

RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL MAR DE DIFERENTES OCÉANOS Y LOS RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN LA PAMPA HÚMEDA

Gabriela Viviana Müller¹, María Elena Fernández Long², Ezequiel Bosch²

¹Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia de Tecnología a la Producción (CICYTTP-CONICET), Diamante, Argentina

²Facultad de Agronomía, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina

(Manuscrito recibido el 30 de noviembre de 2013, en su versión final el 14 de mayo de 2014)

RESUMEN

La temperatura superficial del mar (TSM) guarda estrecha relación con algunas variables climáticas como la precipitación en el sudeste de Sudamérica y en particular con algunos cultivos en la Pampa Húmeda. El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la TSM de los océanos Pacífico, Atlántico e Indico y los rendimientos del cultivo de maíz en dicha región. Se comprobó que los rendimientos de maíz responden en mayor o menor medida a las fluctuaciones de las TSM en los diferentes océanos, exceptuando parte del sur y el sudoeste de la región de estudio, coincidente con el sur de la provincia de Buenos Aires y este de La Pampa, donde la relación es muy débil o inexistente. Para el resto de la región de estudio se observó una significativa influencia del océano Pacífico subtropical y ecuatorial en la región del ENOS, el océano Indico en presencia del dipolo (DOI) y del océano Atlántico tropical y subtropical occidental principalmente durante la primavera y en algunos casos en el otoño.

Palabras clave: Rendimientos de maíz; Pampa Húmeda; Temperatura de la superficie del mar.

RELATIONSHIP BETWEEN THE SEA SURFACE TEMPERATURE OF DIFFERENT OCEANS AND THE MAIZE YIELDS IN THE ARGENTINE PAMPA REGION

ABSTRACT

The sea surface temperature anomalies (SST) are closely related to the precipitation anomalies in central and eastern Argentina and therefore they are related to some crops in the Argentine Pampa region as well. The objective of this paper is to analyze the relationship between SST in the Pacific, Atlantic and Indian Oceans and maize yields in the Pampa region. It is found that maize yields respond in different ways to the SST variability, except for the south, southeast and west of Buenos Aires province and the east of the La Pampa province, where the signal is either weak or nonexistent. It is also found that some oceanic regions have a significant influence over the rest of the Pampa region, in particular the subtropical Pacific Ocean, the

equatorial Pacific Ocean ENSO region, the Indian Ocean dipole (IOD) and the tropical and subtropical western Atlantic Ocean mainly in the spring and in some cases in the fall.

Keywords: yields; Argentine Pampa región; Sea surface temperatures

1. INTRODUCCIÓN

El océano juega un rol fundamental en la determinación del clima. Es fuente de humedad para la atmósfera y como tal, controla el régimen global de las precipitaciones y la evaporación. Entre los fenómenos oceánicos de mayor impacto en el clima de América del Sur está El Niño/La Niña, que en su interacción con la atmósfera en la denominada Oscilación del Sur, conforman el principal modo de variabilidad del clima en América del Sur, conocido como ENOS (Ropelewski y Halpert, 1987 y 1989; Grimm y otros, 2000; Trenberth y Caron, 2000, entre otros). La evolución del fenómeno ENOS es lenta; generalmente comienza durante la primera parte del año y alcanza su madurez hacia el final del año y comienzos del siguiente, y desaparece sobre la segunda mitad del segundo año, abarcando dos años consecutivos (Berri y otros, 2001).

El ENOS tiene repercusión no solo en el sistema climático sino también en la producción de los cultivos de la Pampa Húmeda (Magrín y otros, 1998, Podestá y otros, 1999; Hurtado y otros, 2003; 2005; Fernández Long y otros, 2011; Travasso y otros, 2003; 2009). El maíz es uno de los cultivos de mayor difusión en dicha región y se ha observado que en años La Niña reduce sensiblemente su rendimiento, mientras que en los años El Niño aumenta (Dardanelli y otros, 2003). En este sentido Berri y otros (2002) mostraron que los rendimientos de la cosecha de verano, como lo es el cultivo de maíz, son superiores (inferiores) al promedio durante la fase positiva (negativa) del ENOS. Por otra parte los autores concluyen que las respuestas producidas entre las fases presentan una gran variabilidad. Este comportamiento podría ser explicado por la modulación del fenómeno debido a factores tanto locales como remotos -descritos estos últimos por Kidson (1999) y Grimm y otros (2000)- entre

los que se encuentra también la TSM en otras regiones de los océanos (Barros y Silvestri, 2002).

La TSM de diferentes regiones de los océanos tropicales y subtropicales está relacionada con los extremos diarios de precipitación en el centro y norte de Argentina, según lo muestran Robledo et. al., (2012), concluyendo que la variabilidad temporal de cada una de esas áreas de TSM es reconocida como un posible forzante de gran escala de la variabilidad de los extremos de precipitación en dicha región. Una de esas áreas de TSM se localiza en el océano Atlántico tropical y subtropical. Berri y Bertossa (2004) muestran la significativa influencia que dicho océano ejerce debido que aguas más cálidas (frías) a través del aumento (disminución) de la advección de vapor de agua en el este de Argentina, tiene como consecuencia mayor (menor) precipitación sobre el sudeste del centro sur de América del Sur, particularmente durante los meses de noviembre y diciembre. Travasso y otros (2009) encontraron una relación positiva entre la TSM del océano Atlántico tropical y los rindes de maíz en el sudeste de la provincia de Buenos Aires.

Otros cultivos dependientes de la precipitación como el girasol, muestran también una relación entre los rindes y los diferentes índices de variabilidad climática. Loose y otros (2010) analizan la variabilidad interanual de los rendimientos de girasol procedentes de todas las regiones productoras de Argentina. Los autores encontraron que las regiones que tienen una relación más significativa responden inversamente a las anomalías del ENOS, es decir, en años El Niño los rendimientos de girasol tienden a ser menores. Del mismo modo los índices de la variabilidad climática provenientes del océano Atlántico afectan a la producción de girasol con señal opuesta.

Se conoce también, que las anomalías de precipitación en Sudamérica están influenciadas por el Dipolo del Océano Indico (DOI o IOD por sus siglas en inglés Indian Ocean Dipole), que es un fenómeno de acoplamiento entre el océano y la atmósfera en el Océano Indico ecuatorial y que tiene efecto a nivel mundial. Un DOI positivo se caracteriza por un océano más frío (cálido) en el este (oeste) tropical del Indico. Drumond y Ambrizzi (2008) encontraron que durante la fase positiva del DOI se aprecia un aumento de la precipitación en los subtrópicos y una reducción en el nordeste de América del Sur asociado a una anomalía anticiclónica del flujo de humedad en el sudeste de Brasil, que favorece el transporte de humedad de la Amazonia hacia la cuenca del Plata. Chan y otros (2008) muestran que entre la cuenca del Plata y el centro de Brasil, el DOI excita el modo dipolar de las anomalías del lluvia que se reduce (incrementa) al final (a comienzos) de la primavera, cuando el DOI alcanza los picos de sus fases.

El objetivo de este trabajo es analizar la relación entre la TSM del océano Pacífico, Atlántico e Indico y los rendimientos de maíz en la Pampa Húmeda, con el fin de generar información útil que pueda ser tenida en cuenta como herramienta para la toma de decisiones en el sector agropecuario. Para lo cual, a través de un análisis estadístico se evaluó la señal de la TSM para cada mes del año en los rendimientos de maíz del año de la campaña respectiva, comprendida entre 1969 y 2008, para cada una de las 10 zonas seleccionadas en la Pampa Húmeda.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron los datos de rendimientos departamentales para la Pampa Húmeda (provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y La Pampa) provistos por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA), para las campañas que abarcan los años 1969 al 2008. La información comprende datos de 186 partidos de dicha región. En una primera clasificación de la información se eliminaron de las series de cada partido

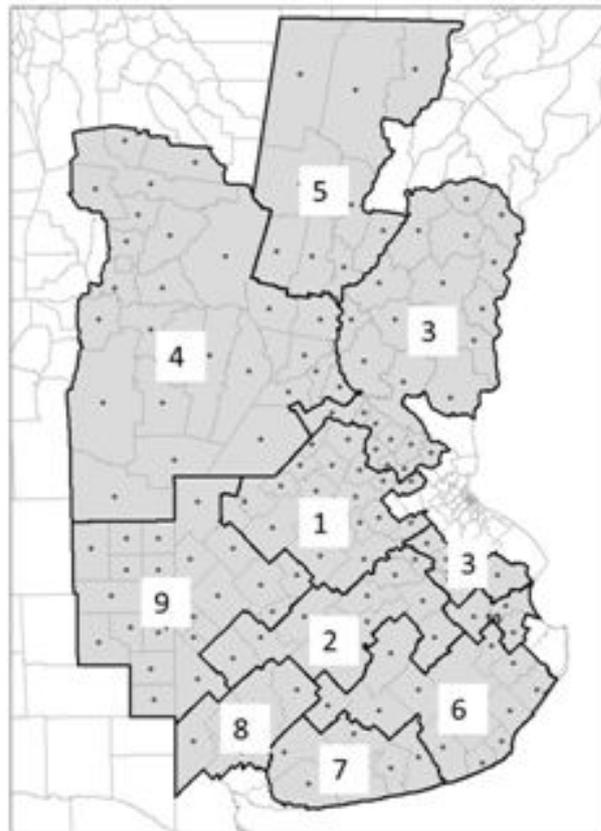


Figura 1: Mapa de los partidos (puntos) y las zonas (números) de estudio.

aquellos años en los cuales la siembra de maíz fue inferior a 500 ha, por considerarse a este dato no representativo de lo ocurrido en el partido. A continuación, se eliminaron los partidos que no presentan información completa, es decir cuando faltó más del 20 % de los datos de la serie, y así quedaron 135 partidos.

Con el objetivo de minimizar la cantidad de datos a analizar en favor de encontrar respuestas regionales, se agruparon los partidos en 10 subregiones o zonas (Figura 1), siguiendo la metodología utilizada en Fernández Long y otros (2011). Para ello, se seleccionó el partido que tuvo los mejores rindes en los últimos 10 años, tomándolo como cabecera de la zona. A partir de ahí se correlacionaron todas las demás series con la cabecera, y se seleccionaron todas aquellas que tuvieran una correlación mayor a 0,8, quedando formado así la primera zona. Se repitió

este procedimiento con el resto de las series no seleccionadas obteniéndose un total de 10 zonas. Luego se realizó un análisis geográfico para comprobar que existiera una relación espacial dentro de cada zona. Aquellos departamentos que por el valor de correlación quedaron dentro de una zona y no tenían una relación geográfica con la misma se analizaron aparte y se reubicaron siempre que la correlación con el partido cabecera fuera superior al 0,8; de lo contrario la serie fue suprimida del análisis. Posteriormente se promediaron los rendimientos de los partidos ubicados dentro de cada zona, obteniéndose una serie representativa de cada una de ellas. De esta manera, quedaron conformadas 9 series de rendimientos, una para cada una de las subregiones numeradas de 1 a 9, debido que la número 10 no fue considerada en el análisis por estar conformada por solo 2 partidos, no siendo representativo de toda una subregion.

Dado que la evolución de los rendimientos a lo largo de los años presenta una tendencia positiva, la que puede ser atribuida al avance de la tecnología (Vossen, 1989; Hough, 1990), se procedió a eliminarla y así evitar la interacción de factores externos con los resultados. Para el cálculo de las tendencias se utilizó el procedimiento de descomposición estacional STL (Seasonal Trend Decomposition base on LOESS, Cleveland y otros, 1990). Este consiste en descomponer la serie en los componentes de Baja Frecuencia (BF) y Residuales (CR). Estos componentes son aditivos de manera que la suma de los componentes BF y CR es igual al valor correspondiente a la serie original. El cálculo de cada componente se realiza mediante la aplicación secuencial de loess (regresión by local fitting) a cada subserie. Este procedimiento se realiza en forma iterativa hasta llegar a una solución estable de los componentes, obteniéndose de esta manera un componente remanente libre de tendencias. Se obtuvo así las anomalías de los rendimientos, asumiendo que los mismos responden a la variabilidad del clima.

Posteriormente se procedió a la determinación de la relación existente entre las anomalías de

los rendimientos de maíz y la TSM a partir del software Climlab (Tanco y Berri, 2000). Dicho software proporciona la información de la temperatura media mensual de los océanos desde enero de 1950 hasta octubre de 2008, proveniente de NOAA SST Data Base. Se definió la grilla con los datos de los océanos Atlántico, Pacífico e Indico dentro de la grilla: -160° W y 160° E; 50° N y -44° S (Figura 2). La serie de rendimientos de maíz utilizada corresponde a las campañas 1969/70 a 2007/08, definiendo así una serie de 39 datos para cada una de las 9 zonas. Estos valores fueron correlacionados linealmente con la TSM. Para cada zona, los valores de rendimientos fueron correlacionados con la TSM de cada mes del año de inicio de la campaña. Por ejemplo la campaña 1969/70, los meses que intervienen en la correlación de TSM son desde enero a diciembre de 1969. La significancia estadística de la correlación fue testeada a través de “t” de Student al 95 %. Por lo que se tomó el umbral de 0,325 (en valor absoluto) debido a que es el valor a partir del cual los coeficientes de correlación son significativos al 95 % (Snedecor y Cochran, 1980). Los resultados obtenidos se expresan como mapas globales que muestran el coeficiente de correlación “r” significativo entre las anomalías de los rendimientos de maíz y la TSM, discutido en la siguiente sección.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Relación entre anomalías de rendimiento de maíz y la TSM en los distintos océanos

La Zona 1 ubicada en el corazón de la Pampa Húmeda, muestra un sector del océano Atlántico subtropical próximo al continente con correlaciones positivas durante los meses de abril y mayo principalmente (Figura 3), cuando se suma otra señal del mismo signo en el océano Pacífico ecuatorial. Esta última se extiende ocupando toda la región Niño 3.4 y Niño 3 hasta alcanzar el continente durante el mes de junio y julio (Figura 3) y llegar a su máxima extensión en los meses de primavera, sugiriendo una importante señal positiva significativa con

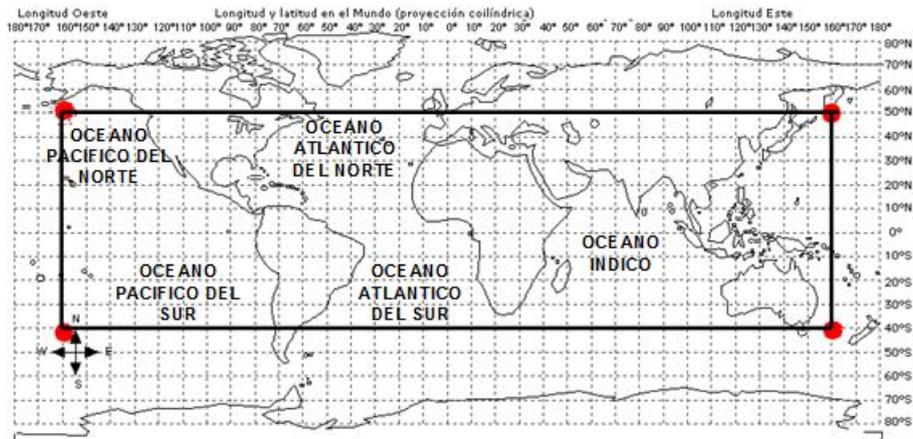


Figura 2: Área comprendida dentro de las coordenadas de estudio.

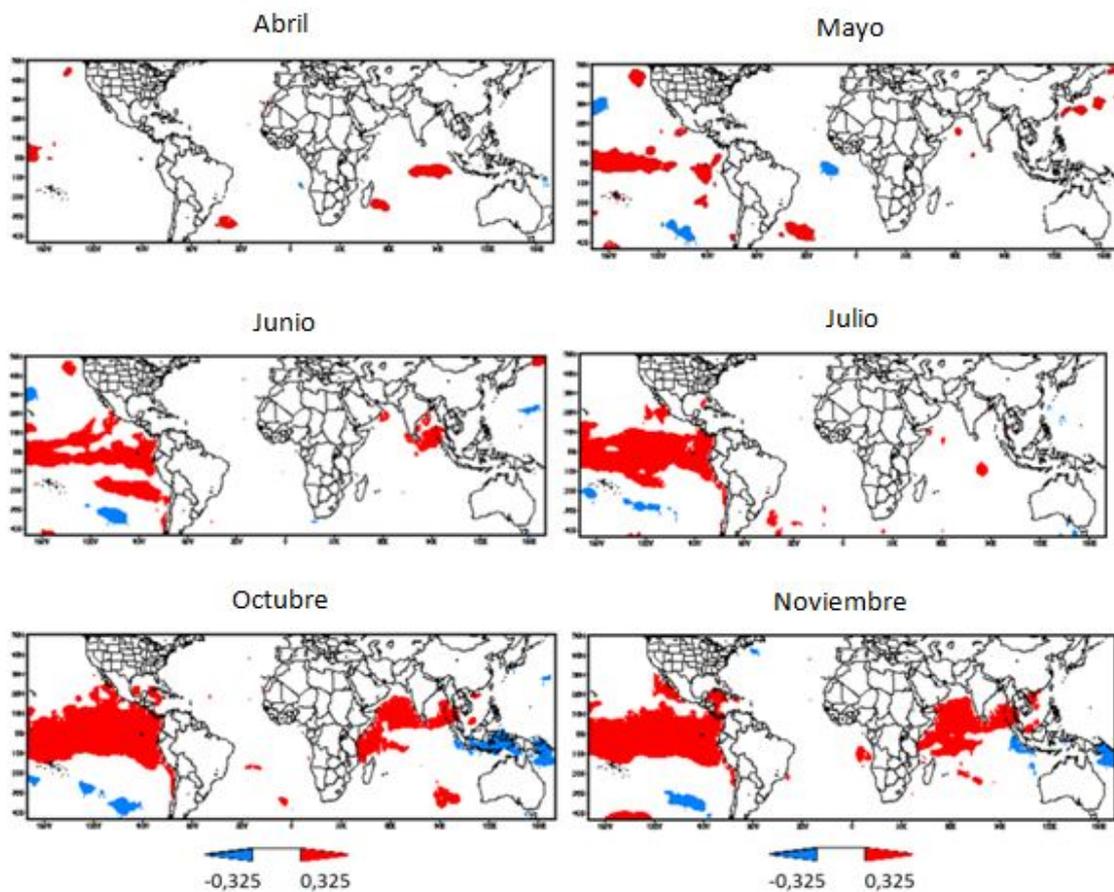


Figura 3: Correlación entre las anomalías de los rendimientos de maíz y la TSM para la Zona 1. Rojo correlación positiva, azul correlación negativa.

El Niño en los rendimientos de maíz. En el mes de septiembre aparece también una región de correlación positiva (negativa) al oeste (este) del océano Índico que estaría asociada al DOI. La región negativa del Índico este se extiende hacia el mar de Indonesia y el Pacífico occidental en octubre, alcanzando los subtropicos durante noviembre (Figura 3). La señal positiva en el Pacífico ecuatorial y la negativa en el subtropical es un dipolo bien característico durante los eventos El Niño que produce un aumento en la precipitación en el centro de la Pampa Húmeda para los meses de noviembre y diciembre, según mostraron Berri y Bertosa (2004). Para el norte de la provincia de Buenos Aires, coincidente con la Zona 1, Magrin y otros (1998) observaron una fuerte influencia de La Niña que provoca una disminución en los rendimientos de maíz en dicha región, que es considerada la zona principal de producción. Travasso y otros (2003) para la misma zona encontraron una alta probabilidad de bajo rendimiento durante La Niña, mientras que la probabilidad de alto rendimiento durante El Niño es menor.

La Zona 2 al sur de la Zona 1, comprende los partidos del centro de la provincia de Buenos Aires, donde se evidencia un patrón de correlación muy similar a dicha zona. La diferencia entre ambas radica en el mes en que dichos patrones se comienzan a observar. Por ejemplo la señal positiva sobre el Atlántico sur antes mencionada, se observa a partir del mes de marzo, es decir previo a lo mostrado por la Zona 1; así como el patrón de correlación positivo sobre el océano Pacífico ecuatorial aparece en el mes de junio, posterior a lo observado en la Zona 1. La señal del DOI en los rendimientos también se configura en este caso, pero en el mes siguiente a lo mostrado para la Zona 1. Aquí también se aprecia la región de correlación negativa del Índico oriental que se extiende hacia el Pacífico subtropical próximo a la costa de Chile (Figura 4), que forma el dipolo del Pacífico antes mencionado, positivo en la latitud ecuatorial y negativo en la subtropical. Barros y Silvestri (2002) y Vera y otros (2004) enfatizaron la importancia de la variación de la TSM en el Pacífico sur central en modular la

influencia de ENOS durante la primavera en el Sudeste de Sudamérica. Ellos encontraron que la influencia es mayor si la anomalía de la TSM del Pacífico ecuatorial tiene diferente señal que la anomalía de la TSM en el centro sur del Pacífico. Para una región en parte coincidente con la Zona 2, fue observado por Berri y Bertosa (2004) un aumento de la lluvia hacia finales de la primavera asociado al dipolo del Pacífico, favoreciendo el cultivo de maíz.

Hacia el este y noreste de la región núcleo de la Pampa Húmeda, se ubica la Zona 3 con regiones de correlación significativas similares a las zonas antes analizadas. De nuevo aparece el patrón de correlación positivo en el océano Atlántico durante el otoño, y en los meses de primavera el patrón del océano Pacífico junto además al dipolo del océano Índico (figura no mostrada).

Al oeste de la Zona 3, se localiza la Zona 4 que es la más extensa de todas las seleccionadas. Nuevamente la región de correlación positiva frente a las costas de Sudamérica comienza a configurarse en el mes de marzo y en mayo alcanza su máxima extensión de significancia (Figura 5). En mayo también el Pacífico ecuatorial en la región El Niño 3.4 comienza a mostrar una señal positiva, que luego se expande hacia el este en los meses de primavera (Figura 5), cuando aparece el DOI. Estos patrones se repiten para la Zona 5 al norte de la Pampa Húmeda (Figura 6).

En el otro extremo del área de estudio, que comprende las Zonas 6 y 7 coincidente con el sur y sudeste de la provincia de Buenos Aires, no se encontraron correlaciones asociadas al forzante de El Niño, coincidente con lo que Berri y Bertosa (2004) encontraron para la precipitación en esa misma región. Un estudio que relaciona el índice BEST (Bivariate EnSo Timeseries) con la precipitación en la Pampa Húmeda, muestra una correlación significativa en toda la Pampa Húmeda durante los meses de primavera, excepto en el sur de la provincia de Buenos Aires (Zalazar, 2012). Esta misma zona también fue la excepción para otras variables como lo mostrado

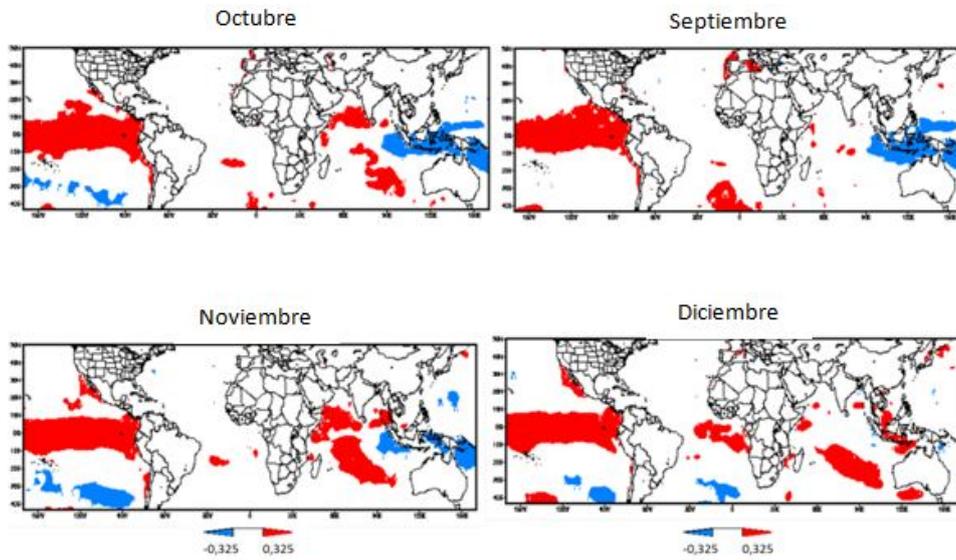


Figura 4: ídem Figura 3 para la Zona 2.

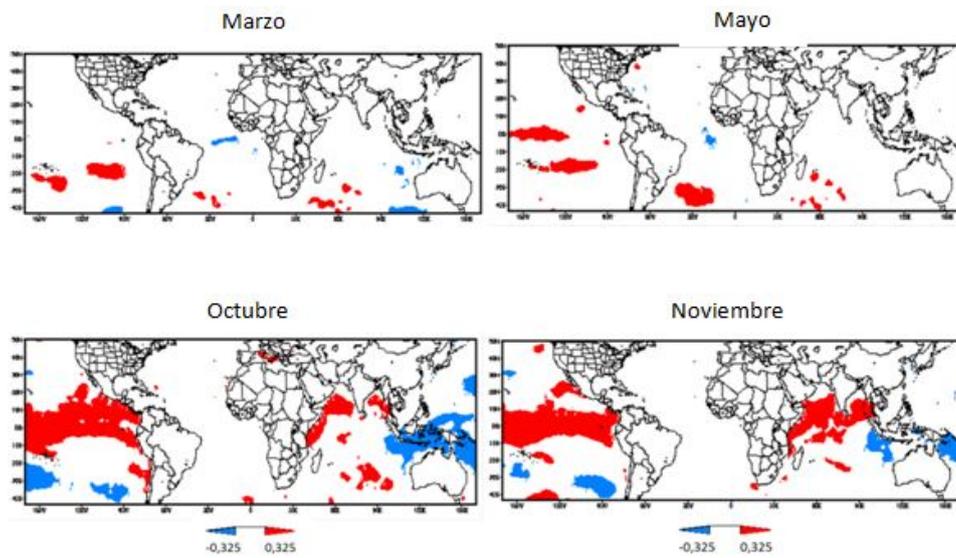


Figura 5: ídem Figura 3 para la Zona 4.

por Fernández Long y otros (2012), con un decrecimiento de las temperaturas mínimas y un significativo aumento del período de heladas, opuesto a lo observado para el resto de la Pampa Húmeda. Sin embargo, Travasso y otros (2009) encontraron una relación significativa para los rindes de maíz en el sur de la provincia de Buenos Aires y la TSM del Niño 3.

Por otra parte, el Atlántico Sur tropical muestra una región no muy extensa de correlación positiva que aparece durante octubre y noviembre en la Zona 6 (Figura 7), coincidente con los resultados encontrados por Travasso y otros (2009) para el maíz. Berri y Bertossa (2004) en esta región del océano hallaron una señal positiva significativa con la precipitación en el sudeste de la provincia de Buenos Aires para noviembre-diciembre. En la Zona 8 que se extiende hacia el oeste de la Zona 6, también aparece la señal del Atlántico Sur tropical (Figura 7). La Zona 8 y la Zona 9 ubicadas al oeste en la mitad sur de la Pampa Húmeda, muestran una región con correlaciones positivas en el Pacífico ecuatorial durante la primavera (Figura 7), pero de menor extensión que lo observado en las zonas del centro y mitad norte de la Pampa Húmeda. Según Travasso y otros (2003) para el sudeste y sudoeste de la provincia de Buenos Aires tanto la ocurrencia del ENOS como la TSM de la región Niño 3 muestran una débil señal con las variaciones de rendimiento maíz.

3.2. Variabilidad interanual de las anomalías de rendimiento

Con el objetivo de analizar la variabilidad interanual de las anomalías de rendimiento (calculadas como el valor de la serie en cada campaña menos el valor de la tendencia para ese mismo período), se tomó la desviación estándar de las anomalías de los rendimientos de maíz en las 9 zonas estudiadas (Tabla I). Se pudo comprobar que existe una gran variabilidad interanual de dichas anomalías, con valores que rondan los 500 kg/ha de desviación estándar, llegando a los 737 kg/ha en la Zona 7. Esto indica que en general en toda la región de la

ZONA	D.E
1	549
2	442
3	600
4	579
5	296
6	499
7	737
8	541
9	403

Tabla I: Desviación estándar de las anomalías de los rendimientos de maíz para cada una de las zonas estudiadas.

Pampa Húmeda los rendimientos de maíz poseen una marcada variabilidad interanual, pudiendo pasar de un año con rindes que superaron en 1500 kg/ha al promedio zonal, al año siguiente con valores inferiores que el promedio zonal en 2000 kg/ha; como ocurrió en la Zona 7 en las campañas 1997/98 y 1998/99 (Figura 8). La Zona 9, si bien posee una desviación estándar menor (403 kg/ha), puede verse una gran variación interanual (Figura 7), similar a lo que ocurre con el resto de las zonas (figuras no mostradas).

4. CONCLUSIONES

Numerosos trabajos muestran la estrecha relación existente entre la TSM y la precipitación en el sudeste de Sudamérica, siendo la precipitación la principal variable que condiciona los cultivos de verano en la Pampa Húmeda como el maíz. En particular el rendimiento del maíz está asociado a la precipitación en los meses previos y durante la campaña, siendo éste último el momento de floración de la planta. La floración del maíz tiene su principal estadio hacia fines del mes de enero e inicios de febrero (Carnelos, 2012). En ese período no se observó ninguna señal significativa entre las TSM de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico y los rindes de maíz en la Pampa Húmeda. Sin embargo en los meses previos, de marzo a diciembre, se encontraron regiones significativas

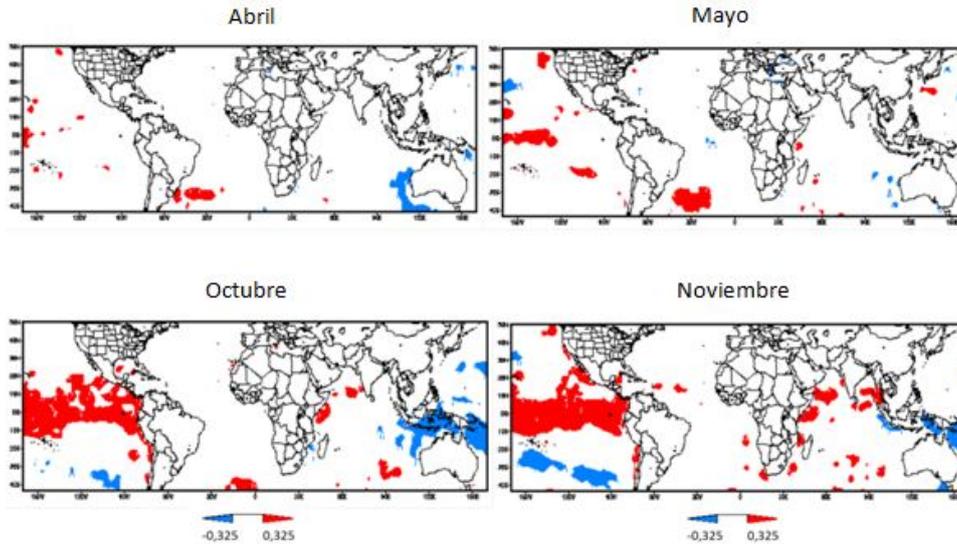


Figura 6: ídem Figura 3 para la Zona 5.

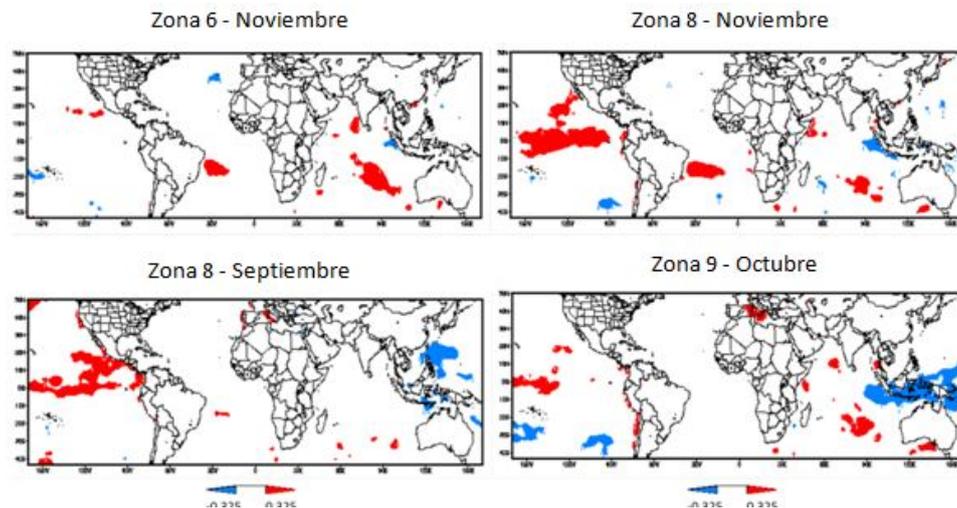


Figura 7: ídem Figura 3 para la Zona 6, Zona 8 y Zona 9.

en los océanos para las diferentes zonas de la Pampa Húmeda analizadas, a excepción del sur de la provincia de Buenos Aires y este de La Pampa, donde no se encontró ninguna señal. En cambio el resto de las zonas analizadas guardan una estrecha relación entre los rendimientos y la TSM, principalmente con el océano Pacífico. La correlación comienza a aparecer en la región Niño 3.4 en otoño y se extiende hacia el este alcanzando el máximo en primavera, que es cuando se incrementa la precipitación en toda la Pampa Húmeda, a excepción del sur y sudeste de la provincia de Buenos Aires según mostraron

Berri y Bertossa (2004), coincidente con los resultados aquí encontrados. Por consiguiente, dicho incremento de la lluvia en primavera tiene como consecuencia aumentar los rendimientos de maíz en la campaña siguiente.

Así también para estas mismas zonas, los rendimientos de maíz responden al DOI especialmente en los meses de primavera, momento donde las regiones de correlación significativa son más amplias. Esto implica que frente a un DOI positivo los rendimientos serán superiores a lo normal para la siguiente campaña.

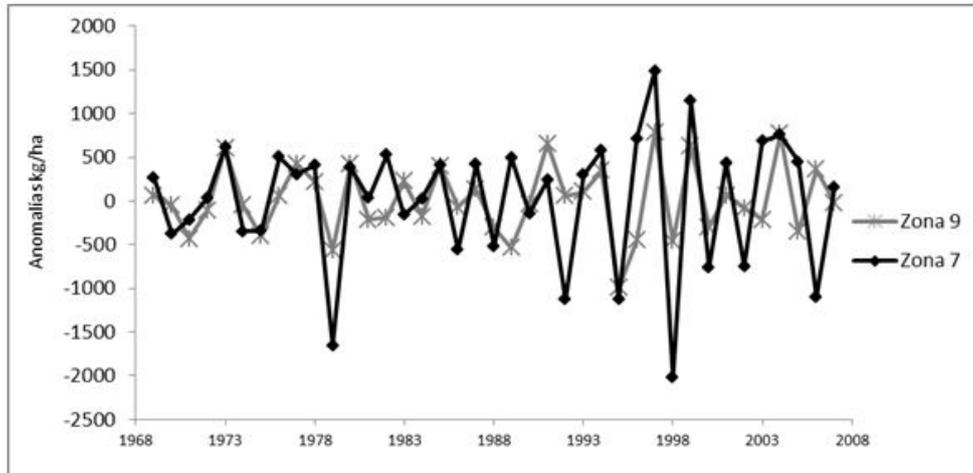


Figura 8: Variabilidad interanual de las anomalías de rendimiento para las Zonas 7 y 9.

Esta relación se explicaría también a través de la precipitación, ya que existe una señal positiva durante la primavera entre el dipolo del Océano Índico y los extremos diarios de precipitación en el centro y noreste de Argentina, mostrado por Robledo y otros (2012).

La TSM del océano Atlántico subtropical, cercano a la costa de Buenos Aires, presenta correlaciones positivas en el mes de mayo con los rendimientos de maíz en las zonas ubicadas en la mitad norte de la Pampa Húmeda. La misma relación se encontró para la TSM del Atlántico tropical en el mes de noviembre al sudoeste y sudeste de la provincia de Buenos Aires, coincidente esta última con un el aumento de la lluvia según Berri y Bertossa (2004).

En vista de lo discutido acerca que la precipitación en la región de la Pampa Húmeda está influenciada por la TSM de los océanos Pacífico y Atlántico tropical y subtropical principalmente, además de algunas regiones del Océano Índico, podemos concluir que los rendimientos de maíz están condicionados por dichas TSM, exceptuando el sur de la provincia de Buenos Aires y el este de La Pampa. Estos resultados sirven como base para el desarrollo de un modelo de pronóstico de rendimientos de maíz en función de la TSM de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico. De esta manera, y sobre la

base de este conocimiento, es posible estimar el impacto de la variabilidad climática sobre los sistemas de producción agrícola de la región pampeana en lo que a la producción de maíz se refiere.

Agradecimientos: Los autores agradecen a los revisores sus aportes que han contribuido a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

- Barros, V.R. y Silvestri G.E., 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.
- Berri, G.J. y Bertossa, G., 2004. The influence of the tropical and subtropical Atlantic and Pacific Oceans on precipitation variability over southern central South America on seasonal time scales. *Int. J. Climatol.*, 24, 415-435.
- Berri, G.J., Flamenco E.A, Spescha L., Tanco R.A y Hurtado R., 2002. Some effects of La Niña on summer rainfall, water resources and crops in Argentina. Pág 124-133, Capítulo del libro de Glantz, M.H (Ed.), *La Niña and its impacts: Facts and speculation*. United Nations University, ISBN 92-808-1071-5

- Berri G., Ghietto M. y Garcia N., 2001. The influence of ENSO in the flows of the upper Paraná River of south America over the past 100 years. *Journal of Hydrometeorology*, 3, 57-65. Bolsa de Cereales, 2007. Número estadístico 2006-2007. ISSN 0084-7968.
- Carnelos, D. y Fernández Long M.E., 2008. Relación del ENOS con los rendimientos de maíz en un grupo de partidos del sudeste de la provincia de Buenos Aires. XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy, Argentina.
- Carnelos, D., 2012. Relación entre el índice de satisfacción hídrica, calculado a partir de precipitación estimada por satélite, y el rendimiento de maíz. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, UBA. Julio 2012, 60 pp.
- Cleveland, R.B., W.S. Cleveland, J.E. McRae, y Terpenning I., 1990. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess (With Discussion). *Journal of Official Statistics*, 6, 3-73.
- Chan S.C., Behera, S.K. y Yamagata, T., 2008. Indian Ocean dipole influence on South American rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 35, doi:10.1029/2008GL034204.
- Dardanelli J., Collino D., Otegui M. E. y Sadras V. O. , 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de los cultivos de granos. En Satorre E.H., Benech Arnol R.L., Slafer G.A., de la Fuente E.B., Miralles D.J., Otegui M.E. y Savin R. Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. P. 414,415.
- Drummond, A.R. y Ambrizzi, T., 2008. The role of the South Indian and Pacific Oceans in South American monsoon variability. *Theor. Appl. Climatol.*, 94, 125-137, doi: 10.1007/s00704-007-0358-5
- Fernández Long, M.E., Spescha L., Hurtado R. y Murphy G.M., 2011. Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la Región Pampeana argentina. *Agriscientia*, Vol. XXVIII: 31-38.
- Fernández Long, M.E., Müller G.V., Beltrán-Przekurat A., Scarpati O., 2012. Long- and short- term changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33 (7), 1673-1686. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3541/abstract>.
- Grimm, A.M., Barros V.R., Doyle M.E., 2000. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, 13, 35-58.
- Hurtado, N., Spescha L., Fernández Long M.E. y Murphy G., 2003. Evaluación del ENOS como predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Argentina). *Revista Facultad de Agronomía*, 23 (2-3), 131-139.
- Hurtado, R., Serio L., Spescha L., Fernández Long M.E. y Murphy G., 2005. Análisis de la sensibilidad de distintos índices del ENOS para explicar los rendimientos de maíz en la Región Pampeana. *Revista Facultad de Agronomía UBA*, 25 (1), 53-60.
- Hough, M.N., 1990. Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland. A review for sugar beet, rape, peas, wheat, barley, oats, potatoes, apples and pears. EUR 13039 EN, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp 310.
- Kidson, J.W., 1999. Principal modes of Southern Hemisphere low frequency variability obtained from NCEP-NCAR reanalyses. *Journal of Climate*, 12, 2808-2830.
- Loose, L.H., Fernandez Long M.E., Carnelos D. y Murphy G., 2010. Variabilidad e dos rendimentos de girasol na argentina em funcao da variabilidade climática interanual. *Revista Facultad de Agronomía UBA*, 30 (3), 169-178.
- Magrin, G., Grondona M., Travasso M., Boullón D., Rodriguez G. y Messina C.D., 1998. Impacto del fenómeno "El Niño" sobre la producción de cultivos en la región Pampeana. INTA-Boletín de Divulgación.
- Podestá G., Messina C., Grondona M. y Magrin G., 1999. Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Applied Meteorology*, 30, 1488 - 1498.
- Robledo, F. A., Penalba, O.C. y Bettolli,

- M.E., 2012. Teleconnections between tropical-extratropical oceans and the daily intensity of extreme rainfall over Argentina. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.3467.
- Ropelewski, C.F., Halpert MS. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/southern oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606–1626.
- Ropelewski, C.F., Halpert MS. 1989. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. *Journal of Climate*, 2, 268–284.
- Snedecor, G.W. y Cochran, W.G., 1980. *Statistical Methods*. The Iowa State University Press. 507 pp. ISBN 0-8138-1560-6.
- Tanco, R.A. y Berri G.J., 2000. “CLIMLAB 2000, Version 1.1.0, A Statistical Software Package for Climate Applications”. IRI-TR-00/1, International Research Institute (IRI) for Climate Prediction, LDEO, Palisades, N.Y., 10964 USA.
- Travasso, M.I., Magrin G.O. y Rodríguez G.R., 2003. Relations between Sea Surface Temperature and crop yields in Argentina. *Int. J. Climatology*, 23, 1655–1662.
- Travasso, M.I.; G.O. Magrin; M.O. Grondona y Rodríguez G.R., 2009. The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability. *Int. J. Climatology*, 29, 23–29.
- Trenberth, K.E. y J. M. Caron., 2000. The southern Oscillation Revisited: Sea level pressures, surface temperatures and precipitation. *Journal of Climate*, 13, 4358-4365.
- Vera, C., Silvestri G., Barros V., Carril A., 2004. Differences in El Niño response over the Southern Hemisphere. *Journal of Climate* 17, 1741–1753.
- Vossen, P., 1989. An agro meteorological contribution to quantitative and qualitative rainy season quality monitoring in Botswana. Ph.D. thesis. Faculty of Agricultural Sciences, State University of Gent, Belgium.
- Wilks, D., 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press. 453 pp.
- Zalazar, S.M., 2012. Predictabilidad de las Precipitaciones que inciden sobre la Producción de Cultivos de Verano en la Región Pampeana. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, UBA. Julio 2012, 60 pp.
- Zambrano, E., 1986. El fenómeno de “El Niño” y la Oscilación del sur (ENSO). *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR. Ecuador.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.