

ASPECTOS DE LA CLIMATOLOGÍA Y DE LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ Y SOJA EN GRANDES ZONAS PRODUCTORAS MUNDIALES

María Paula LLANO – Walter VARGAS
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos – UBA – CONICET
Buenos Aires – Argentina
mpllano@at.fcen.uba.ar, vargas@at.fcen.uba.ar

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 algunos de los principales países productores y exportadores (Argentina, Brasil, Estados Unidos y China).

En el presente estudio se pretende tipificar los regímenes climáticos de cada región, buscando el mayor grado de homogeneidad y representatividad regional de los rendimientos y de las variables climáticas. Se analiza la variabilidad de las series en función de varios efectos (diferentes estaciones, diferentes etapas de desarrollo, condicionamiento del rendimiento). Visto que el mayor grado de impacto sobre los rendimientos de los cultivos esta dado por los extremos en las variables climáticas se sintetiza la circulación asociada a los eventos secos y húmedos por regiones como un aporte al estudio de la climatología sinóptica y con el objetivo de desarrollar un diagnóstico de las condiciones climáticas en estos países productores y analizar las relaciones con los rendimientos.

Palabras clave: Rendimiento, Extremos, Precipitación, Temperaturas, Variabilidad.

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 analysis of the variability of the series related to several effects (different stations, stages, and yield conditioning). 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.

Key words: Yield, Extremes, Precipitation, Temperatures, Variability.

1. INTRODUCCIÓN

El clima y los rendimientos 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. Conocer el impacto que tiene la variabilidad del clima sobre los saldos exportables de maíz y soja en los países productores y exportadores es necesario, ya que 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.

Dentro de la climatología aplicada existe una importante área de investigación agronómica que se dedica a estudiar las conexiones entre el clima y la productividad de las 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.*, 1998).

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, principalmente a distintos condicionamientos de los rendimientos. Visto que el mayor impacto sobre los rendimientos de los cultivos en los países esta 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.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

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*).

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.

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. (Tabla 1).

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).

MAÍZ	<i>ene</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>abr</i>	<i>may</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>sep</i>	<i>oct</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>
Arg.	F	F	C	C	C				S	S	S	F
Bra.	F	F	F	C	C	C					S	S
USA				S	S	F	F	F	C	C	C	
Chi.N.		S	S	F	F	C	C	C				
Chi.S.		S	S	S	F	F	C	C				

SOJA	<i>ene</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>abr</i>	<i>may</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>sep</i>	<i>oct</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>
Arg.	F	F	F	C	C						S	S
Bra.	F	F	C	C	C						S	S
USA					S	S	F	F	C	C	C	
Chi.				S	S	F	F	F	C	C		

S-siembra **F**-floración **C**-cosecha

TABLA 1: Meses que integran cada una de las etapas de las campañas de maíz y soja en las diferentes regiones de producción.

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 de la energía saliente en un simple balance hídrico general. Los datos fueron obtenidos del Climate Prediction Centre (CPC) del National Centre for Environmental Prediction (NCEP). Los datos de las estaciones meteorológicas empleadas cubren el período de estudio que comprende los años 1979-2009.

La base de datos utilizada 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.

En lo que se refiere a las metodologías empleadas en el estudio, una de ellas es el análisis de varianza. Dado que el mismo tiene dos propósitos: estimar el rol que juegan los diversos factores en la varianza total de la serie de observaciones. Y 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 (con un nivel de significancia del 5%). Este tipo de análisis parece ser el método adecuado para responder una pregunta de especial interés porque hace a la capacidad de diagnóstico y pronóstico de rendimientos, que es saber 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).

3. RESULTADOS

3.1. Análisis climático

Como primer punto de análisis de los aspectos de la climatología se analizan en forma individual las variables climáticas en cada una de las estaciones de referencia. En el mismo se observa la

necesidad de buscar zonas de igual comportamiento, es por ello que mediante clusters se agrupan las estaciones de cada país en dos formas: se las divide en dos grupos y en tres grupos. Dichos grupos se calculan utilizando la variabilidad conjunta de las temperaturas máximas y las precipitaciones durante los meses que integran la campaña del maíz. En las figuras se muestra la campaña del maíz ya que en la mayoría de las zonas la campaña de la soja integra los mismos meses. En círculos de color rojo se indican los meses de la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha.

En la Argentina las formas de variabilidad conjunta son muy similares, la única diferencia que se nota es en los rangos de variación que quedan establecidos por la ubicación geográfica de las estaciones y su régimen climático. Las estaciones que integran el grupo “2/3” son las que mayor homogeneidad presentan, las mismas están ubicadas en la llamada Pampa Húmeda, y en ellas las temperaturas máximas varían entre los 20° a 30° C a lo largo de todos los meses que integran la campaña, mientras que las precipitaciones lo hacen entre los 40 y los 140 milímetros. (Figura 1, sup. izq.).

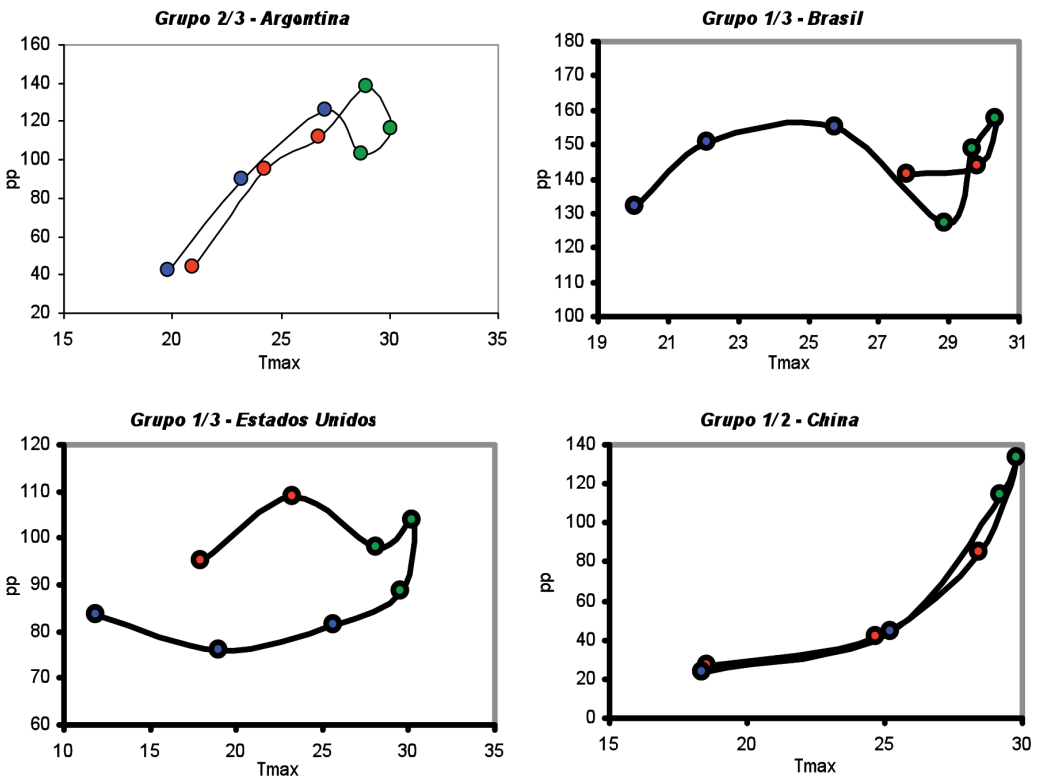


FIG. 1: Evolución conjunta de la precipitación (mm) y la temperatura máxima (°C) para los meses que integran la campaña del maíz. En círculos rojos se indican los meses que integran la siembra, en verde los de la floración y en azul los de la cosecha.

(Sup. izq.: Argentina, sup. der.: Brasil, inf. izq.: Estados Unidos, inf. der.: China).

En el caso de Brasil los distintos agrupamientos presentan un comportamiento muy diferente, en unos varía la precipitación mes a mes y las temperaturas máximas se mantienen en el mismo rango, mientras que en otros sucede completamente lo opuesto. Las estaciones que componen el grupo “1/3” se ubican en la principal zona productora, ellas se caracterizan por una amplia variabilidad en las temperaturas máximas (entre los 20° y los 31° C) a lo largo de la campaña, mientras que las precipitaciones se mantienen casi constantes, cercanas a los 130 milímetros mensuales. (Figura 1, sup. der.).

En los Estados Unidos se presenta una situación similar a la observada en Argentina, las variaciones conjuntas son similares, salvo por los valores que toman debido principalmente a la ubicación de las estaciones. Como grupo característico se puede mencionar al “1/3” ubicado en el centro de las grandes planicies, en este grupo las estaciones presentan temperaturas máximas que oscilan entre los 10° a 29° C y las precipitaciones varían entre los 80 a 110 milímetros durante las tres etapas de la campaña. (Figura 1, inf. izq.).

Por último en China la separación geográfica existente entre las dos zonas de producción se ve reflejada en los agrupamientos de estaciones, en los dos tipos de divisiones las estaciones del norte se separan de las estaciones del sur. En el caso de las estaciones ubicadas en el norte la variabilidad conjunta se caracteriza por temperaturas entre los 18° y los 30° C y precipitaciones entre los 20 y los 140 milímetros, la principal particularidad es que ambas variables se comportan igual en los meses de la siembra y de la cosecha. (Figura 1, inf. der.). En el grupo de estaciones del sur las temperaturas aumentan a lo largo de la campaña desde los 10° C a los 30° C y con las precipitaciones sucede algo similar las mismas se incrementan desde los 40 a los 180 milímetros.

3.2. Componentes de la variabilidad regional

Al realizar el análisis de varianza, se examina si existe una diferencia entre los registros de las variables climáticas entre los años de alto, medio y bajo rendimiento. Con la hipótesis nula de que dicha diferencia no existe, tanto a lo largo de la campaña como así también en cada etapa por separado.

Comenzando con lo que sucede en Argentina, cuando la precipitación es la variable analizada, 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. 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. En el caso de las temperaturas solamente las máximas registradas durante la floración presentan alguna relación con las categorías de rendimiento de ambos cultivos.

En Brasil en la mayoría de los casos se acepta la hipótesis de 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. Cuando la variable analizada son las temperaturas extremas, las máximas exhiben una relación con las categorías de rendimiento durante la floración y la cosecha de la soja para los grupos “1/2” y “1/3”, mientras que las temperaturas mínimas solamente presentan una relación con los rendimientos del maíz durante la floración en los grupos “2/2” y “2/3”.

En Estados Unidos al evaluar las categorías de rendimiento por lo general se acepta la hipótesis de que la precipitación es similar en todas ellas, 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. Con las temperaturas máximas durante la floración de ambos cultivos y para todos los grupos se encuentra una relación entre las mismas y las categorías de rendimientos. Las temperaturas mínimas exhiben menos casos siendo principalmente durante la floración del maíz y la siembra de la soja.

En China, para 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. Con las temperaturas extremas sucede algo similar no hay un claro patrón que identifique una relación existente entre ellas y las categorías de rendimientos.

3.3. 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).

Se estudia la circulación asociada a eventos particulares en los tres países productores y primeros 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 fueron seleccionadas por su homogeneidad y por la representatividad de los rendimientos. 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*)

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.

Al analizar 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*”.

3.3.a. ARGENTINA

Durante los meses previos a la campaña anomalías positivas y negativas se alternan sobre el área de estudio, y particularmente durante el mes de agosto (Figura 2, izquierda) se disponen mostrando un patrón similar al PSA2 descrito por Mo and Higgins (1998). Durante los meses de la siembra se continúa observando la alternancia de centros. Mientras que como característica principal de los meses de floración se observan anomalías negativas de altura geopotencial de 200 hPa, cuya presencia indica que no son favorables las condiciones dinámicas para la precipitación. Así mismo se observa en el sur del continente americano la presencia de anomalías positivas (Figura 2, derecha), las cuales pueden ser el resultado de la presencia de sistemas anticiclónicos, cuñas y bloqueos, que caracterizan los episodios de secuencias secas prolongadas (Labraga *et al.* 2002, Barrucand *et al.*, 2007). Los meses de la cosecha no presentan variaciones sobre la zona núcleo, se continúa observando anomalías negativas de altura geopotencial.

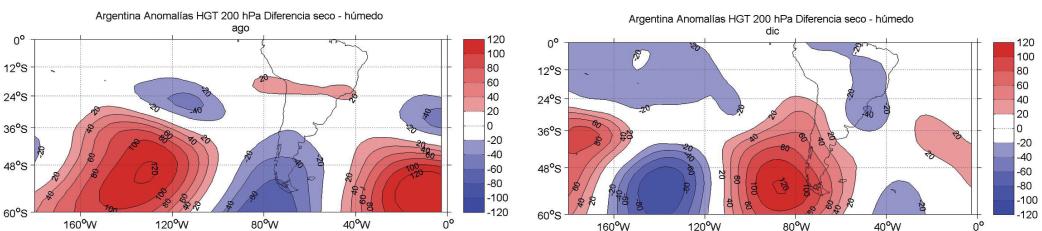


FIG. 2: Campos mensuales de diferencia seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los años secos y húmedos del promedio de estaciones de la zona núcleo de Argentina. Unidades de metros geopotenciales. Izquierda: agosto. Derecha: diciembre.

En la altura de 850 hPa a lo largo de la campaña se observa principalmente la presencia de anomalías positivas sobre el área núcleo asociadas a la inhibición de la precipitación.

3.3.b. BRASIL

Los meses previos a la campaña pueden caracterizarse con septiembre (Figura 3, izquierda) en donde un centro de anomalías negativas se encuentra posicionado sobre el área núcleo dejando sendos núcleos de anomalías positivas formando un collado al sur del continente, similar al patrón PSA 1 detallado por Mo and Higgins. Durante los meses de la siembra en la zona núcleo de Brasil se observa la presencia de anomalías negativas de altura geopotencial en 200 hPa. En la floración el patrón típico es de anomalías negativas en la zona núcleo, positivas al sur del continente y nuevamente negativas en el extremo sur del área de estudio. (Figura 3, derecha, que muestra al mes de enero).

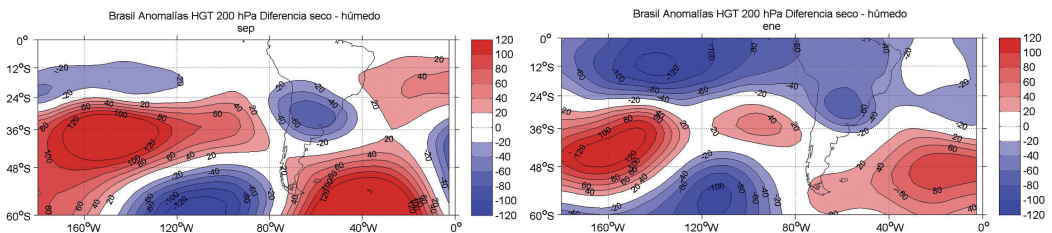


FIG. 3: Campos mensuales de diferencia seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los años secos y húmedos del promedio de estaciones de la zona núcleo de Brasil. Unidades de metros geopotenciales. Izquierda: septiembre. Derecha: enero.

En el nivel de 850 hPa los meses de la siembra y el comienzo de la floración se caracterizan por altas presiones, que se pueden asociar a movimientos de descenso y secamiento del aire.

3.3.c. ESTADOS UNIDOS

Los meses de la siembra se pueden caracterizar con lo que sucede en el mes de mayo (Figura 4, izquierda) en donde la distribución de los centros de anomalías positivas y negativas es similar al hallado por Trenberth *et al.* (1988) para los eventos secos de verano. Sobre la zona núcleo hay posicionado un centro de anomalías negativas y en la zona norte del continente se ubica un importante centro de anomalías positivas, cuya presencia varios autores, entre ellos Liu *et al.* (1998) la asocian con un corrimiento hacia el norte de la corriente en chorro y de la trayectoria de las tormentas, alejándolas de esta forma de la zona de producción. En la floración el campo de anomalías se caracteriza por la alternancia de centro de anomalías en las altas latitudes, a modo de ejemplo se presenta el mes de septiembre (Figura 4, derecha).

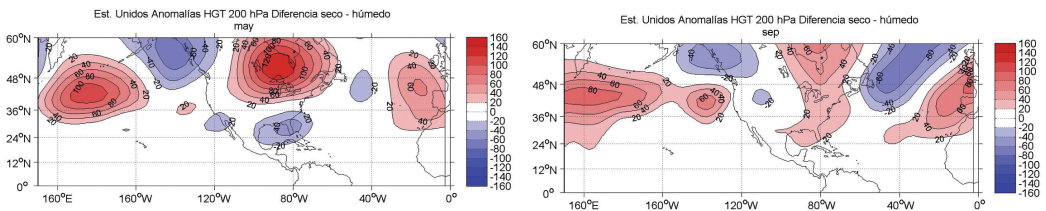


FIG. 4: Campos mensuales de diferencia seco-húmedo para las anomalías de altura geopotencial en 200 hPa de los años secos y húmedos del promedio de estaciones de la zona núcleo de Estados Unidos. Unidades de metros geopotenciales. Izquierda: mayo. Derecha: septiembre.

3.3.d. TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DEL MAR

Diferentes estudios muestran que las precipitaciones en el sudeste de Sudamérica están fuertemente ligadas a la temperatura en 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 media en este sector de Sudamérica (Lau and Sheu, 1988).

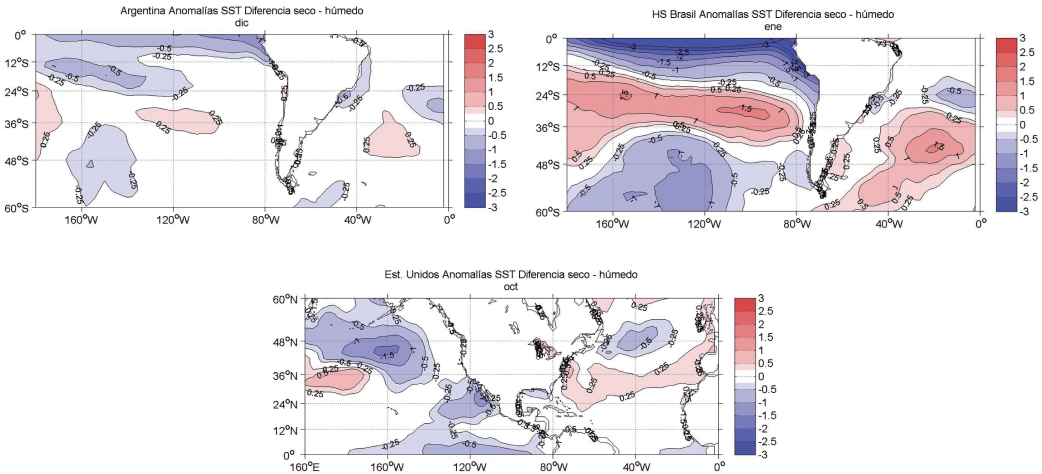


FIG. 5: Campos mensuales de diferencia seco-húmedo para las anomalías temperatura de la superficie del mar de los años secos y húmedos del promedio de estaciones de la zona núcleo de Argentina en diciembre (superior izquierda), de Brasil en enero (superior derecha) y de Estados Unidos en octubre (inferior). Unidades de $^{\circ}\text{C}$.

Las anomalías de la temperatura en la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial influyen en las tres regiones de estudio. Para los eventos de Brasil (Figura 5, superior derecha) 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 esta claramente relacionado a los eventos fríos del ENSO. En la Argentina (Figura 5, superior izquierda) 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 llegar 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 inhibitoras de la convección. En el análisis de los Estados Unidos (Figura 5, inferior) se observa un enfriamiento débil y progresivo en la cuenca del Pacífico ecuatorial a medida que avanza la campaña.

4. CONCLUSIONES

Una de las motivaciones que llevaron a la realización de este trabajo es que al ser Argentina un país productor es necesario incluir en las tareas cotidianas el monitoreo de las condiciones climáticas en los países señalados por estar directamente relacionadas a los valores económicos de sus exportaciones.

Este estudio pretendió tipificar los regímenes climáticos de los cuatro países tratando de lograr el mayor grado de homogeneidad y representatividad regional de los rendimientos y de las variables climáticas medidas en estaciones. Al estudiar la variabilidad conjunta tomando como unidad de interés las campañas y las etapas de un cultivo, se llegó a 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.

Al realizar una categorización de los rendimientos se observó que tanto las precipitaciones como las temperaturas que se producen durante la floración son las que mayor influencia ejercen sobre el rendimiento final de los cultivos.

Del análisis de la circulación asociado a los eventos extremos podemos concluir que 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 ese motivo si los factores que favorecen a uno u otro eventos 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 las diferencias “seco-húmedo”, son los eventos secos los que se ven potenciados y en estos años son los eventos de La Niña los que parecerían estar conduciendo los cambios en la circulación atmosférica.

En los campos de altura la característica que sobresale es la ubicación de un centro de anomalías positivas de altura geopotencial en 200 hPa en el sur de Sudamérica y sobre el centro de Norteamérica, que provocan un desplazamiento de la corriente en chorro y por ende de la trayectoria de las tormentas, alejando de esta forma las condiciones favorables para la precipitación de las zonas núcleo de producción de estos tres países. Cercano a superficie las zonas núcleo de producción se ven afectadas por anomalías positivas de altura geopotencial en 850 hPa.

En lo que respecta al campo de anomalías de la temperatura de la superficie del mar, las mismas mostraron que los meses que conforman la etapa crítica 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.

Se puede concluir que los eventos secos en las tres regiones están asociados a la fase fría del ENSO y en los campos de altura geopotencial se observa la presencia de anomalías positivas que alteran la normal trayectoria de los sistemas durante la etapa crítica de desarrollo de los cultivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los subsidios UBA 20020100100628, Conicet PIP 112-200801-00762 y Agencia PICT 2008-1820 por solventar el presente trabajo.

REFERENCIAS

- Barrucand, M.; Vargas, W. and Rusticucci, M. (2007). “Dry conditions over Argentina and related monthly circulation patterns”. *Meteorology and Atmospheric Physics* 98, pp. 99-114.
- 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, pp. 821-830.
- García, P.; Offutt, S.E.; Pinar, M. and Changnon, S.A. (1987). “Corn Yield Behavior: Effects of Technological Advance and Weather Conditions”. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26, pp.1092-1102.
- Hazell, P.B.R. (1985). “Sources of Increased Variability in World Cereal Production since the 1960s”. *Journal of Agricultural Economics* 36. pp. 145-159.
- Hu, Q. and Buyanovsky, G. (2003). “Climate Effects on Corn Yield in Missouri”. *Journal of Applied Meteorology* 42, pp. 1626-1635.
- 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), pp. 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, pp. 1-15.
- Lau, K. and Sheu, P. (1988). "Annual cycle, quasi-biennial oscillation, and Southern Oscillation in global precipitation". *Journal Geophysical Research* 93, pp. 10975-10988.
- Mo, K. and Higgins, W. (1998). "The Pacific South American Modes and Tropical Convection during the Southern Hemisphere Winter". *Monthly Weather Review* 126, pp. 1581-1596.
- 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., 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 Geophysycal Research* 103, pp. 14291-14324.
- Sonka, S.T.; Changnon, S.A. and Hofing, S. (1998). "Assesing Climate Information. Use in Agribusines. Part II: Decision Experiments to Estimate Economic Value". *Journal of Climate* 1, pp. 766-774.
- USDA United States Department of Agriculture. (2004). "Major World Crop Areas and Climatic Profiles". *Agricultural HandBook N° 664*, pp. 293.