

Relaciones entre la variabilidad climática y la productividad de trigo en España

Concepción RODRÍGUEZ-PUEBLA¹; Ascensión H. ENCINAS y M.^a Dolores FRÍAS

¹ Universidad de Salamanca; Física General y de la Atmósfera
concha@usal.es

RESUMEN

En este trabajo obtenemos relaciones entre la productividad anual de trigo en España y la variabilidad climática. Los primeros resultados indican que la productividad de trigo es más sensible a las variaciones climáticas del mes de mayo, siendo la asociación positiva con la precipitación y negativa con la temperatura máxima. El efecto de estos elementos climáticos se puede sintetizar en un índice de circulación que caracteriza el tipo de tiempo asociado a la depresión hacia el Golfo de Cádiz, este régimen de circulación atmosférica favorece la productividad de trigo en España. Los métodos utilizados son las funciones empíricas ortogonales, análisis de correlación y composición de mapas, mediante los cuales filtramos señales de variabilidad climática observada y las relacionamos con la productividad de trigo. Los datos climáticos utilizados son temperatura máxima y mínima, precipitación, altura geopotencial y viento. Una de las aplicaciones potenciales de este estudio es la de deducir las producciones a partir de regímenes de tiempo esperados mediante modelos estadísticos o dinámicos.

Palabras clave: productividad de trigo, temperatura, precipitación, índices de circulación, variabilidad climática, clima y agricultura, clima y estadística.

Relationships between Climatic variations and wheat productivity over Spain

ABSTRACT

In this paper, the relationships between annual wheat productivity and climate variability in Spain are obtained. The preliminary results indicate that wheat production is most sensitive to climate variations of May, the association is found to be positive with precipitation and negative with maximum temperature. The effect of these climate elements were represented by a circulation index that account for the weather type «Golfo de Cádiz» which is favorable for wheat productivity. Empirical orthogonal functions, correlation and composite analyses were the methods used to filter signals of observed climate variations and to relate them to the wheat productivity. We have used the following climatic elements: maximum and minimum temperature, precipitation, geopotential height and wind. The potential applications of this study are to downscale agricultural productions from the expected weather regimes which could be predicted by using dynamical or statistical methods.

Keywords: wheat productivity, temperature, precipitation, circulation indices, climatic variability, climate and agriculture, statistics and climate.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Datos y métodos. 3. Resultados. 4. Conclusiones. 5. Agradecimientos. 6. Referencias bibliográficas.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de la respuesta de las producciones agrícolas a factores climáticos tiene gran interés para el uso adecuado de los recursos y por los beneficios

económicos que se pueden conseguir (Changnon y Kunkel 1999). Los modelos del sistema suelo-planta-atmósfera consideran factores de irrigación, fertilizantes y ambientales que permiten reconocer las condiciones óptimas para los ciclos vegetativo y reproductivo de las plantas. Estos modelos también se aplican para determinar el impacto potencial del cambio climático en la agricultura. En este sentido, se han desarrollado experimentos de productividad de trigo bajo cambios de CO₂ y O₃ (Adams et al. 1990; Batts et al. 1997; Bender et al. 1999; van Oijen y Ewert 1999; Lawrory Mitchell 2000; Schneider et al 2000; Guereña et al. 2001; Reilly et al. 2003). Por lo general, los modelos agrícolas no se ajustan adecuadamente a las producciones reales (Landau et al. 1998), lo cuál sugiere la necesidad de analizar los datos históricos de producciones agrícolas junto con los climáticos. Las relaciones empíricas que se deriven permitirán: por una parte, atenuar los riesgos agrícolas debidos a las variaciones climáticas; y además, facilitar la labor de calibración de los modelos de cosechas a las peculiaridades climáticas regionales. Por ejemplo, actualmente se han conseguido importantes logros en las predicciones climáticas estacionales por métodos estadísticos, como es el caso del fenómeno El Niño. Una de las aplicaciones de estas predicciones es la adaptar los tipos de cosechas a los periodos secos y húmedos (Adams et al. 1999; Ferreyra et al. 1999; Changnon y Winstanley 2000; Zubair 2002).

Entre los trabajos que estudian diferentes aspectos de las relaciones existentes entre las variaciones climáticas y las producciones agrícolas encontramos el de Jones y Davis (2000) que relacionaron la circulación regional y situaciones sinópticas con las producciones vitícolas de la región de Burdeos (Francia) mediante análisis de conglomerados; Esteves y Manso Orgaz (2001) relacionaron la calidad del vino de la región de Viseu (Portugal) con la temperatura y precipitación. Scian (2004) obtuvo las relaciones entre las producciones de trigo en la pampa Argentina con variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación y derivadas como el agua disponible en el suelo, la evaporación, índices de sequía de Palmer y con anomalías de humedad. Métodos de regresión han sido usados por Alexandrov and Hoogenboom (2000) para describir la influencia de la temperatura y precipitación en los cereales de Bulgaria. Menzel (2003) relacionó las observaciones de 20 plantas de Alemania con variables climáticas y con la NAO (Oscilación del Atlántico Norte).

En este trabajo, analizamos la respuesta de la producción de trigo en España a las variaciones climáticas observadas. El estudio empírico/estadístico combina los efectos de la temperatura, precipitación y circulación atmosférica para representar la variabilidad climática, la cuál se relaciona con la productividad de trigo. Este análisis permite caracterizar las condiciones atmosféricas favorables para el desarrollo de la producción de trigo en España.

En la sección datos y métodos se describen: los datos iniciales y el procedimiento que hemos utilizado para procesar los datos y que cumplan requisitos necesarios para aplicar las técnicas estadísticas; también, se menciona brevemente los métodos aplicados para extraer señales de variabilidad de los datos climáticos. En la sección resultados presentamos las relaciones entre las señales de variabilidad climática y las series de productividad de trigo. Estos resultados permiten identificar los regímenes

de tiempo y patrones de teleconexión que influyen en la productividad de trigo, lo cuál nos ofrece una aplicación potencial de gran interés (Ogallo et al. 2000), ya que los modelos climáticos predicen con bastante aproximación los modos de variación de la circulación atmosférica.

2. DATOS Y MÉTODOS

Los datos de partida son: producción de trigo y superficie dedicada al cultivo, proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (<http://www.mapya.es>); precipitación acumulada mensualmente y promedios de temperaturas máxima y mínima mensuales, proporcionadas por los Institutos de Meteorología de España y Portugal; datos de presión al nivel del mar, altura geopotencial y viento del proyecto de reanálisis NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) (Kalnay et al. 1996; Kistler et al. 2001, <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html/>).

La distribución espacial de la productividad de trigo se presenta en la Fig. 1, en la que se puede observar la mayor concentración en la meseta central. La productividad o rendimiento se determina mediante la relación entre cantidades de trigo y superficie

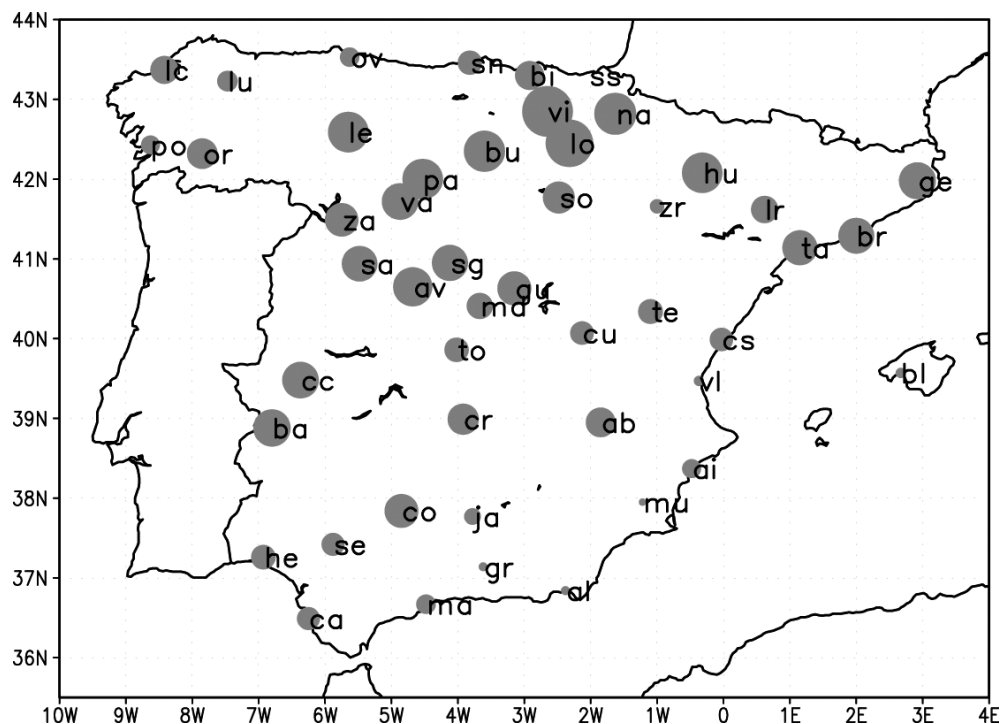


Figura 1. Distribución espacial de las regiones con productividad de trigo en España.

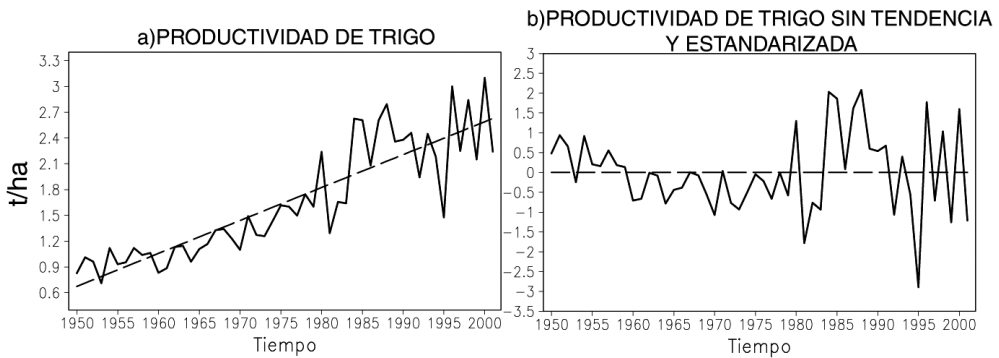


Figura 2. Evolución de la productividad de trigo: a) serie total; b) serie estandarizada y sin tendencia lineal.

dedicada al cultivo. Por término medio se producen 5 millones de toneladas de trigo en España por año y la productividad media es de 1.6 toneladas por hectárea y año.

En la Fig. 2a se muestra la serie histórica de productividad de trigo entre los años 1950 al 2001. Observamos un aumento de productividad con el transcurso del tiempo, es de esperar que esta tendencia creciente sea debida a la mejora de las prácticas agrícolas. Por este motivo, filtramos la componente de tendencia de la serie original y estandarizamos los datos restando el valor medio y dividiendo por la desviación estándar. La serie procesada se presenta en la Fig. 2b, la cuál refleja mayor variabilidad en los últimos años. Los parámetros estadísticos de las series original y procesada se muestran en la Tabla 1. Como es lógico la tendencia, medida con el test Z de Mann-Kendall, experimenta una gran reducción. Además, los valores de los coeficientes de curtosis y de asimetría nos indican la aproximación de los datos a las condiciones de normalidad (von Storch y Zwiers 1999).

La metodología que vamos a utilizar tiene como principales objetivos extraer señales de variabilidad de los datos climáticos y determinar sus relaciones con las variaciones del cultivo. Por ello, atendiendo a las consideraciones de Preisendorfer y Mobley (1988) y Zwiers y von Storch (2004), aplicamos los siguientes métodos:

- Análisis de componentes principales o funciones empíricas ortogonales (EOFs) para identificar los modos de variación correspondientes a los campos climáticos.
- Correlaciones entre la productividad de trigo y los campos climáticos junto con mapas compuestos correspondientes a extremos de productividad para interpretar las relaciones e identificar las propiedades de los flujos atmosféricos favorables para la productividad.
- Proponemos modelos estadísticos de regresión lineal generalizada que considera como predicando la productividad de trigo y como predictores los modos de variación de los campos climáticos.

3. RESULTADOS

Para seleccionar los campos climáticos que influyen en la productividad de trigo hemos proyectado la serie histórica de productividad en los campos de precipitación acumulada mensualmente, de temperatura máxima y mínima promediada mensualmente y en el promedio mensual de altura geopotencial a 700 hPa. Los coeficientes de correlación más significativos se obtienen para el mes de mayo. Por lo que hemos seleccionado las variables climáticas de este mes por ser el que refleja asociación significativa con la productividad de trigo.

Las Figs. 3a, 3b y 3c muestran la distribución espacial de los coeficientes de correlación entre el cultivo y los campos de precipitación (prec), temperatura máxima (Tmax) y altura geopotencial (hgt). La asociación es positiva con la prec y negativa con la Tmax. El mapa de correlación entre la productividad de trigo y el campo hgt refleja una estructura dipolar que recuerda al patrón del Atlántico Norte (NAO) (Lamb y Peppler 1987) desplazado hacia el sureste. De este análisis obtenemos que las anomalías positivas de precipitación y negativas de temperatura máxima del mes de mayo son

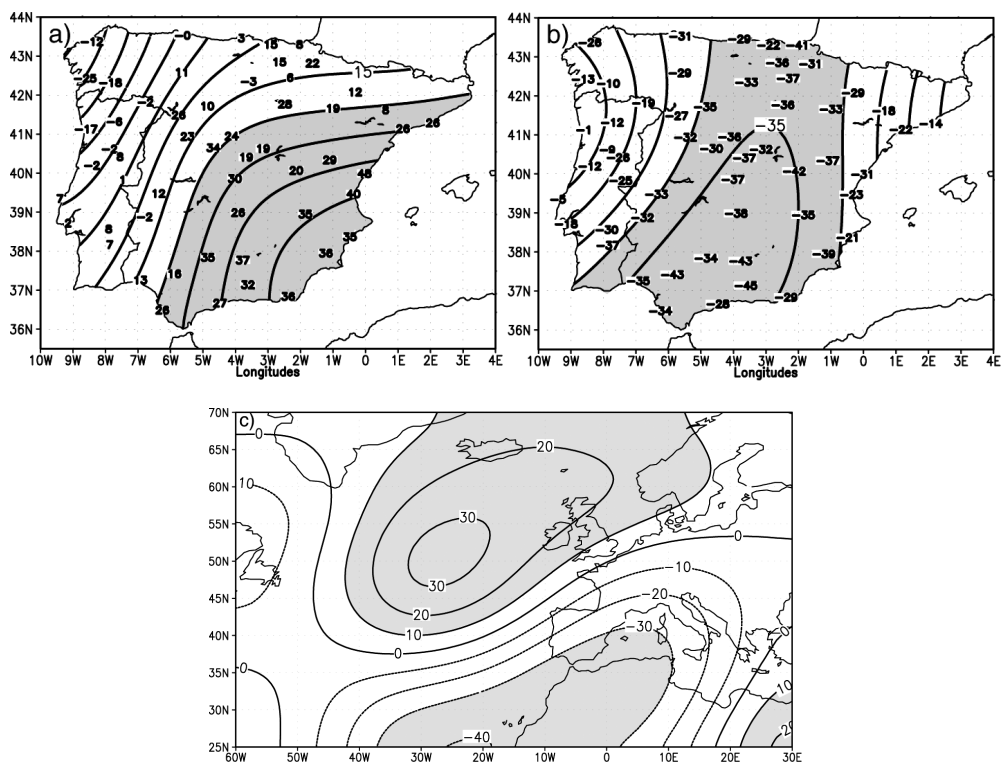


Figura 3. Coeficientes de correlación (%) entre la productividad de trigo y: a) la precipitación del mes de mayo; b) la temperatura máxima del mes de mayo; c) la altura geopotencial del mes de mayo.

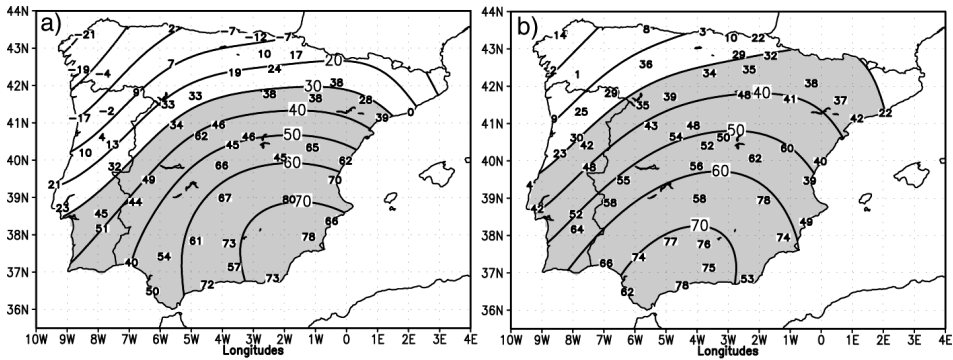


Figura 4. Tercer modos de variación de: a) precipitación, *prec_EOF3* (15% de varianza descrita); b) temperatura máxima, *Tmax_EOF3* (22% de varianza descrita).

las condiciones climáticas más favorables para la productividad de trigo. Estos resultados son consistentes con los procesos fisiológicos del cultivo, el exceso de calor tiene efectos negativos sobre las cosechas porque aumenta la velocidad de crecimiento, mientras que la precipitación favorece la actividad fotosintética. Trnka et al. (2004) obtienen resultados sobre los efectos negativos de la temperatura en la productividad de trigo en Europa mediante escenarios climáticos.

Las configuraciones de los mapas de correlación entre la productividad de trigo y los campos climáticos *Tmax* y *prec* mantienen cierto parecido con las configuraciones del tercer modo de variación más significativo de dichos campos climáticos. Para la obtención de estos modos se ha aplicado la técnica de funciones empíricas ortogonales rotadas por varimax. Estos modos de variación o tercera función empírica ortogonal rotada de *prec* y *Tmax* de mayo se muestran en las Figs. 4a y 4b respectivamente.

Como conclusión de estas relaciones proponemos los siguientes índices climáticos para analizarlos conjuntamente con la variabilidad de la productividad agrícola:

- El modo de variación 3 (*prec_EOF3*) de la precipitación de mayo, que contribuye con el 15% a la varianza de la precipitación.
- El modo de variación 3 (*Tmax_EOF3*) de la temperatura máxima de mayo, que contribuye con el 22% a la varianza de este campo.
- El índice NAO del mes de mayo obtenido como diferencia de presiones al nivel del mar entre Gibraltar e Islandia (Jones et al. 1997).
- Un índice representativo de la altura geopotencial a 700 hPa sobre una región comprendida entre las coordenadas geográficas 30°N-35°N, 7.5°W-2.5°W, al que vamos a denominar índice del Golfo de Cádiz (GCA). La selección de este índice está basada en la contribución de la depresión centrada hacia el golfo de Cádiz a favorece la productividad de trigo de España.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de correlación entre la productividad de trigo y los índices climáticos representativos de estados térmicos (*Tmax_PC3*), hídricos (*prec_PC3*) y de flujos atmosféricos que influyen en la productividad de trigo

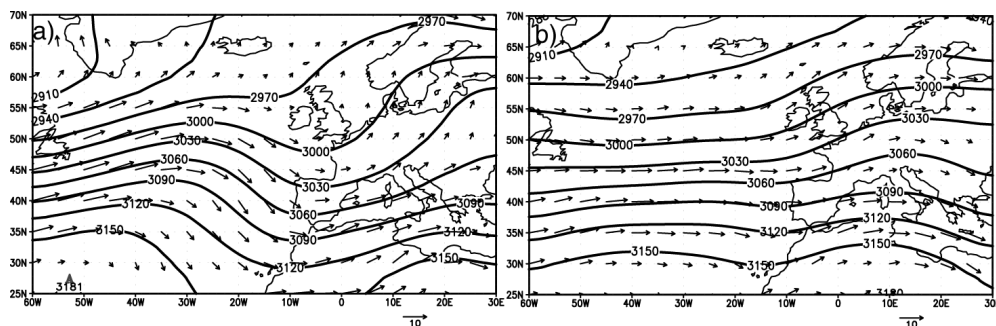


Figura 5. Mapas de geopotencial y viento a 700 hPa del mes de mayo para: a) años con producción alta 1984, 1985, 1988 y 1996; b) años con producción baja 1981, 1995, 1999 y 2001.

(NAO y GCA). Para una serie de 51 datos no autocorrelacionados los coeficientes de correlación son significativos al nivel del 95% si superan el valor de 0.21.

Con el fin de obtener las características de los flujos atmosféricos que influyen en la producción de trigo, hemos extraído los cuatro años con mayor productividad (1984, 1985, 1988 y 1996) y los cuatro años con menor productividad (1981, 1995, 1999 y 2001) de trigo y construimos los mapas compuestos de geopotencial y viento a 700 hPa (Figs. 5a y 5b). Obtenemos que la circulación ondulada o meridional favorece la productividad de trigo, mientras que la circulación de tipo zonal la perjudica.

Finalmente, proponemos un modelo empírico estadístico que va a representar la influencia de la variabilidad climática a gran escala con un fenómeno de carácter regional como es la productividad de trigo. De los potenciales predictores *prec_PC3*, *Tmax_PC3*, NAO y GCA, el modelo de regresión generalizado (IMSL 1997) selecciona los índices *prec_PC3* y GCA, con un coeficiente de regresión de $r = 0.54$. La Fig. 6 muestra la evolución de la productividad observada y la estimada mediante el modelo que sintetiza los efectos de la variabilidad climática. Se observa como estos efectos son más representativos en el periodo central de la serie, mientras que no recogen toda la variabilidad de la serie observada en los últimos años.

4. CONCLUSIONES

En este estudio hemos analizado la variabilidad interanual de la serie de productividad de trigo conjuntamente con la de los campos climáticos que contribuyen a dicha variabilidad.

Entre los resultados obtenidos destacamos: las variaciones de precipitación y temperatura máxima en el mes de mayo son las más influyentes para la productividad; la asociación con la precipitación es positiva y con la temperatura máxima negativa; el tipo de circulación atmosférica, que causa precipitaciones abundantes en el mes de mayo y anomalías negativas de temperatura máxima en la meseta central y el sur de la península Ibérica, es una depresión localizada en el golfo de Cádiz (GCA) relacionado

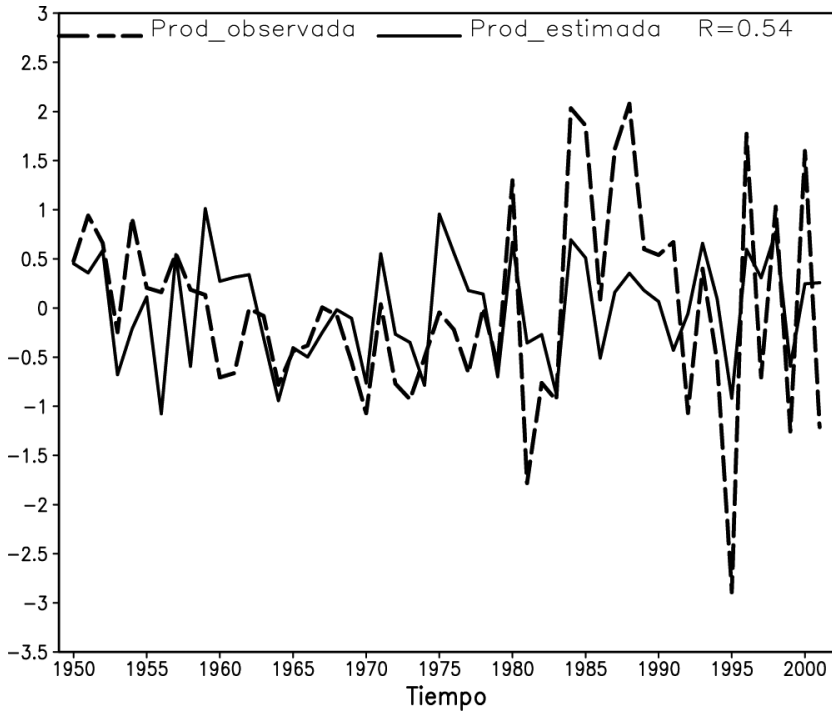


Figura 6. Evolución de las producciones de trigo observadas (línea discontinua) y estimada (línea continua) mediante índices climáticos.

con la fase negativa de la NAO. Este sistema atmosférico favorece, a su vez, la productividad de trigo.

Examinando las situaciones sinópticas correspondientes a los meses de mayo en años de productividad de trigo extrema, hemos comprobado que la circulación de tipo meridional favorece la productividad, mientras que la zonal la perjudica.

La contribución del clima a la variabilidad de la productividad de trigo en España se puede resumir con los índices de precipitación (prec_PC3) y de circulación GCA, los cuáles se incluyen en un modelo empírico/estadístico de regresión lineal generalizada.

5. AGRADECIMIENTOS

El trabajo se ha realizado con la ayuda de los proyectos de investigación CICYT: REN2002-04584-CO4-02/CLI y de la Junta de Castilla y León SA027/02. Agradecemos a los Institutos de Meteorología de España y Portugal y al NCEP/NCAR por los datos suministrados. También deseamos expresar nuestro agradecimiento a los desarrolladores del software GrADS.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, R. M.; C. ROSENZWEIG, R. M. PEART, J. T. RITCHIE, B. A. McCARL, J. D. GLYER, R. B. CURRY, J. W. JONES, K. J. BOOTE & L. H. ALLEN (Jr.) (1990). Global climate change & US agriculture. *Nature*, 345, 219-224.
- ADAMS, R. M.; C. C. CHEN, B. A. McCARL & R. F. WEIHER (1999). The economic consequences of ENSO events for agriculture. *Clim. Res.*, 13, 165-172.
- ALEXANDROV, V. A. & G. HOOGENBOOMB (2000). The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104, 315-327.
- BATTS, G. R.; J. I. L. MORISON, R. H. ELLIS, P. HADLEY & T. R. WHEELER (1997). Effects of CO₂ and temperature on growth and yield of crops of winter wheat over four seasons. *European Journal of Agronomy*, 7, 43-52.
- BENDER, J.; U. HERTSTEIN & C. R. BLACK (1999). Growth and yield responses of spring wheat to increasing carbon dioxide, ozone and physiological stresses: a statistical analysis of «SPACE-wheat» results. *European Journal of Agronomy*, 10, 185-195.
- CHANGNON, S. A. & K. E. KUNKEL (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.
- CHANGNON, S. A. & D. WINSTANLEY (2000). Long-term variations in seasonal weather conditions important to corn production in Illinois. *Climate Change*, 47, 353-372.
- ESTEVEZ, M. A. & M. D. MANSO ORGAZ (2001). The influence of climatic variability on the quality of wine. *Int. J. Biometeor.*, 45, 13-21.
- FERREYRA, R. A.; G. P. PODESTÁ, C. D. MESSINA, M.O. GRONDONA & G. O. MAGRIN (1999). Associations between grain crop yields in central-eastern Argentina & El Niño-Southern oscillation. *J. Appl. Meteor.*, 38, 1488-1498.
- GUERENA, A.; M. RUIZ-RAMOS, Ch. DÍAZ-AMBRONA, J. R. CONDE & M. I. MÍNGUEZ (2001). Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. *Agronomy Journal*, 93, 237-249.
- IMSL (1997). *Fortran subroutines for statistical Applications*. Stat/Library vol. 1 and 2. Visual Numeric S.A.
- JONES, P. D.; T. JONSSON & D. WHEELER (1997). Extension to the north Atlantic oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west iceland. *Int. J. Climatol.*, 17, 1433-1450.
- JONES, G. V. & R. E. DAVIS (2000). Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *Int. J. Climatol.*, 20, 813-837.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE & D. JOSEPH (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- KISTLER, R.; E. KALNAY, W. COLLINS, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLEN, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, M. KANAMITSU, V. KOUSKY, H. VAN DER DOOL, R. JENNE & M. FIORINO (2001). The NCEP-NCAR 50 year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247-267.
- LAMB, P. J. & R. A. PEPPLER (1987). North Atlantic oscillation: Concept and an application. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1218-1225.

- LANDAU, S.; R. A. C. MITCHELL, V. BARNETT, J. J. COLLS, J. CRAIGON, K. L. MOORE & R. W. PAYNE (1998). Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89, 85-99.
- LAWROR, D. W. & R. A. C. MITCHELL (2000). Crop ecosystem response to climate change: wheat, in: Reddy K. R. & H. F. Hodges (eds.), *Climate change and global crop productivity*. CABI Publishing, 57-80.
- MENZEL, A. (2003). Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climate Change*, 57, 243-263.
- OGALLO, L. A.; M. S. BOULAHYA & T. KEANE (2000). Applications of seasonal to interannual climate prediction in agricultural planning and operations. *Agr. For. Meteorol.*, 103, 159-166.
- PREISENDORFER, R. W. & C. D. MOBLEY (1988). *Principal Component analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier.
- REILLY, J.; F. TUBIELLO, B. McCARL, D. ABLER, R. DARWIN, K. FUGLIE, S. HOLLINGER, C. IZAURRALDE, S. JAGTAP, J. JONES, L. MEARNES, D. OJIMA, E. PAUL, K. PAUSTIAN, S. RIHA, N. ROSENBERG & C. ROSENZWEIG (2003). U.S. Agriculture and climate change: new results. *Climate Change*, 57, 43-69.
- SCIAN, B. V. (2004). Environmental variables for modeling wheat yields in the southwest pampa region of Argentina. *Int. J. Biometeorol.*, 48, 206-212.
- SCHNEIDER, S. H.; W. E. EASTERLING & L. O. MEARNES (2000). Adaptation: sensitivity to natural variability, agent assumptions and dynamic climate changes. *Climate Change*, 45, 203-221.
- TRNKA, M.; M. DUBROVSKY, D. SEMERA 'DOVA', & Z. ALUD (2004). Projections of uncertainties in climate change scenarios into expected winter wheat yields. *Theor. Appl. Climatol.*, 77, 229-249.
- VAN OIJEN, M. & F. EWERT (1999). The effects of climatic variation in Europe on the yield response of spring wheat cv. Minaret to elevated CO₂ and O₃: an analysis of open-top chamber experiments by means of two crop growth simulation models. *European Journal of Agronomy*, 10, 249-264.
- VON STORCH, H. & F. W. ZWIERS (1999). *Statistical analysis in climate research*. Cambridge University press.
- ZUBAIR, L. (2002). El Niño Southern Oscillation influences on rice production in Sri Lanka. *Int. J. Climatol.*, 22, 249-60.
- ZWIERS, F. W. & H. VON STORCH (2004). On the role of statistics in climate research. *Int. J. Climatol.*, 24, 665-680.