

IMPACTOS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS CULTIVOS DE VERANO EN REGADÍO MEDITERRÁNEOS

Mirian CAPA MOROCHO^{1,2}, Belén RODRÍGUEZ FONSECA^{1,3,4} y Margarita RUIZ RAMOS^{1,2}

1 CEI Campus Moncloa, UCM-UPM, Madrid, Spain

2 Agsystems-Fitotecnia y Producción vegetal – ETSI Agrónomos, Univ. Politécnica de Madrid, Spain

3 Univ Complutense Madrid, Dept Fis Tierra Astron & Astrofis 1, E-28040, Madrid, Spain

4 Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Facultad de CC. Físicas, Plaza de Ciencias 1. 28040-Madrid, Spain

mi.capa@upm.es, brfonsec@fis.ucm.es, margarita.ruiz.ramos@upm.es

RESUMEN

La variabilidad climática y los cambios en la frecuencia de los eventos extremos tienen un impacto directo sobre los rendimientos de los cultivos y los daños en las cosechas. La simulación de las tendencias futuras de las anomalías del clima y de los rendimientos agrícolas puede ayudar a adaptar un sistema de cultivo para aprovechar las condiciones favorables o reducir los efectos de las condiciones adversas. El objetivo de este trabajo es identificar los patrones de variabilidad climática que afectan a los cultivos de verano en la Península Ibérica, relacionando la variación del rendimiento con la variabilidad climática. Los rendimientos simulados se obtuvieron utilizando el modelo de cultivo *CERES-maize* incluido en la plataforma DSSAT v.4.5. Los resultados preliminares indican la influencia de El fenómeno de El Niño, de gran valor a la hora de predecir el rendimiento de los cultivos. Este trabajo establece una nueva metodología que podría ser también útil para la evaluación del impacto del cambio climático, donde la variabilidad natural y forzada combinada representa un peligro para la producción agrícola.

Palabras clave: variabilidad en el rendimiento, modelos de cultivo, impactos climáticos, variabilidad climática, agro climatología.

IMPACT OF CLIMATE VARIABILITY ON MEDITERRANEAN SUMMER CROPPING SYSTEMS UNDER IRRIGATION

ABSTRACT

Climate variability and changes in the frequency of extremes events have a direct impact on crop yield and damages. Climate anomalies projections at monthly and anual timescales allow for adapting a cropping system to take advantages of favorable conditions or reduce the effect of adverse conditions. The objective of this work is to identify the climate variability patterns affecting the summer cropping systems of certain places of the Iberian Peninsula, in an attempt of relating yield variability to climate variability. Simulated yield was obtained with *CERES-maize* crop model, included in DSSAT v.4.5 platform. Preliminary results indicate the influence of the El Niño phenomenon, of great value in predicting the crop yield. This work establishes a new methodology that could be also useful for climate change impact assessment where combined natural and forced variability represent a hazard for agricultural production.

Key words: yield variability, crop models, climate impacts, climate variability, agroclimatology.

1. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática y los cambios en la frecuencia de los eventos extremos tienen un impacto directo sobre los rendimientos de los cultivos y los daños en las cosechas. La simulación de las tendencias futuras de las anomalías del clima y de los rendimientos agrícolas ayuda a adaptar un sistema de cultivo (cultivo, variedades y manejo) para aprovechar las condiciones favorables o reducir los efectos de las condiciones adversas.

Entre los trabajos que muestran la influencia de la variabilidad climática global sobre el rendimiento agrícola regional tenemos el de Cane *et al.* (1994) que correlacionó la temperatura de la superficie del mar con la precipitación y la producción nacional de maíz en Zimbabue. Este trabajo muestra un coeficiente de correlación entre el Niño 3 y la precipitación de 0.64 con la precipitación; aumentando a 0.78 cuando se relaciona El índice de El Niño con el rendimiento anómalo de maíz. Porter y Semenov (2005) demostraron el impacto de la variabilidad climática en la producción en algunos cultivos y, en concreto la influencia de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) en la calidad del trigo en Inglaterra. En España, Gimeno *et al.* (2002) identificaron relaciones entre los índices de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) sobre los cultivos más importantes usando un análisis estadístico de la respuesta de los rendimientos históricos, obtenidos de la base de datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a las fases de la ENSO y la NAO. Rodríguez- Puebla *et al.* (2007) estudiaron las relaciones entre la variabilidad climática y la productividad anual del trigo en España usando datos históricos de producción proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA).

En este trabajo se analiza la evolución de las anomalías del rendimiento de maíz en regadío en algunas localidades agrícolas representativas en España con diferentes regímenes de temperatura y precipitación y se los compara con la evolución de la temperatura de la superficie del mar a nivel global, ya que el océano representa la principal fuente de predictabilidad del clima en estas escalas. Este análisis permite identificar los patrones de variabilidad oceánica que afectan a los cultivos de verano en la Península Ibérica y que pueden ayudar a predecir su rendimiento. Este trabajo difiere de los anteriores en el uso de datos simulados de rendimientos obtenidos con modelos de cultivos calibrados y validados en sitios específicos para variedades concretas utilizadas actualmente en dichas localidades, en lugar de usar datos de rendimiento estadísticos o históricos que pueden no ser lo suficientemente precisos para nuestros propósitos.

2. DATOS Y MÉTODOS

El maíz en regadío es el cultivo de referencia utilizado para representar a los cultivos de verano en la Península Ibérica. En el caso particular de estudio, las simulaciones de rendimiento se han obtenido con el modelo de cultivo *CERES Maize* (Jones y Kiniri, 1986) incluido en la plataforma DSSAT v.4.5 (Hoogenboom *et al.*, 2010), el cual fue calibrado y validado en tres localidades de la Península Ibérica que muestran diferencias en su régimen climático y en las variedades y manejo del maíz: Lugo (noroeste), Getafe (centro) y Albacete (sureste). En estas localidades se realizaron nuevas calibraciones y validaciones para DSSAT V4.5. con datos de campo de Maturano (2002), López Cedrón *et al.* (2005, 2008), Gabriel y Quemada (2011), datos proporcionados por el Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP, <http://www.itap.es/>) y utilizando datos meteorológicos observados diarios.

Se han realizado simulaciones de rendimiento de maíz en regadío para diferentes periodos, que oscilaron entre 22 y 46 años dependiendo de la disponibilidad de los datos meteorológicos observados diarios (radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima) para las localidades de estudio, procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En concreto, en Lugo el periodo de simulación es de 22 años (desde 1986 a 2010, excepto los años 1990, 2001 y 2002), en Albacete de 44 años (desde 1961 a 2010, excepto los años 1986, 1987, 1969, 1988, 1991 y 1998) y en Getafe de 46 años (desde 1960 a 2010, excepto 1969, 1970, 1971, 1983 y 1984). En las simulaciones se han

introducido perfiles de suelos reales y las variedades de maíz y manejo específico y adaptado a cada una de las localidades.

A partir de esta serie de simulaciones de rendimientos se han obtenido anomalías estandarizadas restando el valor medio a cada dato y dividiendo por la desviación estándar.

Para obtener las relaciones entre las anomalías de los rendimientos y las de la temperatura de la superficie del mar e identificar los eventos favorables y desfavorables para la producción, se han realizado mapas compuestos promediando las anomalías de la temperatura de mar (para varios meses antes de la cosecha) de aquellos años en que las anomalías del rendimiento son extremas. El umbral de rendimiento anómalo estandarizado para el que se considera que un año es extremo se establece, en valor absoluto, en una desviación estándar. También se han realizado correlaciones entre las variables climáticas utilizadas y el fenómeno del Niño.

Los datos de temperatura de la superficie del mar se han obtenido de la base de datos de Reynolds (ERSST, Smith and Reynolds, 2008; <http://jisao.washington.edu/data/ersst/#data>) y los diferentes índices, El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), se han obtenido del Centro de Predicción Climática de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

3. RESULTADOS

3.1. Noroeste de la Península Ibérica

Con el fin de encontrar cierta predictabilidad del rendimiento se ha estudiado el comportamiento del océano en los meses previos a la cosecha. Para el caso del noroeste peninsular se han representado los mapas compuestos de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) de aquellos años en que los valores de rendimientos son extremos en Lugo (anomalías de rendimiento mayores que 1 una desviación estándar y menores que -1 desviación estándar), obteniendo que el rendimiento aumenta en los años de La Niña (Fig. 1), mientras que el rendimiento disminuye en los años de El Niño (Fig. 2). Este resultado quiere decir que, en el noroeste de la Península Ibérica, representado por Lugo, el aumento o disminución del rendimiento de maíz de regadío ocurre en años en los que se produce un enfriamiento o calentamiento del Pacífico ecuatorial respectivamente.

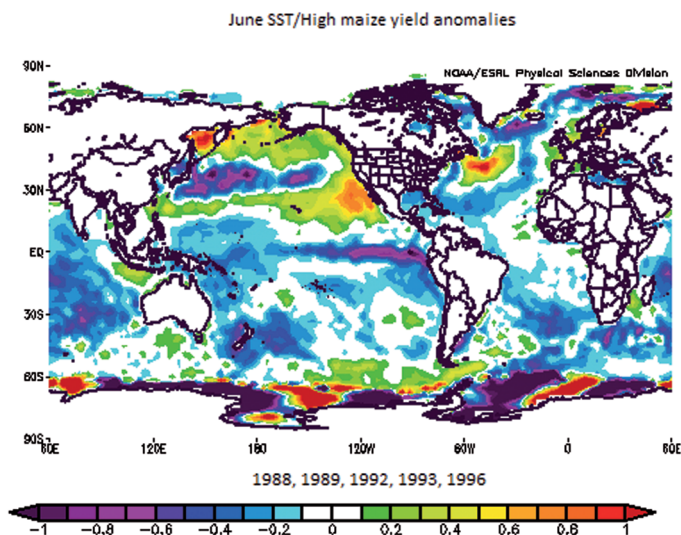


FIG. 1: Mapa compuesto de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM, °C) del mes de julio, de aquellos años en que el rendimiento de maíz aumenta en Lugo. Los años se muestran en la parte inferior de la figura.

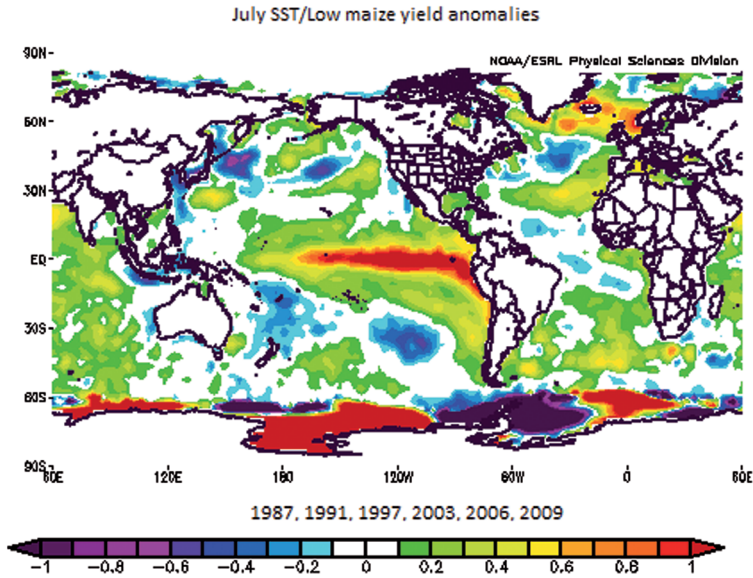


FIG. 2: Mapa compuesto de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM, °C) del mes de julio, de aquellos años en que el rendimiento de maíz disminuye en Lugo. Los años se muestran en la parte inferior de la figura.

Serie temporal de las anomalías del rendimiento de maíz y TSM en la región de El Niño 3 (Julio, $r = -0.62$)

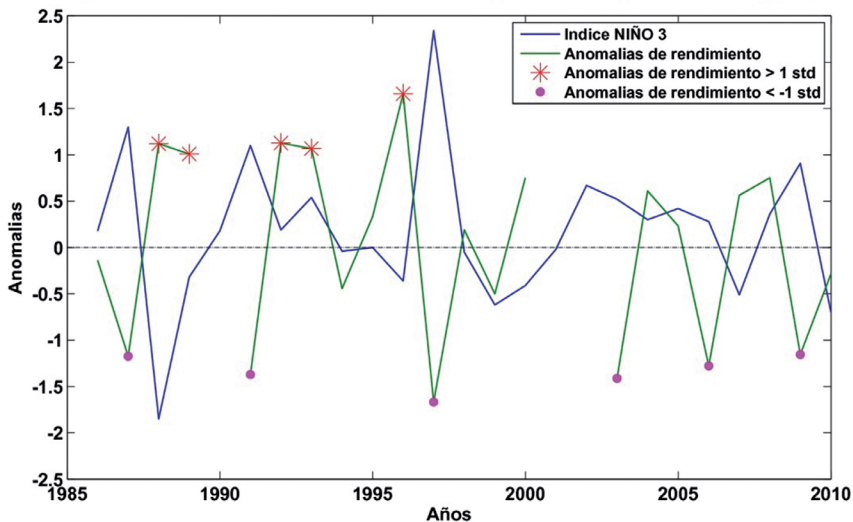


FIG. 3: Evolución de la series temporales de las anomalías de rendimiento de maíz en Lugo y las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM, °C) del mes de Julio en la región de El Niño 3. La correlación entre las series es de -0.62 . En los años en que aparecen interrupciones (1990, 2001 y 2002) no se ha realizado simulaciones por falta de datos climáticos diarios en las series de observación de AEMET.

En el caso del maíz, se sabe que la duración del ciclo es función de la temperatura y de la radiación, y que, en general, los años de mayor rendimiento están asociados con una mayor duración

del ciclo y una mayor duración del periodo antesis-cosecha (floración-llenado del grano; Ruiz-Ramos and Mínguez, 2010). Los resultados muestran que de los resultados obtenidos se ha visto que en años de La Niña (El Niño) hay una mayor (menor) duración del ciclo y del periodo antesis cosecha. Esta relación se explica mejor en los años de rendimientos extremos (Fig. 4).

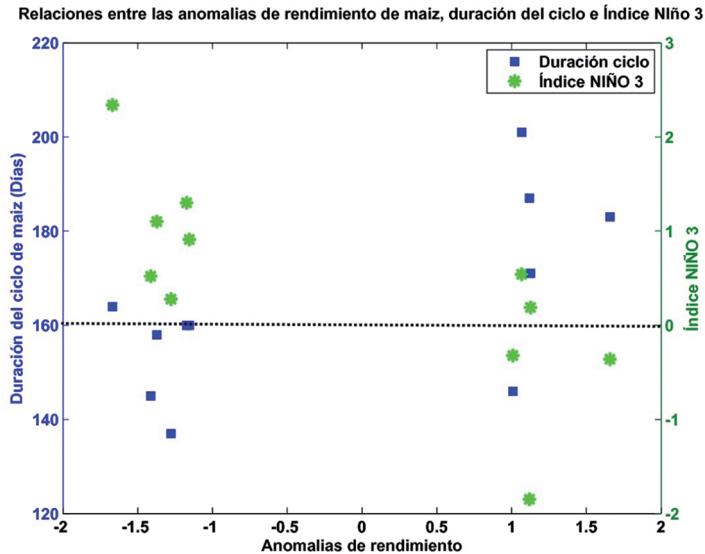


FIG. 4: Relaciones entre las anomalías del rendimiento de maíz en Lugo y duración del ciclo (puntos azules) e índice Niño 3 para el mes de Julio (asteriscos verdes).

Al correlacionar las anomalías de las variables climáticas como entradas del modelo de cultivo (radiación, precipitación, temperatura máxima y mínima, todas procedentes de datos de AEMET) con las anomalías del índice Niño de Julio (mes con máxima correlación obtenida con las anomalías del rendimiento) se observa que en Lugo estas correlaciones son menores que las encontradas con el rendimiento (Tabla 1). Este resultado es de gran importancia ya que nos está indicando que el rendimiento puede actuar como un indicador de variabilidad climática integrado.

Variables Climáticas / Agronómicas	Correlaciones
Radiación	-0.40 (Agosto)
Temperatura máxima	0.47 (Marzo)
Temperatura mínima	0.44 (Septiembre)
Precipitación	0.37 (Agosto)
Rendimiento	-0.62 (Julio)

TABLA 1: Máximas correlaciones obtenidas entre las anomalías del Índice de El Niño 3 correspondiente al mes de Julio y las anomalías de las variables climáticas y agronómicas.

3.2. Centro y Sureste de la Península Ibérica

Considerando ahora los rendimientos simulados en los puntos correspondientes a la parte centro y sureste de la Península Ibérica, los cuales están calibrados en Getafe y Albacete, se ha encontrado una relación no lineal entre las anomalías del rendimiento de maíz y el fenómeno de El Niño. Así,

los bajos rendimientos están asociados con eventos de La Niña, pero los altos rendimientos no parecen estar asociados con el Niño, por lo que no se puede hacer una interpretación similar a la de Lugo. En el caso de altos rendimientos el patrón que aparece recuerda a la fase negativa de la Oscilación Decadal del Pacífico (Trenberth y Hurrell, 1994).

El cálculo de las correlaciones entre los índices de El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico en diferentes meses anteriores a la cosecha y la serie de las anomalías del rendimiento de maíz indican que las correlaciones significativas con estos índices aparecen desde estaciones previas al ciclo del cultivo, lo que significa que el rendimiento disminuye (ó aumenta) en aquellos años en que La Niña (o Oscilación Decadal del Pacífico) ya está desarrollada. Las máximas correlaciones obtenidas (significativas al 95%) entre las anomalías de rendimiento de maíz de Albacete y Getafe y los índice Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico se muestran en la Tabla 2.

	ALBACETE (1961-2010)	GETAFE (1960-2010)
NIÑO	0.27 (Agosto previo al ciclo del cultivo)	-0.42 (Septiembre previo al ciclo del cultivo)
PDO	-0.32 (Febrero previo al ciclo del cultivo)	-0.40 (Marzo previo al ciclo del cultivo)

TABLA 2: Máximas correlaciones obtenidas entre las anomalías del rendimiento de maíz en Albacete y Getafe con los índice Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico.

Las figs. 5 y 6 muestran la evolución de las series temporales de las anomalías de rendimiento de maíz en Albacete (periodo 1960-2010) y Getafe (periodo 1961-2010), respectivamente, junto con las anomalías de los índices NIÑO y la Oscilación Decadal del Pacífico correspondiente a aquellos meses de máxima correlación obtenidas. En los años en que aparecen interrupciones: 1986, 1987, 1969, 1988, 1991 y 1998 en Albacete y 1969, 1970, 1971, 1983 y 1984 en Getafe, no se ha realizado simulaciones por falta de datos climáticos diarios en las series de observación de AEMET.

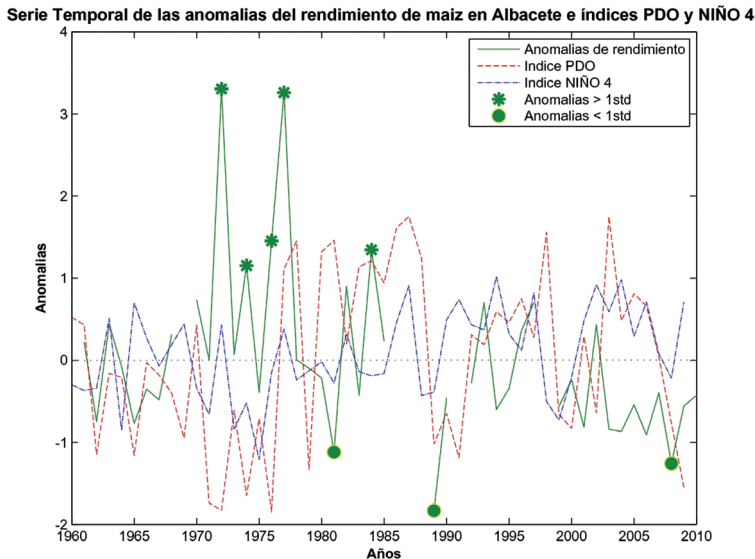


FIG. 5: Evolución de la series temporales de las anomalías de rendimiento de maíz en Albacete y las anomalías de los índices Niño 4 del mes de agosto (previo al periodo del cultivo) y de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) del mes de febrero (del año previo al ciclo del cultivo).

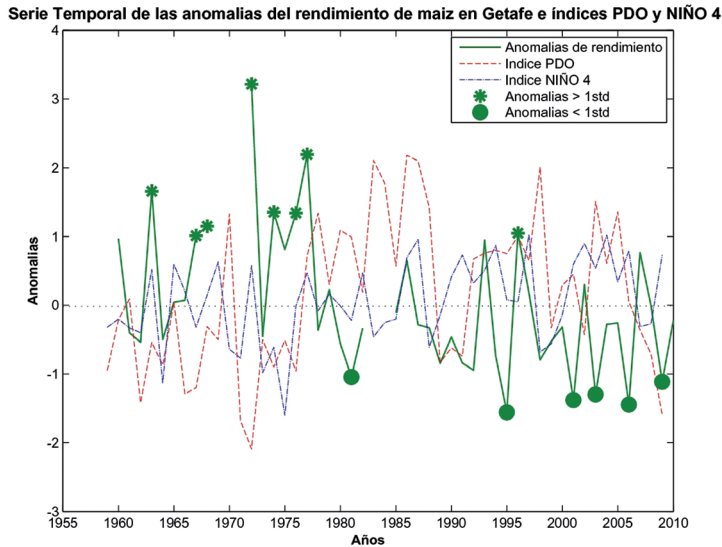


FIG. 6: Evolución de la series temporales de las anomalías de rendimiento de maíz en Getafe y las anomalías de los índices Niño 4 del mes de septiembre (previo al periodo del cultivo) y de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) del mes de marzo (del año previo al ciclo del cultivo).

4. DISCUSIÓN

La relación que se ha encontrado en este trabajo con el fenómeno de El Niño presenta similitudes con trabajos anteriores, en los que se ha relacionado la presión al nivel del mar y El Niño en Europa (van Oldenborgh *et al.*, 2000; Brönnimann *et al.*, 2007, etc). López-Parages y Rodríguez-Fonseca (2012) han observado un comportamiento dipolar en Europa en primavera: una correlación positiva con la presión a nivel del mar en la Península Ibérica y el Mediterráneo y negativa en el norte-centro de Europa. Lugo se encuentra en medio de ambas regiones y sus correlaciones tienden a ser similares a las de centro-Europa. Así, cuando hay un evento de El Niño la presión a nivel del mar en esa región disminuye y aumenta en el sureste Peninsular. Nuestros resultados al correlacionar las anomalías del rendimiento de maíz en regadío en la Península Ibérica y el fenómeno de El Niño muestran que el comportamiento dipolar se transmite a los rendimientos agrícolas: en los años de La Niña el rendimiento aumenta en el noroeste de la Península Ibérica (Lugo) y disminuye en el Centro-suroeste (representado por Getafe y Albacete). Sin embargo, este comportamiento dipolar no se observa en los años de El Niño, encontrándose una relación en Lugo pero no en el resto de estaciones, donde aparecen correlaciones más importantes con la Oscilación Decadal del Pacífico.

Las simulaciones de cultivos incluidas en este trabajo han utilizado observaciones de AEMET. En el futuro inmediato se utilizarán datos de reanálisis para obtener series temporales de rendimientos más largas y confirmar los resultados preliminares obtenidos a partir de la relación del rendimiento y los eventos de El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico en el Sureste de la Península Ibérica. Un aspecto que queda por explicar son las causas de la mayor variabilidad en la serie de rendimiento en Getafe antes de 1980, no explicadas por una mayor variabilidad de las variables climáticas.

El hecho de que en Lugo la correlación entre las anomalías del rendimiento y del índice El Niño sea mayor que la correlación entre las anomalías de éste y las variables climáticas, empleadas como entradas del modelo de cultivo indica que el cultivo actúa como un indicador bioclimático integrado que permite mejorar la detección de relaciones, tal vez porque el modelo de cultivo considera la amplitud diurna de las temperaturas y no solo el valor medio diario, así como la interacción entre las

variables de clima y otras características astronómicas y geográficas (latitud, fotoperiodo, día del año, etc).

Las relaciones encontradas pueden ser útiles para anticipar anomalías de rendimientos (más altos o bajos de lo normal) lo que nos pueden ayudar a adaptar un sistema de cultivo con antelación: contratación de seguros, cambios en fechas de siembra, cosecha, elección de especies y variedades, así como cambios en el manejo de la fertilización y el riego.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo ha demostrado la influencia de el fenómeno de El Niño sobre el cultivo de maíz en regadío en algunas localidades clave de la Península Ibérica, mediante el empleo de modelos de cultivo calibrados en puntos específicos. Además, se ha encontrado como este fenómeno afecta de manera diferente según la localización en la Península Ibérica:

- En el noroeste de la Península Ibérica los resultados muestran una correlación lineal significativa entre las anomalías de la temperatura del mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial, asociadas al fenómeno de El Niño y el rendimiento, siendo la máxima correlación -0.62 con la TSM de julio.
- En el sureste una parte importante de la variabilidad no se puede explicar mediante un simple análisis lineal: los altos rendimientos están asociados con la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y los bajos rendimientos están asociados con eventos de La Niña, no obteniendo nada concluyente para eventos de El Niño.

Las relaciones encontradas se pueden aplicar a la mejora de la predictabilidad de los rendimientos agrícolas anuales, lo que contribuiría a la adaptación temprana de los sistemas de cultivo y a una mejora en la gestión del riesgo, combinando herramientas como los seguros agrarios y cambios en variedades y manejo.

Agradecimientos

La investigación realizada por M. Capa-Morocho ha sido parcialmente financiada por una beca pre doctoral PICATA del Campus de Excelencia Internacional Moncloa (UCM-UPM).

Se agradece también a la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET, <http://www.aemet.es>) por proporcionar gratuitamente los datos, y al instituto Técnico Agronómico de Albacete (ITAP: <http://www.itap.es/>).

REFERENCIAS

- Brönnimann, S. (2007). Impact of El Niño–Southern Oscillation on European climate, *Rev. Geophys.*, 45, RG3003, doi:10.1029/2006RG000199.
- Cane MA, Eshel G. and Buckland R. (1994). Forecasting Zimbabwean maize yield using eastern equatorial Pacific sea surface temperature. *Letter to Nature*. 370: 204-205.
- Gabriel JL and Quemada M. (2011). Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertiliser fate. *Eur J Agron*. 34: 133-143.
- Gimeno L, Ribera P, Iglesias R, de la Torre L, García R and Hernández E. 2002. Identification of empirical relationships between indices of ENSO and NAO and agricultural yields in Spain. *Clim Res*. 21: 165–172.
- Hoogenboom G, Porter CH, Wilkens PW, Boote KJ, Hunt LA, Jones JW, Lizaso JL, Singh U, White JW, Royce FS, Ogoshi R, Gijsman AJ, and Tsuji. GY (2010). The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Past, Current and Future Developments. p. 50-51. In Program and Summaries of the 40th Biological Systems Simulation Conference, the University of Arizona, Maricopa, Arizona.
- Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete, ITAP: <http://www.itap.es/>
- Jones CA and Kiniry JR. (1986). CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press, College Station, Texas.
- Kalnay, E. and Coauthors, (1996): The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.

- López-Cedrón FX, Boote KJ, Ruiz-Nogueira B, Sau F. (2005). Testing CERES-Maize versions to estimate maize production in a cool environment. *Eur J Agron.* 23:89–102.
- López-Cedrón FX, Boote KJ, Piñeiro J and Sau F. (2008). Improving the CERES-Maize model ability to simulate water deficit impact on maize production and yield components. *Agron. J.* 100:296-307.
- Maturano M. (2002). Estudio del uso del agua y del nitrógeno dentro del marco de una agricultura sostenible en las regiones Castellano-Manchega y Argentina. Tesis Doctoral. 246 pp. Universidad de Castilla-La Mancha.
- Porter J and Semenov M. (2005). Crop responses to climatic variation. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 360, 2021-2035.
- Rodríguez-Puebla C, Ayuso S, Frias M and García-Casado L. (2007). Effects of climate variation on winter cereal production in Spain. *Clim Res.* 34: 223.
- Ruiz-Ramos R. and Mínguez MI (2010). Evaluating uncertainty in climate change impacts on crop productivity in the Iberian Peninsula. *Clim Res.* 44: 69-82.
- Smith TM, Reynolds RW, Peterson TC and Lawrimore J. (2008). Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880-2006). *J Climate.* 21: 2283-2296.
- Trenberth KE. and Hurrell JW (1994). Decadal Atmosphere-Ocean Variations in the Pacific. *Climate Dyn.* 9: 303-319.
- van Oldenborgh, G. J., G. Burgers, and A. Klein Tank (2000). On the El Niño teleconnection to spring precipitation in Europe, *Int. J. Climatol.*, 20, 565-574.

