altura geopotencial muestra un tren de ondas que comienza a reorganizarse e intensificarse, exhibiendo el patrón visto para los años húmedos. A lo largo de estos meses la zona núcleo de producción registra el máximo acumulado de precipitación para una cosecha durante el período de análisis. El producirse este extremo de precipitación a lo largo de esta etapa puede explicar el bajo nivel de rendimiento que se alcanza al finalizar la cosecha, ya que ambos cultivos necesitan mayores precipitaciones en la siembra y en la floración y menores a lo largo de los últimos meses.

En el HS en septiembre (*i*), octubre (*j*) y noviembre (*k*) se desarrolla la siembra, en estos meses se observa la presencia de un tren de ondas (similar a un patrón PSA) que comienza muy bien definido, pero con los meses se va desdibujando, pero no muestra un desplazamiento ya que principalmente el sur del continente se ve afectado por anomalías positivas de altura geopotencial.

La floración del HS comprende diciembre 2008 (*l*) y enero (*m*), febrero 2009 (*n*), en el primer mes el campo es similar a lo que se registra durante la siembra (anomalías positivas al sur y negativas al norte del continente), pero en el último mes se observa un cambio abrupto en donde un centro de anomalías negativas comienza a alongarse desde el océano Pacífico sur llegando hasta el continente. Esta presencia de anomalías positivas al sur del continente estaría generando un corrimiento hacia el sur de la trayectoria de las tormentas.

En la cosecha (*o-p-q*) nuevamente se ve la alternancia de centros, producto del desplazamiento del tren de ondas que se origina en el Pacífico tropical.

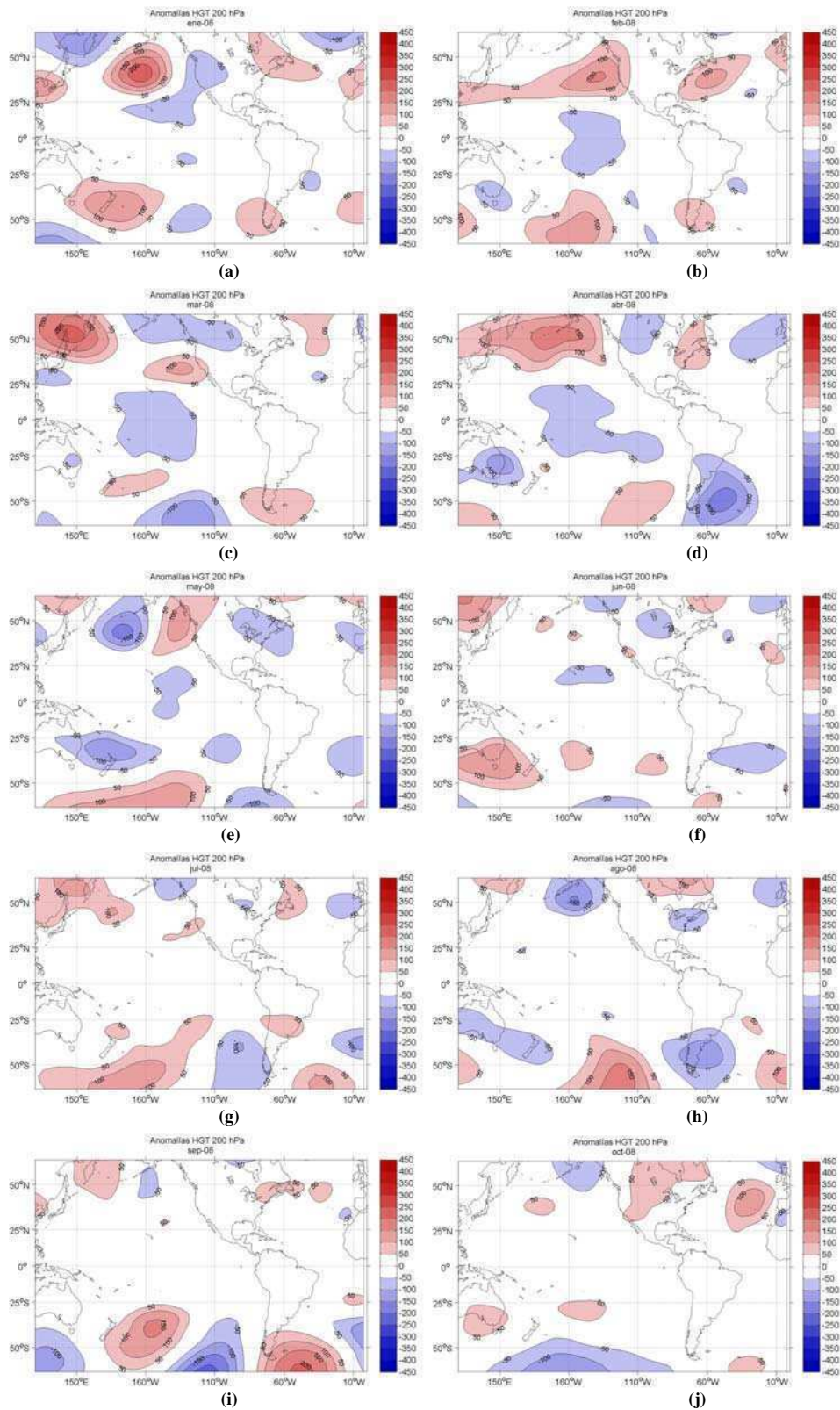


Figura 5.2.4: Campos mensuales de las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa. Unidad metros geopotenciales. (Período Enero 2008 - Junio 2009).

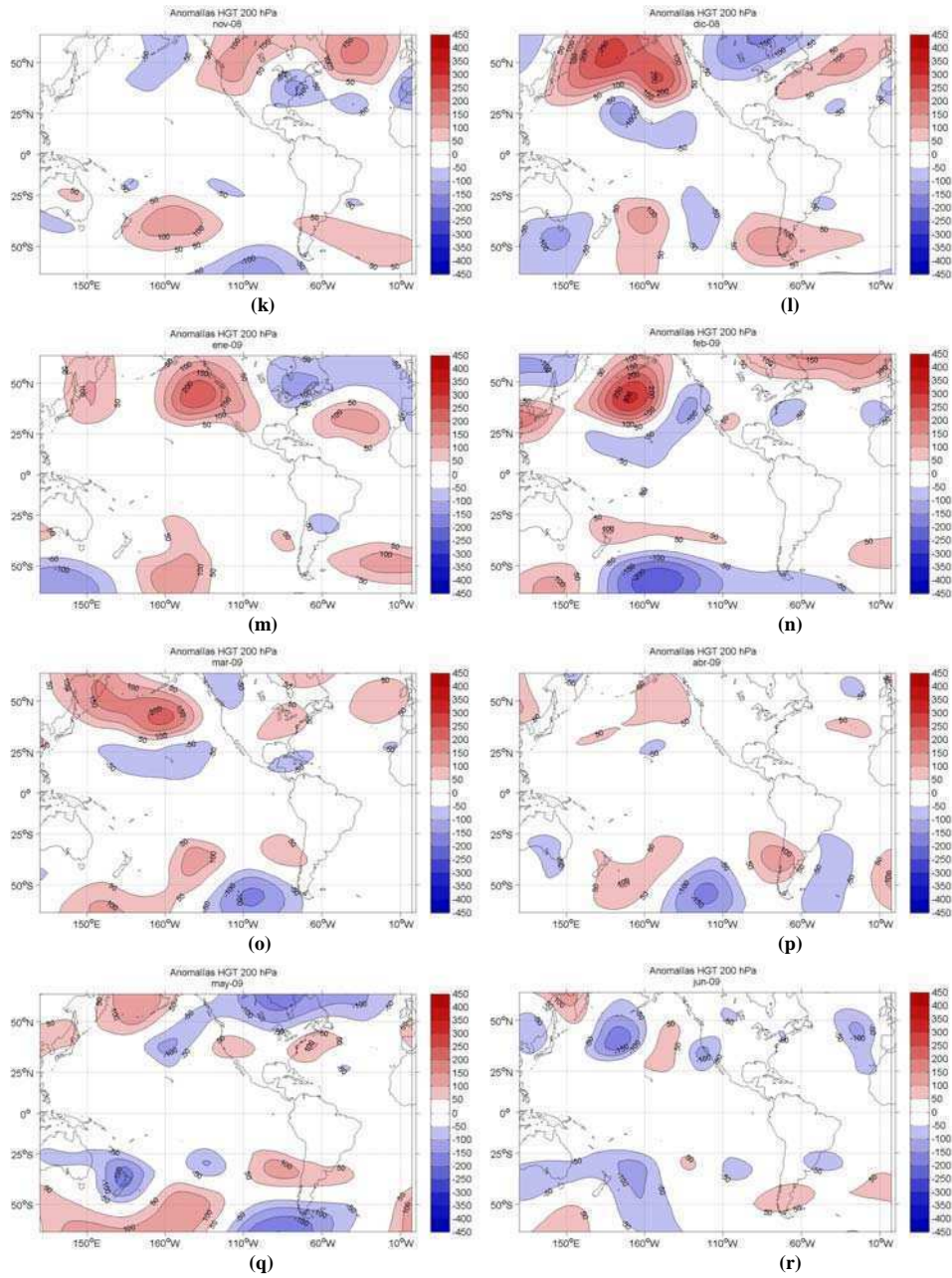


Figura 5.2.4 (continuación): Campos mensuales de las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa. En unidades de metros geopotenciales. (Período Enero 2008 - Junio 2009).

Anomalías de SST

En esta oportunidad la evolución de la SST en el Pacífico tropical es diferente a la vista para los años 1988-89 en donde en los dos hemisferios se registran importantes sequías en las zonas de mayor producción. (Figura 5.2.5).

En el comienzo del período (*a-b-c*) el océano Pacífico ecuatorial muestra temperaturas menores a los valores normales en el centro-este y superiores en el lado oeste, un clásico comportamiento en la temperatura superficial del mar durante los eventos de La Niña. Con el correr de los meses se observa un surgimiento desde la costa americana de un pequeño centro de anomalías positivas que se mantienen durante la mayor parte de la campaña en el HN (*g-h-i*). Este tipo de campos, principalmente el que se observa durante los meses de siembra y floración, es similar al hallado por Trenberth and Guillemot (1996) para la inundación de 1993 que afectó gran parte de norte América.

Hacia finales del año 2008 (*j-k*) las anomalías positivas pierden intensidad, por lo que nuevamente se encuentran temperaturas más frías en el Pacífico ecuatorial. Este tipo de anomalías se producen en los meses críticos para la campaña en el HS. El campo observado no llega a ser el “típico” patrón de la Niña encontrado en el análisis del año 1988-89. En esta oportunidad el déficit en la precipitación no esta tan claramente asociado a lo que sucede en el Pacífico ecuatorial, pero si se toma en cuenta lo hallado por Díaz *et al.* (1998), que SST más frías que lo normal en la zona de la SACZ producen una disminución en la precipitación en el sudeste de Sudamérica, se puede llegar a explicar el comportamiento de la precipitación en Argentina y Brasil.

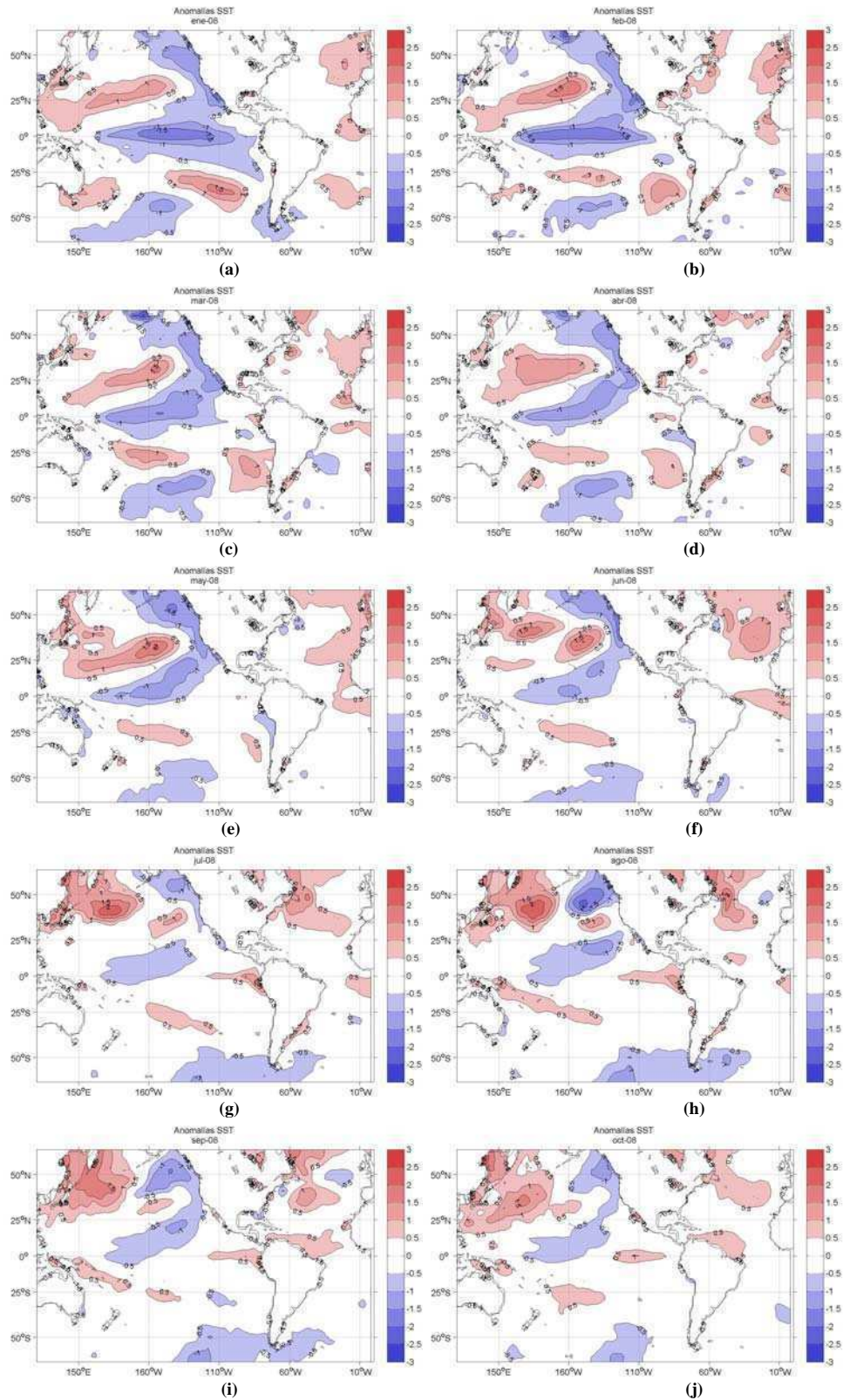


Figura 5.2.5: Campos mensuales de anomalías de SST. Unidad $^{\circ}$ C. Período Enero 2008 – Junio 2009.

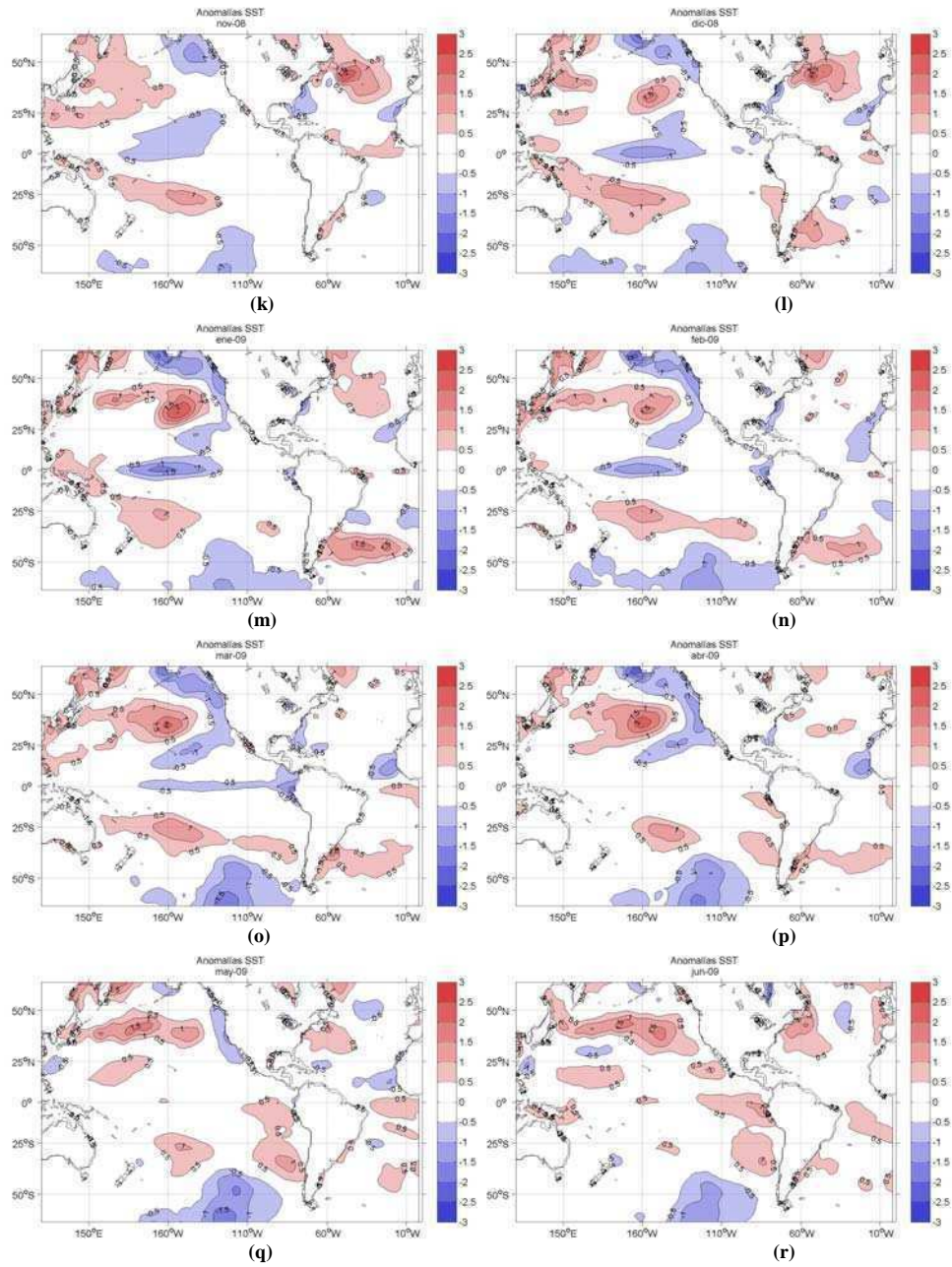


Figura 5.2.5 (continuación): Campos mensuales de anomalías de SST. Unidad °C. Período Enero 2008 – Junio 2009.

Anomalías de OLR

En la Figura 5.2.6 se presentan los campos mensuales de anomalías de OLR. Los primeros meses se caracterizan por presentar la convección en el océano Pacífico oeste, dejando la zona central libre de convección (anomalías positivas de OLR). Esta configuración en forma de dipolo se mantiene con intensidad hasta mediados de año (junio *(g)*). Pero hacia finales de año se vuelve a organizar comenzando el año 2009 nuevamente con la convección relegada a la zona del Pacífico oeste.

En esta oportunidad a nivel local en el HN la campaña comienza con la presencia de anomalías positivas que dejan lugar a anomalías de signo contrario en los meses de la floración, por lo que se puede asociar estas anomalías negativas a una zona de convección que dio lugar a precipitaciones en la zona de producción de Estados Unidos.

Mientras que en el HS a lo largo de la campaña que comienza en el mes de septiembre *(i)* siempre están presentes anomalías de signo positivo, a las cuales se las asocia con escasa actividad convectiva y por lo tanto con un déficit en la precipitación.

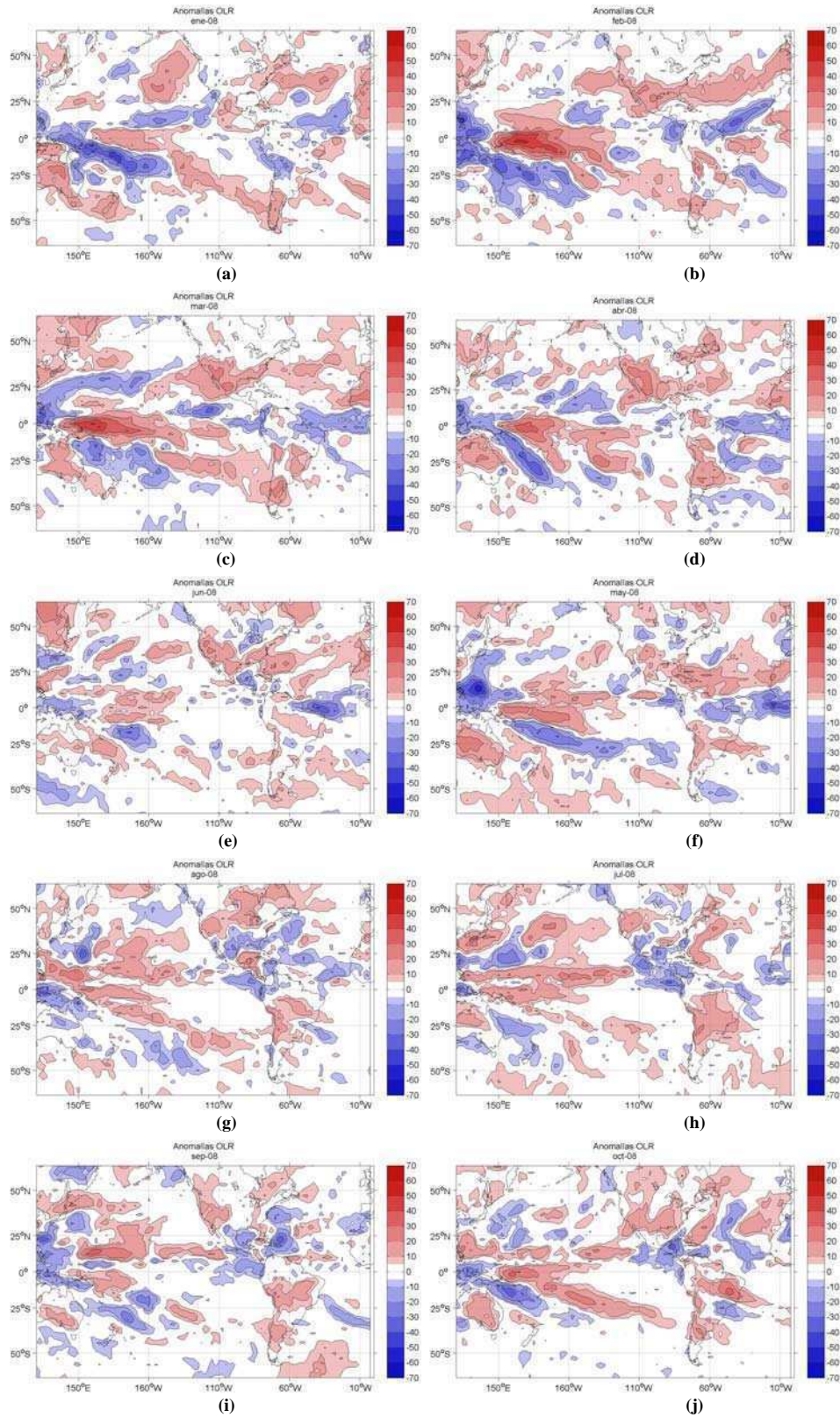


Figura 5.2.6: Campos mensuales de anomalías de OLR. Enero 2008 – Junio 2009. (W/m^2)

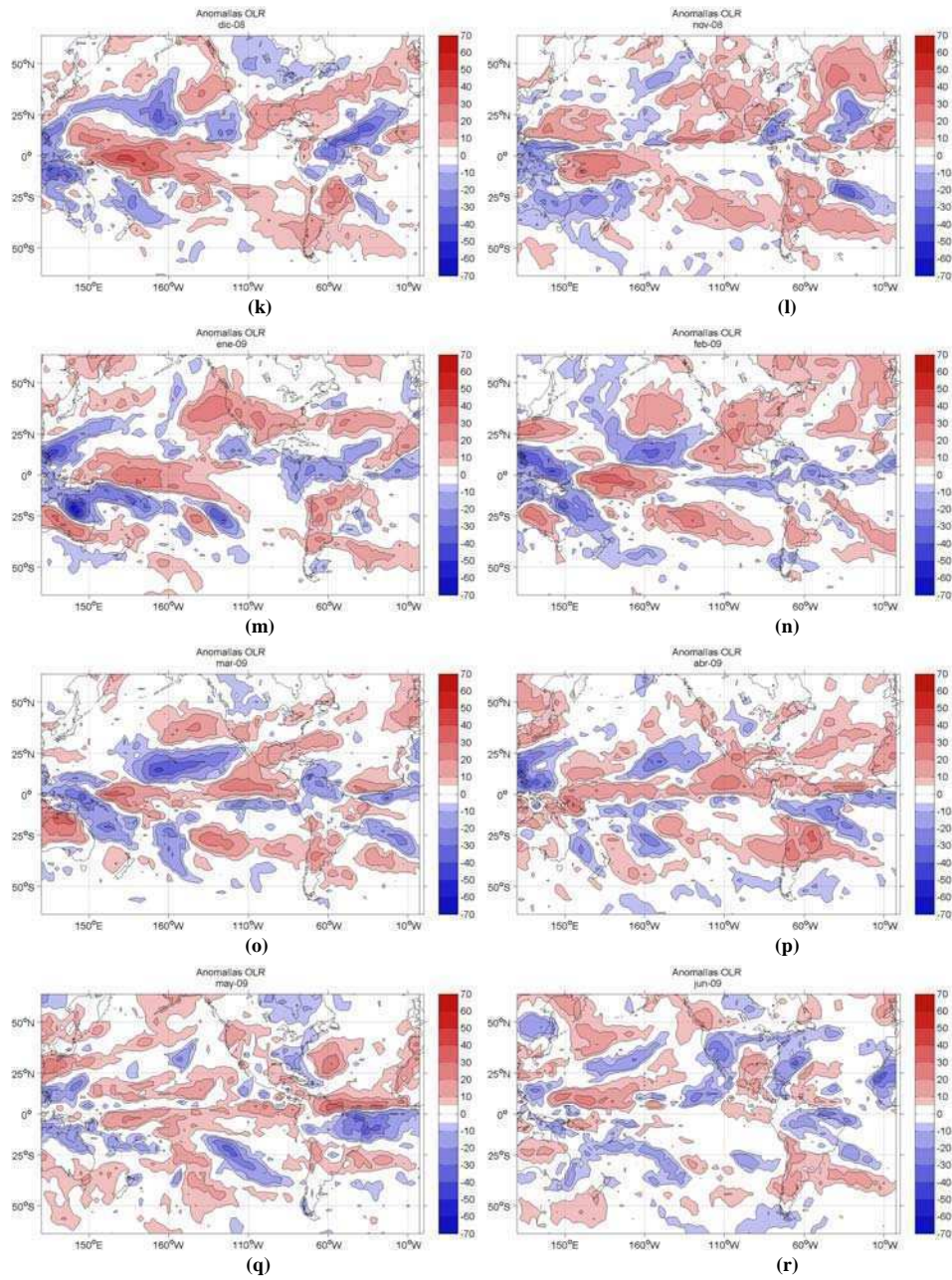


Figura 5.2.6 (continuación): Campos mensuales de anomalías de OLR. Enero 2008 – Junio 2009. (W/m^2)

Características generales

En lo que concierne a la actividad en los trópicos el período de análisis está caracterizado por condiciones variables en el Pacífico tropical. El año 2008 comienza con un episodio de La Niña muy intenso que finaliza en el mes de junio, para dar lugar a condiciones neutrales en el índice del ENSO desde la mitad del año, pero nuevamente desde diciembre de 2008 retornan las condiciones de un evento de La Niña. (Fuente: Climate Analysis Section NCAR – www.cgd.ucar.edu).

En los primeros meses del año se puede observar como la SST presenta anomalías negativas mayores a 1,5° C. En los meses siguientes se observa un calentamiento que surge desde las costas de América que se extiende hacia el oeste contribuyendo de esta forma al debilitamiento de La Niña desde el mes de julio. A partir del mes de diciembre se vuelven a observar las anomalías negativas en la SST en el Pacífico ecuatorial.

En lo que concierne a la convección al comienzo del año esta suprimida en la parte central y este del Pacífico ecuatorial y favorecida sobre Indonesia. Este patrón asociado a los eventos de La Niña, refleja la contracción de la convección en el Pacífico oeste y la inhibición de la misma en la zona central. Con el correr de los meses este patrón se debilita mostrando zonas poco definidas, pero desde finales del año 2008 el dipolo de convección sobre el oeste y la ausencia de la misma en el centro-este del Pacífico se vuelve a establecer, dando nuevamente lugar a una conducta típica de La Niña.

En los campos de anomalías de altura geopotencial en niveles altos de la atmósfera se observa para los primeros meses anomalías negativas en la zona central y este del Pacífico y anomalías positivas en la zona de Indonesia, mostrando un típico patrón de asociado a La Niña. Con el transcurso de los meses este patrón pierde intensidad coincidiendo con el debilitamiento de La Niña, para volver a establecerse al finalizar el año 2008.

5.3. Discusión general del capítulo

Los aspectos analizados de la climatología sinóptica en este capítulo muestran diferentes *patterns* de excesos y déficits de precipitación en las tres regiones exportadoras, como característica común se halla que los campos de anomalías de altura geopotencial en 200 hPa son estacionarios en alguna de las etapas que componen la campaña y presentan un centro de anomalías positivas posicionado en el sur de Sudamérica o el centro de Norteamérica, de tal forma que se altera la normal trayectoria de los sistemas sinópticos.

Los tres países muestran un enfriamiento en la SST en la cuenca del Pacífico ecuatorial (asociado a eventos Niña), siendo el caso de Brasil el mejor definido, ya que los años secos están directamente relacionados a eventos Niña y los húmedos a Niño. En los campos de anomalías de OLR de Brasil se refleja el típico patrón de convección asociada a un evento Niña en la región del Pacífico, mientras que en Argentina y Estados Unidos no es evidente.

Dado que los riesgos de ocurrencia conjunta de excesos y déficit de la precipitación y de bajos y altos rendimientos, entre los tres países están caracterizados por muy baja probabilidad, y que lo anterior no excluye la ocurrencia conjunta de algunos eventos particulares. Se analizan dos casos más notables en el período de estudio: la sequía del año 1988-89 que afecta tanto a Estados Unidos como a Argentina y Brasil. Y el evento de 2008-09 caracterizado por una sequía en Argentina y Brasil y un exceso de precipitación en Estados Unidos, ocasionando este último evento de bajos rendimientos en Argentina y Estados Unidos.

Es necesario el estudio de estos eventos conjuntos ya que si los mismos son prolongados en el tiempo pueden llegar a provocar bajas en las reservas mundiales y en los saldos exportables de alimentos, pudiendo ocasionar crisis alimentarias y económicas en los diferentes países.

Observar las futuras situaciones climáticas permitiría modificar las decisiones para disminuir los impactos desfavorables en los cultivos. El comprender las interacciones existentes entre los océanos tropicales y la atmósfera y monitorearlas nos brindará las herramientas necesarias para la predicción de las variaciones del clima en los meses subsiguientes. Como ya se mostró en este capítulo el fenómeno de La Niña se inicia en el Pacífico tropical y domina los cambios que se producen en la circulación de las zonas productoras analizadas, provocando importantes repercusiones socioeconómicas.

Conclusiones

Es conocido el impacto que tiene la variabilidad del clima sobre los saldos exportables de maíz y soja en los países productores y exportadores. Ese impacto es importante porque ambos cultivos producen materias primas para alimentación, combustible e industria. Esta situación obliga a estudiar la variabilidad climática y de los rendimientos en los principales países productores y exportadores. Los países que se estudian en este trabajo son: Argentina, Brasil, Estados Unidos y China.

Por otra parte, una motivación importante para este estudio es que un país productor como la Argentina forzosamente debe incluir en sus tareas cotidianas el monitoreo de las condiciones climáticas en los países señalados, por estar directamente relacionadas a los valores económicos de sus exportaciones.

Esto implica el desarrollo de diagnósticos y pronósticos climáticos estacionales o por etapas de cultivo y la extrapolación o estimación de los rendimientos en diversas escalas espaciales. Todo ello expresado en un lenguaje tal que permita la utilización de los resultados en las decisiones a tomar contemplando la gran variedad de usuarios que requieren esta información.

Este estudio pretende tipificar los regímenes climáticos de cada región de los cuatro países tratando de lograr el mayor grado de homogeneidad y representatividad regional de los rendimientos y de las variables climáticas medidas por las estaciones. Posteriormente se ocupa de estudiar la variabilidad conjunta tomando como unidad de interés las campañas y las etapas de cultivo. Esto arroja la necesidad de dividir en grupos de estaciones. El requisito de representar los efectos en forma areal para poder ser relacionados con el rendimiento obliga a un análisis de la variabilidad de las series en función de varios efectos (diferentes estaciones, diferentes etapas, condicionamientos del rendimiento). Los resultados de ello y los de análisis de correlación simple entre las variables climáticas y de los cultivos demuestran la necesidad de una representación de la serie de rendimientos mediante modelos de correlación múltiple coincidiendo con la mayoría de los antecedentes bibliográficos.

Visto que el mayor impacto sobre los rendimientos de los cultivos en los países está dado por los extremos en las variables climáticas y como un aporte al estudio de la climatología sinóptica se sintetiza la circulación asociada a los eventos secos y húmedos por regiones. Esto lleva a dilucidar cual es el grado de coherencia entre extremos climáticos y rendimientos entre países. Los resultados dan una estimación de los riesgos de extremos conjuntos entre países. Independientemente de las estimaciones de estos riesgos se estudian dos casos particulares de extremos intensos que afectaron a Argentina, Estados Unidos y Brasil, que impactaron notablemente en los rendimientos.

En cuanto a los resultados arribados, si se toma como una síntesis climática las representaciones de la variabilidad anual de la precipitación en función de la temperatura máxima, se puede concluir que las regiones de los cuatro países difieren en los rangos de variabilidad de ambas variables. Sin embargo, cuando se seleccionan zonas núcleo de producción los rangos son similares. Las zonas núcleo surgidas del agrupamiento por *clusters* muestran que el rango de las temperaturas máximas es de 19° a 31° C en Argentina, 20° a 30° C en Brasil, 15° a 32° C en Estados Unidos y 10° a 32° C en China. En cuanto a las precipitaciones los acumulados mensuales varían entre: 40 y 150 milímetros en Argentina, 100 y 150 milímetros en Brasil, 80 y 120 milímetros en Estados Unidos y 40 y 170 mm. en China. Esto demuestra que a pesar de la versatilidad de estos cultivos en cuanto a su crecimiento en climas diferentes, las zonas de máxima producción tienen un *pattern* específico.

Dada la necesidad de expresar la precipitación y la temperatura en forma areal, en el estudio de los efectos que explican la variabilidad espacial se encuentra que dentro de cada región existen agrupamientos homogéneos de estaciones en donde los acumulados de precipitación no presentan diferencias. Por último en el análisis de una etapa influyente para determinar el tipo de rendimiento se halla que en la mayoría de las situaciones son las precipitaciones que se producen durante la floración las que determinan la categoría de rendimiento de la campaña. Este resultado usando variables climáticas es coincidente con lo que presenta lo experimentado en escalas micro-climáticas.

Con fin de buscar patrones de ajuste del rendimiento mediante variables climáticas en los cuatro países se encuentra que una regresión múltiple ajusta en buen grado los rendimientos señalados. Esto surge como necesidad de verificar que las variables por si solas (por campañas o etapas) no explican en forma significativa los rendimientos.

La utilización de las variables climáticas evaluadas en las diferentes etapas para la estimación de rendimientos arroja mejores resultados que si solo se emplea un valor por campaña, como era de prever después de lo obtenido en el análisis de varianza.

Los aspectos de la climatología sinóptica que se desarrollan muestran que los *patterns* de excesos y déficits de precipitación en las tres regiones exportadoras en los campos de anomalías de altura geopotencial en 200 hPa son estacionarios en alguna de las etapas que componen la campaña.

En Brasil los años secos están directamente relacionados a eventos Niña y los húmedos a Niño, mientras que en Argentina y Estados Unidos esta relación no es tan excluyente.

Los campos de anomalías de OLR de Brasil reflejan el típico patrón de convección asociada a un evento Niña en la región del Pacífico, mientras que en Argentina y Estados Unidos no es evidente.

Durante estos eventos para los tres países se observa un enfriamiento en la SST en la cuenca del Pacífico ecuatorial (asociado a eventos Niña), siendo el caso de Brasil el mejor definido, por la situación antes descrita.

Al no existir asociación entre los rendimientos y precipitación de Argentina y Estados Unidos (campañas previas y siguientes de Estados Unidos respecto de Argentina), esto indicaría que los riesgos de ocurrencia conjunta de excesos y déficit de la precipitación y de bajos y altos rendimientos están caracterizados por muy baja probabilidad.

Lo anterior no excluye la existencia conjunta de algunos eventos de mínima precipitación y bajos rendimientos que constituyen los pocos casos de ocurrencia simultánea. Cabe mencionar que la correspondencia existente entre mínimos de precipitación y bajos rendimientos, no se registra entre altos rendimientos y máximas precipitaciones; ya que los altos rendimientos también están asociados a condiciones medias de precipitación.

Los dos casos más notables en el período de estudio son: la sequía del año 1988-89 que afecta tanto a Estados Unidos como a Argentina y Brasil. Y el evento de 2008-09 caracterizado por una sequía en Argentina y Brasil y un exceso de precipitación en Estados Unidos, ocasionando este último evento bajos rendimientos en Argentina y Estados Unidos. En 1988-89 el enfriamiento anómalo del Pacífico ecuatorial asociado con un cambio en la zona de convergencia (ITCZ) son los forzantes iniciales que generaron el tren de ondas permanece cuasi estacionario durante los meses de verano del HN (meses críticos) con un sistema de anomalías positivas de la altura geopotencial en la alta atmósfera que provoca un

corrimiento hacia el norte de la corriente en chorro y de las trayectorias de las tormentas. En el HS este mismo forzante provoca el establecimiento en los meses críticos de un centro de anomalías positivas en el sur del continente que inducen un efecto similar al detallado para el HN. Como característica general se percibe un centro de anomalías positivas posicionado en el sur de Sudamérica o el centro de Norteamérica) de tal forma que altero la normal trayectoria de los sistemas sinópticos.

El año 2008-09 refleja ciertas diferencias con el evento del año 1988-89. Aquí La Niña es más débil y se interrumpe durante la segunda mitad del año para volver a reaparecer a comienzos de 2009. Esto origina sequías en Argentina y Brasil y excesos de precipitación en Estados Unidos principalmente durante la cosecha lo que explica la coincidencia de bajos rendimientos en Argentina y Estados Unidos.

Este trabajo relaciona la precipitación y las temperaturas extremas con el fin de encontrar un diagnóstico para modelos de ajuste del rendimiento que puedan luego ser completados con la introducción de otros factores que hacen a los aspectos antropogénicos de la producción. Por otra parte intenta discriminar las distintas zonas homogéneas en las condiciones climáticas con que cuentan los países productores de maíz y soja. Así mismo, se internaliza en las situaciones climáticas que constituyen ejemplos de alto impacto negativo sobre los rendimientos con el fin de mostrar la conveniencia de potenciar investigaciones mediante una entidad dedicada al monitoreo de las variables que aquí se tratan. A pesar de que los impactos negativos conjuntos en los rendimientos de los países exportadores tienen baja probabilidad de ocurrencia es importante monitorear y estudiar los casos en que las situaciones climáticas influyen negativamente en el rendimiento de los tres países exportadores.

Como trabajo a futuro se prevé analizar los riesgos de condiciones adversas y condiciones beneficiosas e intermedias tomando en cuenta los intereses de la Argentina en lo que hace al valor de sus exportaciones a nivel internacional.

Referencias

- Adams, R., Hurd, B., Lenhart, S. and Leary, N. 1998. Effects of Global Climate Change on Agriculture: an Interpretative Review. *Climate Research* **11**: 19-30.
- Alessandro, P. 2003. The influence of blocking events on temperature and precipitation in Argentina during the 1990s. *Meteorológica* **28**:39-52.
- Alessandro, P. y Lichtenstein, E., 1996. Situación sinóptica asociada a la sequía del invierno de 1995. *Geofísica*, N° 45.
- Alexandrov, V. and Hoogenboom, G. 2001. Climate Variation and Crop Production in Georgia, USA during the Twentieth Century. *Climate Research* **17** (1): 33-43.
- Barnston, A. and Livezey, R. 1987. Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review* **115**: 1083-1126.
- Barros, V., Gonzalez, M., Liebmann, B. and Camilloni, I. 2000. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic Sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in Southeastern South America. *Theoretical and Applied Climatology* **67**: 123-133.
- Barros, V. and Silvestri, G. 2002. The Relation between Sea Surface Temperature at the Subtropical South-Central Pacific and Precipitation in Southeastern South America. *Journal of Climate* **15**: 251-267.
- Barrucand, M. Vargas, W. and Rusticucci, M. 2007. Dry conditions over Argentina and related monthly circulation patterns. *Meteorology and Atmospheric Physics* **98**: 99-114.

- Brooks, C. and Carruthers, N. 1953. Handbook of Statistical Methods in Meteorology. *Ed. Her Majesty's Stationery Office*, London. 412 pp.
- Carvalho, L., Jones, C. and Lebnann, B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationship with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. *Journal of Climate* **17**: 88-108.
- Changnon, S. and Kunkel, K. 1999. Rapidly expanding uses of climate data and information in agriculture and water resources: causes and characteristics of new applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **80**: 821-830.
- Chmielewski, F. and Potts, J. 1995. The relationship between crop yields from an experiment in southern England and long-term climate variations. *Agricultural and Forest Meteorology* **73**: 43-66.
- Davis, F. and Pallesen, J. 1940. Effects of the Amount and Distribution of Rainfall and Evaporation during the Growing Season on Yields of Corn and Spring Wheat. *Journal Agricultural Research* **60**: 1-23.
- Diaz, A., Studzinski, C. and Mechoso, C. 1998. Relationship between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. *Journal of Climate* **11**: 251-271.
- FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org>
- Fraisse, C., Cabrera, V., Breuer, N., Baez, J., Quispe, J. and Matos, E. 2007. El Niño – Southern Oscillations influences on soybean yields in eastern Paraguay. *International Journal of Climatology* **28**: 1399-1407.
- Franchito, S., Brahmamanda Rao, V., Gan, M. and Santo, C. 2010. Onset and end of the rainy season and corn yields in Sao Paulo State, Brazil. *Geofísica Internacional* **49** (2): 69-76.
- Garcia, P., Offutt, SE., Pinar, M. and Changnon, SA. 1987. Corn Yield Behavior: Effects of Technological Advance and Weather Conditions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **26**: 1092-1102.

- Grimm, A., Ferraz, S. and Gomes, J. 1998. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate* **11**:2863-2880.
- Hansen, J., Hodges, A. and Jones, J. 1998. ENSO influences on agriculture in the southeastern United States. *Journal of Climate* **11**: 404-411.
- Hazell, P.B.R. 1985. Sources of Increased Variability in World Cereal Production since the 1960s. *Journal of Agricultural Economics* **36**: 145-159.
- Hill, RW., Johnson, DR. and Ryan KH. 1979. A model for predicting soybean yields from climatic data. *Agronomy Journal* **71**: 251-256.
- Hoel, P. 1976. Introducción a la estadística Matemática. *Editorial Ariel*, Barcelona. 431 pp.
- Hu, Q. and Buyanovsky, G. 2003. Climate Effects on Corn Yield in Missouri. *Journal of Applied Meteorology* **42**: 1626-1635.
- Hurtado, R., Spescha, L. Fernández Long, M. y Murphy, G. 2003. Evaluación del ENSO como predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Argentina) *Revista de la Facultad de Agronomía* **23** (2-3): 131-139.
- Hymowitz, T. 2004. Speciation and cytogenetics. In: Boerma HR, Specht JE (eds) Soybeans: Improvement, Production, and Uses. *Agronomy Monographs*, 3rd ed. No. 16, ASACSSA-SSSA, Madison,WI, pp 97–136
- Infante Gil, S. y Zárate de Lara, G. 1984. Métodos Estadísticos. Un Enfoque Interdisciplinario. *Editorial Trillas*, México. 643 pp.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, M., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. and Joseph, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society* **77** (3): 437-471.
- Kucharik, C. and Serbin, S. 2008. Impacts of Past and Future Changes in Climate and Atmospheric CO₂ on Wisconsin Agriculture. Executive Summary October 2008. *Environmental and Economic Research and Development Program*. 6pp.

- Labraga, J., Scian, B. and Frumento, O. 2002. Anomalies in the atmospheric circulation associated with the rainfall excess or deficit in the Pampa Region in Argentina. *Journal of Geophysical Research* **107**: 1-15.
- Lau, K. and Sheu, P. 1988. Annual cycle, quasi-biennial oscillation, and Southern Oscillation in global precipitation. *Journal Geophysical Research* **93**: 10975-10988.
- Liebmann, B., Kiladis, G., Marengo, J., Ambrizzi, T. and Glick, J. 1999. SUBmonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic Converge Zone. *Journal of Climate* **12**: 1877-1891.
- Liu, A., Ting, M. and Wang, H. 1998. Maintenance of Circulation Anomalies during the 1988 Drought and 1993 Floods over the United States. *Journal of the Atmospheric Sciences* **55**: 2810-2832.
- Llano, M., Vargas, W. and Naumann, G. 2011. Climate variability in areas of the world with high production of Soya beans and Corn. Its relationship to crop yields. *Meteorological Applications*. DOI 10.1002/met.270.
- Lobell, D.B., Cahill, K.N. and Field, C.B. 2007. Historical Effects of Temperature and Precipitation on California Crop Yields. *Climate Change* **81**: 187-203.
- Magrin, G., Travasso, M. and Rodríguez, G. 2005. Changes in Climate and Crop Production During the 20th Century in Argentina. *Climatic Change*. **72** (1-2): 229-249.
- Malaka, I. y Núñez, S., 1980. Aspectos sinópticos de la sequía que afectó a la República Argentina en 1962. *Geoacta* **10**, N° 2, 1-22.
- Martinez, C. and Jones, J. 2011. Atlantic and Pacific sea surface temperatures and corn yields in the southeastern USA: lagged relationships and forecast model development. *International Journal of Climatology* **31**: 592-604.
- Minetti, J. y Lamelas, C. 1995. Respuesta Regional de la Soja en Tucumán a la Variabilidad Climática. *Revista Industrial y agrícola de Tucumán* **72** (1-2): 63-68.
- Minetti, J., Vargas, W. Vega, B. Y Costa, M. 2007. Las Sequías en la Pampa Húmeda: Impacto en la Productividad del Maíz. *Revista Brasileira de Meteorología* **22**: 218-232.

- Mishra, V. and Cherkauer, K. 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: Implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States. *Agricultural and Forest Meteorology* **150**: 1030-1045.
- Mo, K. and Higgins, W. 1998. The Pacific South American Modes and Tropical Convection during the Southern Hemisphere Winter. *Monthly Weather Review* **126**: 1581-1596.
- Naumann, G., Vargas, W. and Minetti, L. 2008. Estudio de secuencias secas en la Cuenca del Plata. Implicancias con las sequías. *Meteorológica* **32**: 65-81.
- Nogues-Paegle, J. and Mo, K. 1997. Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. *Monthly Weather Review* **125**: 279-291.
- Panofsky, H. and Brier, G. 1965. Some Applications of Statistics to Meteorology. Ed. *Pennsylvania State University*. 224 pp.
- Penalba, O., Bettolli, M. y Vargas, W. 2007. The Impact of Climate Variability on Soybean Yields in Argentina. Multivariate Regression. *Meteorological Applications* **14**: 3-14.
- Phillips, J. Rajagopalan, B. Cane, M. and Rosenzweig, C. 1999. The role of ENSO in determining climate and maize yield variability in the U.S. Cornbelt. *International Journal of Climatology* **19**: 877-888.
- Podestá, G., Messina, C., Grondona, M. and Magrin, G. 1999. Associations between Grain Crop Yields in Central Eastern Argentina and El Niño Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology* **38**: 1488-1498.
- Prohaskaf, F. 1976. The Climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. *Climates of Central and South America*. World Survey of Climatology **12**: 532 pp.
- Robb, A. 1934. The Critical Period of Corn in Northeastern Kansas. *Monthly Weather Review* **62**: 286-289.
- Rocca da Cunha, G., Dalmago, G.A. and Estefanel, V. 1999. ENSO Influences on wheat Crop in Brazil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* **7**: 127-138.

- Rodríguez Puebla, C., Encinas, A. y Frías, M. 2004. Relaciones entre la variabilidad climática y la productividad de trigo en España. *Física de la Tierra* **16**: 1-13.
- Ropelewski, C. and Halpert, M. 1989. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate* **2**: 268-284.
- Ropelewski, C. and Halpert, M. 1996. Quantifying Southern Oscillation – Precipitations Relationships. *Journal of Climate* **9**: 1043-1059.
- Rose, J.K. 1936. Corn Yield and Climate in the Corn Belt. *Geographical Review* **26**: 88-102.
- Sierra, E. and Brynsztein, S. 1989. Wheat Yield Variability in the SE of the Province of Buenos Aires. *Agriculture and Forest Meteorology* **49**: 281-290.
- Sierra, E. y Murphy, G. 1983. Variabilidad del rendimiento del maíz en la región maicera argentina. *Meteorológica* **XIV**: 73-85.
- Smit, B. and Yunlong, C. 1996. Climate Change and Agriculture in China. *Global Environmental Change* **6** N° 3:205-214.
- Smith, JW. 1914. The Effect of Weather upon the Yield of Corn. *Monthly Weather Review* **42**: 78-93.
- Sonka, S.T., Changnon, S.A. and Hofing, S. 1988. Assessing Climate Information Use in Agribusiness. Part II: Decision Experiments to Estimate Economic Value. *Journal of Climate* **1** N°8: 766-774.
- Tannura, M.A., Irwin S. H. and Good, D. L. 2008. Weather, Technology, and Corn and Soybean Yields in the U.S. Corn Belt. *Marketing and Outlook Research Report 2008-01*, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Trenberth, K., Branstator, G. and Arkin, P. 1988. Origins of the 1988 North American Drought. *Science* **242**: 1640-1645.
- Trenberth, K. and Branstator, G. 1992. Issues in Establishing Causes of the 1988 Drought over North America. *Journal of Climate* **5**: 159-172.

- Trenberth, K. and Guillemot, C. 1996. Physical Processes Involved in the 1988 Drought and 1993 Floods in North America. *Journal of Climate* **9**: 1288-1298.
- Trenberth, K., Branstator, G., Karoly, D., Kumar, A., Lau, N. and Ropelewski, C. 1998. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research* **103**: 14291-14324.
- Thompson, L.M. 1969. Weather and Technology in the Production of Corn in the U. S. Corn Belt. *Agronomy Journal* **61**:453-456.
- Thompson, L.M. 1970. Weather and Technology in the Production of Soybean in the Central U. S. Corn Belt. *Agronomy Journal* **62**: 232-236.
- Thompson, L.M. 1986. Climatic Change, Weather Variability, and Corn Production. *Agronomy Journal* **78**: 649-653.
- Travasso, M., Magrin, G. and Rodríguez, G. 2003. Relations between Sea-Surface Temperature and Crop Yields in Argentina. *International Journal of Climatology* **23**: 1655-1662.
- USDA. 2004. Major World Crop Areas and Climatic Profiles. *Agricultural Handbook N° 664*. pp. 293.
- Vargas, W., Naumann, G. and Minetti, L. 2011. Dry spells in the River Plata Basin: an approximation of the diagnosis of droughts using daily data. *Theoretical Applied Climatology* **104**: 159-173.
- von Storch, H. and Zwiers, F. 1999. Statistical analysis in climate research. Cambridge University press. 484 pp.
- Wallace, H.A. 1920. Mathematical Inquiry into the Effect of Weather on Corn Yield in the Eight Corn Belt States. *Monthly Weather Review* **48**: 439-446.
- Wilks, D. 2006. Statistics Methods in the Atmospheric Sciences. *International Geophysics Series* **91**. Ed. Elsevier.

Wren, HB. 1901. Climate and Corn. *Monthly Weather Review* **29**: 8-14.

Zebiak, S. 1993. Air-Sea Interaction in the Equatorial Atlantic Region. *Journal of Climate* **6**:
1567-1586.