

RECONSTRUCCIÓN DE SERIES DE PRECIPITACIÓN EN ESPAÑA TRAVÉS DEL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE SECANO

José María GARCÍA MERINO, Javier GONZÁLEZ PÉREZ
Grupo de Ingeniería del Agua, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. UCLM
josemaria.garcia@uclm.es, javier.gonzalez@uclm.es

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo agrometeorológico de las producciones agrícolas que permita relacionar las condiciones meteorológicas con las productividades agrícolas de los diferentes cultivos y zonas de España. Así, tras la calibración y validación del modelo se tratará de reconstruir los valores de precipitación anual asociados a los valores de las producciones agrícolas entre los siglos XVI al XIX, recogidas en los registros de las diferentes fuentes historiográficas, pudiéndose llegar a reconstruir parcialmente las series de precipitación hasta el siglo XVI.

Palabras clave: agrometeorológico, precipitación, reconstrucción, diezmos, productividad agrícola.

ABSTRACT

The objective of this research is to develop a model agrometeorological of agricultural production that allows linking weather conditions with the agricultural productivity of different crops and areas of Spain. So after the calibration and validation of the model trying to rebuild the values of annual precipitation associated with the values of agricultural production among the sixteenth to nineteenth centuries reflected in the records of different sources historiographic and it can partially reconstruct precipitation series until the sixteenth century.

Keywords: Agrometeorological, precipitation, reconstruction, tithe agricultural productivity.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto SINEAQUA se enmarca dentro del Programa Nacional de Investigación y Desarrollo, (CGL2006-08750/CLI) y el Plan Regional de Investigación de Castilla-La Mancha (PAI06-0048-5308), además dispone del apoyo del Ministerio de Medio Ambiente. Cuenta con una página Web (www.sineaqua.es) en la que a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se puedan consultar las sequías acontecidas en nuestro país que han sido recogidas en una base de datos. SINEAQUA persigue desarrollar una serie de indicadores que permitan identificar y analizar los episodios de sequía en España y dentro del proyecto se engloban tres ramas de la paleoclimatología; la citada agrometeorología, la dendroclimatología y las diferentes noticias históricas sobre meteorología.

Las primeras referencias en Paleoclimatología pertenecen a José María Fontana Tarrats, Mariano Barriendos Vallvé o Ricardo García Herrera entre otros, siguiendo cada uno sus propias metodologías mostraron el potencial que tienen los registros históricos a la hora de realizar reconstrucciones climatológicas y además aportaron como idea fundamental que la Paleoclimatología es una ciencia aún por desarrollar. De forma que tras analizar la utilidad y calibrar las posibilidades intrínsecas de las diferentes ramas paleoclimatológicas y con el imperativo que suponía la búsqueda de un nivel de precisión anual se optó por la agrometeorología para seguir profundizando en el conocimiento del clima pasado.

Los cultivos tienen que cubrir sus necesidades hídricas para un correcto desarrollo, desarrollo sobre el que se genera una influencia negativa cuando se ven sometidos a situación de estrés hídrico. La situación característica de estrés hídrico es fundamentalmente debido a la escasez de agua provocada por un periodo de sequía aunque también puede venir provocado por un exceso de humedad en el suelo, que conlleva una insuficiencia de oxígeno, que da lugar a una respiración anaeróbica cuyas últimas consecuencias son la disminución de la capacidad de absorción de agua (F. MARTÍN DE SANTA OLALLA, 2005). El fenómeno del estrés hídrico debido al encharcamiento tiene mucha menor frecuencia y duración que cuando se atribuye a la sequía que constituye la limitación más importante al desarrollo de los cultivos de secano en el clima mediterráneo.

Esta premisa anterior sugiere que en épocas de sequía la relación entre la disponibilidad de agua por parte del cultivo y las producciones es muy directa, tanto que existen infinitas de modelos que estudian esta relación con diferentes grados de aproximación.

Destacando principalmente los siguientes; **SWAP**, **CERES** y **WOFOST**. **CERES** está basado en el modelo *Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT* descrito por HOOGENBOOM et al. (1995) y asume que el crecimiento de la raíz es proporcional al crecimiento del resto de la planta medido mediante el *LAI* y evalúa como influye el tipo de suelo en el crecimiento de la raíz a través de un factor de ponderación, de forma que se atiende a la disponibilidad de agua en los diferentes perfiles del suelo para estimar el crecimiento de la raíz. **SWAP** se caracteriza por calcular la evapotranspiración máxima mediante *Penman-Monteith* (SMITH, M. 1991) y aplica un valor mínimo por cobertura y resistencia aerodinámica. El cálculo de la evapotranspiración real lo lleva a cabo usando un factor de reducción determinado por la absorción máxima de agua y otro factor de reducción debido a la evaporación máxima del suelo de acuerdo con la ecuación de *Richard* (RICHARDS, L.A. 1941). **WOFOST** se diferencia de **SWAP** principalmente por utilizar la ecuación de *Darcy* (DARCY, H. 1856) para el cálculo de la distribución del agua en la zona no saturada y por calcular la evapotranspiración real a partir de la influencia del déficit o exceso de humedad en el suelo a través de un factor de reducción de la evapotranspiración máxima, el *R_{ws}* (VAN DIEPEN et al. 1988).

El problema es que la aplicabilidad de estos modelos a diferentes zonas de España no es todo lo buena que se puede desear debido a su especificidad y además la disponibilidad de datos que exigen para su implementación está fuera de nuestro alcance. Alcanzar los objetivos de esta investigación requeriría construir un modelo que fuera aplicable al área de estudio en base a los anteriormente descritos y a la disponibilidad de datos existente.

Los objetivos y tiempos de esta investigación pasan por crear un modelo de simulación, realizar la calibración y validación a partir de los datos de producciones agrícolas a nivel

provincial registradas en Anuario de Estadística Agroalimentaria publicado por el MAPA y los datos meteorológicos procedentes del Agencia Estatal de Meteorología y por último utilizar este modelo para reconstruir una serie anual con los valores de precipitación provinciales asociadas a los registros de los diezmos para cada una de las provincias del país. Este desarrollo se ejemplarizará con el caso concreto de la provincia de Valladolid.

2. METODOLOGÍA. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En climas semiáridos el factor más importante en el crecimiento, desarrollo y reproducción es el agua disponible para la planta y cuyo aporte en condiciones de secano depende directamente de las precipitaciones. Siguiendo esta premisa se realizó una primera aproximación comparando los valores de precipitación anual con los valores de producción cuyo resultado no presento el alto grado ajuste esperado a priori. Como posibles causas fueron identificadas la elevada variación que a lo largo del periodo de estudio han sufrido los niveles de productividad y que el fenómeno del estrés hídrico no tiene la misma influencia en la productividad según se produzca en unas fases fenológicas del desarrollo del cultivo u otras, siendo permisibles déficit hídricos en la fase de desarrollo e incluso en la inicial pero muy negativos para la productividad final si se producen durante la floración y la formación del grano. De forma que en la siguiente etapa se opto por considerar diferentes combinaciones de meses mediante la suma de sus registros de precipitación para el cálculo de un valor de precipitación que fuese representativo de la precipitación anual.

En este punto los resultados comenzaban a ser esperanzadores pero aun no se conseguía el nivel de ajuste deseado, la razón que atribuimos a este hecho fue que la precipitación no era la variable meteorológica que mejor representaba la disponibilidad hídrica para la planta, comprendimos que para representar la disponibilidad de agua había que realizar un balance hídrico del suelo de forma que se tuviese la función que este realizaba como almacén hídrico, debido a que la verdadera relación a modelizar era “agua-suelo-planta”. El balance hídrico se realiza en base a una simplificación del modelo hidrológico de Témez (TEMEZ 1977), que permite la simulación del balance de humedad en el suelo a escala mensual. En él se describe el paso de precipitación a escorrentía mediante la simulación continúa de unos pocos parámetros de paso mensual que reproducen los principales procesos de transferencia de agua en el ciclo hidrológico, y permite conocer el balance de humedad del suelo mensualmente a partir de la cual se obtiene los valores de evapotranspiración real, ETa , que es la variable que mejor representa las necesidades hídricas de la planta.

Ahora bien, en el modelo de Témez calcula la ETa asumiendo que los valores de entrada para la evapotranspiración máxima son los valores de la evapotranspiración de cultivo, ETc , procedentes de multiplicar la evapotranspiración máxima, ETm , por un coeficiente de cultivo, Kc . Esta asunción para el modelo que se estaba desarrollando esto era inaceptable cuando $ETa < ETc$ puesto que los estos valores de ETc se corresponden con situaciones donde no se produce estrés hídrico y en el modelo se estaban analizando situación en las que el aporte de agua era limitado de forma que los valores máximos de ETc se alejaban mucho de los verdaderos valores de evapotranspiración máxima. Cuando se daba este supuesto anterior para calcular un valor de evapotranspiración máxima más próximo al verdadero, a partir de los valores obtenidos en el balance hídrico de Témez, se utilizo la metodología descrita por la FAO en el “*Paper n.º.33. Irrigation and Drainage*” (FAO AGL, 2002) en su variante de paso

mensual. Donde además se tenía en cuenta la influencia de las características de la planta en las diferentes etapas fenológicas.

Para finalizar el proceso de cálculo de los valores mensuales de ETa se realizaba de nuevo el balance hídrico de Témez, esta vez tomando los valores resultantes del paso anterior como los valores de la evapotranspiración máxima buscando a través de un proceso tentativo resolver el balance hídrico mensual. De forma que ya conocíamos cuales eran las necesidades hídricas mensuales y unido a que también era conocida la disponibilidad de agua, ya permitía valorar en que etapas se producía estrés hídrico y cual era su influencia en el rendimiento del cultivo mediante la relación descrita por DAREMBOOS y KASSAM (1979) en la siguiente expresión:

$$(1 - Y_a / Y_m)_i = \prod K_{y_i} * (1 - ET_{a_i} / ET_{m_i})$$

donde Y_{a_i} es el rendimiento real del cultivo, Y_{m_i} el rendimiento máxima en condiciones óptimas, K_{y_i} es un factor de respuesta del rendimiento al déficit hídrico y ET_{a_i} y ET_{m_i} ya se conocen. La aplicación del K_y tiene tres variantes; K_y *anual*, un único valor para todo el periodo de cultivo, K_y *en dos periodos*, se aplica un valor de K_y conjuntamente a la fase inicial y de desarrollo y otro valor a la fase final y por ultimo un K_y en tres periodos que diferencia un valor para la fase inicial y de desarrollo, otro para la floración y otro para la formación del grano.

Llegados a este punto tenemos un modelo que simula los valores de Y_a pero que debe ser calibrado y validado. Esta calibración se realiza comparando los valores de Y_a simulados con los procedentes del Anuario de Estadística Agroalimentaria buscando maximizar el factor R^2 de Pearson (VEN TE CHOW, 1988). Los parámetros de entrada ajustados durante la calibración son: la capacidad máxima de retención de agua en el suelo: H_{max} , el parámetro de excedente: C , el coeficiente de cultivo: K_c , la máxima profundidad de las raíces: D , el índice de área foliar: IAF o LAI y el factor del efecto sobre el rendimiento del déficit hídrico K_y . Entre estos parámetros hay que destacar por su grado de significación para un correcto ajuste el K_y , K_c y H_{max} .

El siguiente diagrama muestra la estructura del modelo donde se pueden diferenciar cinco bloques, los dos primeros responden a las diferentes metodologías usadas para calcular la ETa dependiendo de las condiciones de disponibilidad de agua son o no limitantes. En el tercer bloque se implementa de nuevo el modelo de Témez con el resultado de los bloques anteriores para obtener los valores definitivos de la ETa . En el cuarto bloque se calculan los Y_a simulados según DAREMBOOS y KASSAM (1979) y en el quinto y último se realiza el ajuste del factor R^2 de Pearson.

3. APLICACIÓN DEL MODELO A UN CASO DE ESTUDIO

Buscando que la primera aplicación del modelo fuese lo más esperanzadora posible, en cuanto a resultados se refiere, fue fundamental seleccionar atendiendo a las siguientes limitaciones no sólo los cultivos más adecuados sino también la provincia que tuviese mayor potencial. En cuanto a las limitaciones que debían ser atendidas para la elección de los diferentes cultivos destacan; ser un cultivo con amplia representación en todas las provincias para que la reconstrucción sea posible en toda España, ser de secano, tener un periodo vegetativo anual y poseer un amplio registro histórico. Esto reduce la lista de cultivo prácticamente a los cereales

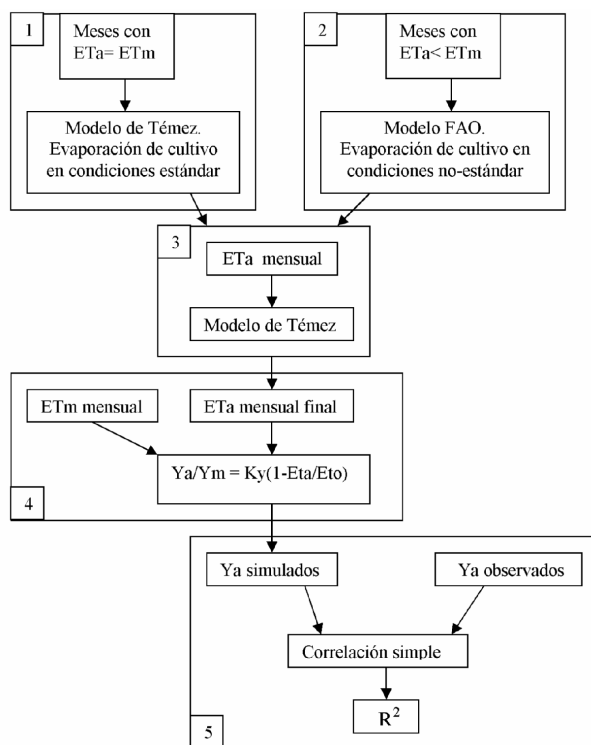


Fig. 1: Diagrama del modelo de simulación continua.

de secano de entre los cuales, según su representatividad, se eligieron tres: cebada, trigo y avena.

Una vez establecidos los cultivos, en la selección de la provincia se tuvieron en cuenta principalmente las siguientes características; máxima uniformidad climática en la zona destinada al cultivo en estudio, homogeneidad en el tipo de suelos destinados al cultivo en estudio, disponibilidad de registros históricos de producciones y referentes a situación de sequía. Dentro del espectro de posibilidades Valladolid fue la elegida.

3.1. Clasificación y descripción de los tipos y usos de suelos en Valladolid

Para este proceso voy a seguir las recomendaciones establecidas por el INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES Y AGROBIOLOGÍA de Sevilla (IRNASE), que ha desarrollado en colaboración con el CSIC el “SISTEMA ESPAÑOL DE INFORMACIÓN DE SUELOS”, *SEISnet*, donde se realiza una clasificación por comarcas de los usos y tipos de suelo para España.

Valladolid se divide en 4 comarcas: *Centro* (VA01), *Tierra de Campos* (VA02), *Sur* (VA03) y *Sureste* (VA04). De cada comarca se realiza dos clasificaciones, una en función de los principales usos del suelo según la siguiente clasificación: usos no agrícolas, cultivos

permanentes, cultivos mixtos, humedales, cultivos anuales, pastizales, bosques o espacios naturales e hidrología, y otra según la *Soil Taxonomy* de 1987 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

Mediante la superposición de los mapas de usos y de tipos de suelos se determina que los suelos dedicados a los cultivos anuales, donde se encontrarían los cultivos de secano, coinciden espacialmente con los suelos denominados *Xerochrept/Xerorthent*, del grupo *Xerochrept*, de la suborden *Ochrept* de la orden *Inceptisol*. Este orden es muy heterogéneo y se caracteriza porque sus componentes tienen un estado de meteorización incipiente sobretodo debido a que se encuadran en zonas áridas o semiáridas. La suborden *Ochrept* proviene de *Óchrico* que significa pobre en materia orgánica y en general de colores claros y se caracteriza por tener la siguiente distribución de perfiles: A, B y C, donde “A” es un horizonte mineral oscurecido por la materia orgánica, “B” es un horizonte mineral formado por en el interior del suelo y “C” es un horizonte mineral poco afectado por procesos edafogénicos, excepto meteorización o hidromorfismo. Descendiendo al último nivel queda que el tipo *Xerochrept* proviene de *Xeric-seco* y *Ochrept*, son suelos relativamente favorables para el desarrollo vegetal, cuya profundidad, pedregosidad y reserva de agua pueden ser variables. Presentan un desarrollo moderado, con epipediones *óchricos* y endopediones *cálcicos*, *petrocálcicos* y *gípsicos*. La capacidad de uso es estos suelos es aceptable no presentando problemas de salinidad, encharcamiento ni erosión. En cuanto al tipo *Xerorthents* decir que son suelos en régimen *xérico*, poco profundos y con escaso desarrollo edáfico, presentando únicamente un epipedión *óchrico*. Tienen la roca a menos de 25 cm. del suelo

Son dos características de estos suelos cuya determinación es necesaria para el modelo: ***profundidad de penetración de raíces y capacidad de campo***. Ante la imposibilidad de realizar un plan de muestreo a nivel provincial donde se estimasen estas dos características lo que se hizo fue, apoyándonos en la literatura ya existente, establecer unas condiciones medias esperadas. Según las fuentes consultadas como el Catálogo de suelos de Extremadura y el Andalucía se tomaron como valor medio de la capacidad de campo 2 mm/cm. y como valor de profundidad máxima de las raíces de 75 cm. este valor se estimó como la media de las diferentes profundidades que presenten del grupo *Xerochrept*. Con estos datos se obtiene una capacidad de campo en el total de suelo de 150 mm.

3.2. Datos utilizados y elaborados

3.2. a. Datos de rendimiento agrícola

Los datos de rendimientos agrícolas utilizados para la calibración y validación de modelo son los registros anuales de producción total y superficie destinada para los cultivos de trigo, avena y cebada a nivel provincial recopilados en el Anuario de Estadística Agroalimentaria publicado por el MAPA desde 1898 hasta el 2005. Mediante la división de los registros de producción por los de superficie se obtienen los rendimientos expresados en Kg./hectárea.

Una condición indispensable para realizar correctamente la validación y calibración es que durante el periodo seleccionado para el ajuste las variables presenten estacionalidad en sus valores, este problema se acentúa en los valores de *Ya* observados. Para solucionarlo a través de un estudio histórico retrospectivo de la tecnificación de la agricultura se establecieron las tres variables principales; el grado de mecanización y la utilización de fertilizantes y fitosanitarios. Entonces para que el periodo seleccionado se considerase estacionario estas variables, además de los valores de *Ya*, no debían de presentar tendencia en sus valores. Consecuentemente se diferenciaron dos periodos estacionarios; el primero desde 1940 hasta

principios de 1960 que es valido para los tres cultivos y el segundo que transcurre de 1980 a 2005 y que en principio sólo es estacionario para la avena y la cebada.

3.2. b. Datos meteorológicos

Los registros han sido suministrados por el C.M.T. en Castilla y León perteneciente a Agencia Estatal de Meteorología y proceden de la red de estaciones meteorológicas distribuidas por la provincia. Los datos necesarios para el desarrollo del modelo son: T^a máxima, T^a mínima y T^a medias mensuales, precipitación media mensual, velocidad media mensual del viento, humedad relativa mensual, horas de luz mensuales. La extensión temporal de las series registradas varía según la estación y la variable considerada.

Para obtener datos areales representativos de la zona destinada a los cultivos seleccionados a partir de registros puntuales de precipitación y temperatura, primero se selecciono aquellas estaciones que se encontrasen en la zona de estudio y segundo se obtuvo la media areal de las diferentes variables a través de un sistema de información geográfica mediante la metodología de los *polígonos de Thiessen* (JULIO VILLAVERDE VALERO y ELENA BORRELL BRITO, 2005) donde se realiza una media ponderada en base al tanto por ciento del área total de la zona seleccionada del que es representativa dicha estación. Las variables restantes solamente poseen datos en la estación de Villanubla en Valladolid por lo que estos registros serán extrapolados a toda la provincia.

Una vez obtenidos los valores representativos de las medias areales para las diferentes variables pasamos a calcular los valores de evapotranspiración máxima mensual por la metodología propuesta por la FAO, *Penman-Monteith modificado* (ALLEN, R.G. et al, 1998). Estos valores dan como resultado la evapotranspiración de cultivo mensual cuando son multiplicados por el coeficiente de cultivo, *Kc*. Los valores de *Kc* para los diferentes cultivos para la zona del Mediterráneo han sido tabulados por la FAO. Debido a la menor disposición temporal de algunos de los registros meteorológicos la evapotranspiración máxima se calculo desde 1940 hasta 2005, fechas que marcan cual es el periodo de tiempo a nuestra disposición para los procesos de calibración y validación.

4. ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. Precipitación frente a rendimientos observados

En base a que en los climas semiáridos la precipitación es el factor más limitante para el rendimiento la primera aproximación que se realizó fue enfrentar diferentes agrupaciones de los datos de precipitación areal con los datos de rendimientos de los diferentes cultivos durante el periodo estacionario, 1980-2005. En un principio se establecieron tres agrupaciones diferentes: “*prep. anual*”, que es la suma de enero a diciembre inclusive; “*prep. durante el periodo de cultivo*”, que como su nombre indica es la suma durante el periodo de cultivo y “*prep. agrícola*”, es la precipitación del año hidrológico. Como se aprecia en la siguiente Tabla 1 los resultados de realizar una correlación simple entre las diferentes agrupaciones y los rendimientos no son nada buenos Estos valores de R^2 indican que la relación existe es muy pequeña, a excepción de la que presenta la “*prep. durante el periodo de cultivo*” y los rendimientos.

Sin embargo no se abandono esta posibilidad y se trato de realizar nuevas agrupaciones que tuviesen en cuenta la diferencia existente entre los efectos del déficit hídrico sobre los rendimientos según la etapa fenológica en que se produce, que son nuevas agrupaciones son: “*prep. oct-feb*”, suma de los valores durante estos meses con el objetivo de analizar la influencia del déficit hídrico hasta el comienzo del desarrollo vegetativo, “*prep. marzo-mayo*”, para comprobar los efectos del déficit hídrico durante la floración y formación del grano y “*prep. nov-dic/mar-mayo*”, suma de la agrupación anterior “*prep. marzo-mayo*” y de los valores de octubre y noviembre que se corresponde con la etapa inicial, de forma que se incluyen las etapas donde el déficit hídrico es mas negativo en la producción. Los resultados muestran claramente que la etapa fundamental en el desarrollo del cultivo se sitúa entre los meses de marzo y mayo. Además se aprecia un peor ajuste para el trigo que se explica con la menor estacionalidad que presenta durante el periodo considerado.

	Trigo	Cebada	Avena
Prep. anual	0,120	0,075	0,134
Prep. durante el periodo de cultivo	0,167	0,249	0,305
Prep. agrícola	0,199	0,125	0,159
Prep. oct-feb	0,114	0,077	0,054
Prep. marzo-mayo	0,416	0,486	0,502
Prep. nov-dic/mar-mayo	0,138	0,142	0,168

Tabla 1: R^2 ENTRE VALORES DE PRECIPITACIÓN Y LOS RENDIMIENTOS OBSERVADOS

4.2. Rendimientos simulados frente a rendimientos observados

Cada uno de estos nueve ajustes se ha realizado de forma individual y mostrando unos valores óptimos de H_{max} (capacidad máxima de retención de humedad del suelo), C (parámetro de excedente), K_c y K_y específicos para cada uno.

	K_y anual	K_y en dos periodos	K_y en tres periodos
Trigo	0,610	0,699	0,719
Cebada	0,740	0,761	0,762
Avena	0,671	0,725	0,718

Tabla 2: R^2 ENTRE RENDIMIENTOS SIMULADOS Y LOS OBSERVADOS

Como se aprecia los mejores ajustes se producen cuando utilizamos un K_y que toma diferentes valores según las diferentes etapas fenológicas. Algo que era de esperar a tenor de los resultados anteriores donde se apreciaba claramente el diferente peso que tienen el déficit hídrico según en que épocas se produzca, de forma que aplicar un K_y *anual* es indicativo de una perdida de información debido a que no se tienen en cuenta el momento fenológico donde se produce el déficit.

El modelo para asignar un valor de precipitación anual a uno de *Ya* concluye una vez que se comparan ambos valores gráficamente, FIGURA 4. Aquí se aprecia como en los años de menor precipitación la relación entre esta y *Ya* es muy directa lo que indica claramente que en estos años el factor limitante de *Ya* es el valor de precipitación. Esto no ocurre en los años con mayor precipitación donde cabe destacar todo lo contrario que los valores de precipitación no influyen en los *Ya*.

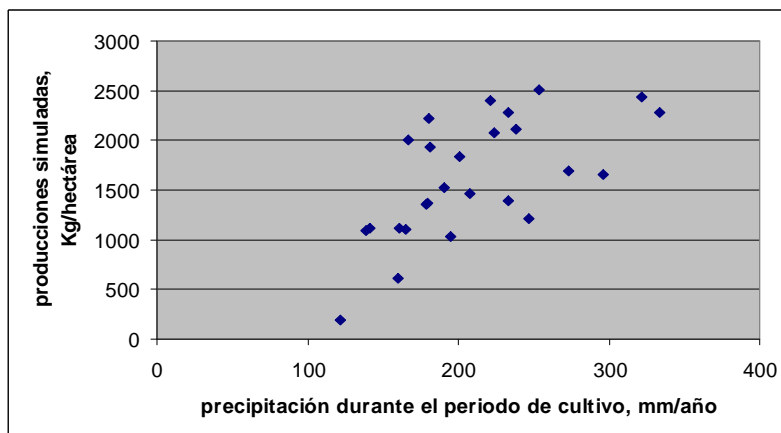


Fig. 2. Precipitación frente a producciones simuladas

5. CONCLUSIONES Y FUTUROS RETOS

5.1. Conclusiones

Es importante destacar la inmensa diferencia existente entre los efectos del déficit hídrico en los rendimientos según en que etapa fenológica se produzca, en concreto y como queda patente por el valor que toma R^2 entorno a 0,5 en las etapas de floración y formación el grano. El mejor ajuste que se produce al utilizar valores diferentes de K_y según la etapa fenológica no hace más que ratificar lo anteriormente dicho.

Al analizar las limitaciones impuestas principalmente por la extensión del área de aplicación del modelo el ajuste de este es más que satisfactorio teniendo en cuenta que alcanza valores de R^2 alrededor de 0,75, quedando recogida la dinámica media de los procesos “suelo-agua-planta” y permitiendo relacionar valores de *Ya* con valores de precipitación anual.

5.2. Futuros retos

Desarrollar una metodología que permita relacionar los valores de rendimientos procedentes del MAPA con los valores registrados en los *diezmos* y posteriormente asignar a cada *diezmo* un valor de precipitación anual, consecuentemente esto permitirá reconstruir los valores de precipitación durante el periodo con registro de *diezmos*. Aprovechar el trabajo realizado en la recopilación de noticias de sucesos extremos durante los últimos siglos a través de diferentes fuentes desde archivos municipales o eclesiásticos hasta paleoclimática para conseguir mejoras en la interpretación de los resultados simulados por el modelo y para validarlos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (1998) *Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO.* FAO. Roma.
- F. MARTIN DE SANTA OLALLA, P. L. FUSTER, A. C. BELMONTE (2005). *Agua y la agronomía.* Mundi-prensa. Madrid
- DARCY, H., 1856. *Les fontaines publiques de la ville Dijon.* Paris.
- HOOGENBOOM, G. et all (1994). *Crop Models, DSSAT Version 3.0.* International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, 692 pp.
- J. DAREMBOOS, W.O. PRUITT (1976) *Las necesidades de agua de los cultivos.* FAO. Roma.
- J. DAREMBOOS, A.H. KASSAM (1979) *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.* FAO. Roma
- J. VILLAVERDE VALERO y E. B. BRITO (2005) “ArcGIS en Hidrología: Trabajar con datos espaciales, tablas, gráficos, edición de datos”. *Master de Hidrologia General y Aplicada. CEDEX*
- RICHARDS, L.A. (1941) “Hydraulics of water in unsaturated soils”. *JOURNAL OF AGRICULTURAL ENGINEERING RESEARCH.* 22. Academic Press.
- SMITH, M. (1991) *Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.* FAO, Rome, 60 pp.
- SUBDIRECION GENERAL DE ESTADISTICA. SERVICIO DE ESTADISTICAS AGRARIAS (1898-2005) *Anuario de estadística agroalimentaria* Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente.
- TEMEZ, J.R. (1977) *Modelo matemático de transformación precipitación-aportación.* Asociación de Investigación. Industrial Eléctrica-ASINEL.
- VAN DIEPEN, C.A., RAPPOLDT, C., WOLF, J., VAN KEULEN, H. (1988) “Crop Growth Simulation Model WOFOST”. *Documentation v. 4.1, Centre for World food studies, Wageningen, The Netherlands,* pp. 99, 299.
- VEN TE CHOW, D. R. MAIDMENT, L. W. MAYS (1988) *Applied hydrology.* McGraw-Hill. USA.
- FAO AGL (2002) *Yield response to water Part A of Irrigation and Drainage paper No. 33.* <http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/cropwater/parta.stm>
- CSIC (1998-2004) *SEISnet. SISTEMA ESPAÑOL DE INFORMACION DE SUELOS sobre Internet.* <http://www.irnase.csic.es/users/microleis/mimam/seisnet.htm>
- FAO (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.* <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>
- AREA DE EDAFOLOGIA Y QUIMICA AGRICOLA DE LA UEX (2002). *Catálogo de suelos de Extremadura.* <http://www.unex.es/edafo/CatSuelos.html>.
- AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCIA (1984). *Catálogo de suelos de Andalucía.* <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/menuitem.a5664a214f73c3df81d8899661525ea0/?vgnextoid=0799bf6d57857010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=ad0c024c1a67f010VgnVCM1000000624e50aRCRD>