

Estimación de las necesidades hídricas del pimentón (*Capsicum annuum* L.) en cinco municipios de Rio Grande do Sul-Brasil

Estimation of water requirements of bell pepper
(*Capsicum annuum* L.) in five municipalities of
Rio Grande do Sul-Brazil

Simulação do balance hídrico do solo no cultivo de
pimentão (*Capsicum annuum* L.). em cinco Municípios Rio
Grande do Sul-Brasil

Richard Alberto Rodríguez Padrón¹, Helena Maria Camilo de Moraes
Nogueira², Roxanna Rosales Cerquera³, Luis Humberto Bahú Ben⁴,
Luciana Marini Kopp⁵ y Fabiano de Vargas Arigony Braga⁶

¹Centro de Ciencia Rural. Universidad Federal de Santa Maria. ²Colegio Politécnico de la Universidad Federal de Santa Maria. ³Curso de Agropecuaria. Colegio Politécnico de la Universidad Federal de Santa Maria. ⁴Estudiante de Doctorado en Ingeniería Agrícola-UFSM. ⁵Universidad Federal de Pelotas. ⁶PhD.en Ingeniería Agrícola.

Resumen

Para determinar el déficit de agua en el suelo se requiere conocer las necesidades hídricas de los cultivos. El objetivo de este estudio fue estimar la lámina de riego suplementario para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum*), asumiendo tres fechas de siembra y cinco municipios. El estudio fue conducido para los Municipios de Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria y Uruguaiana perteneciente a la región centro sur de Rio Grande do Sul-Brasil. Se efectuó análisis de consistencia de las variables climáticas para un periodo de observación de 20 años, seleccionando 15 años para el estudio, en cada localidad. Los datos de suelo fueron obtenidos por observaciones y determinaciones efectuadas en campo, mediante ensayos de laboratorio. Fue utilizado el modelo de simulación WinISAREG®. Para el análisis estadístico se aplicó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial, con dos factores (municipio y fecha de siembra), donde los años fueron las repeticiones. El Municipio de Uruguaiana, fue el de

Recibido el 04-02-2016 ● Aceptado el 12-05-2016

Autor de correspondencia e-mail: ¹rarpadron@gmail.com; ²hcmnogueira@mail.ufsm.br;
³roxannacerquera@gmail.com; ⁴luishumbertobem@hotmail.com; ⁵lucianakopp@gmail.com;
⁶fabianovab@gmail.com

mayor lámina de riego requerida con promedio de 412 mm; en cuanto a Pelotas presentó el menor requerimiento hídrico de 319,8 mm. La evapotranspiración máxima estimada para los cinco municipios fue de 529,7 mm. La lámina de riego promedio para los municipios y las fechas de siembra fue de 365,7 mm. Los resultados podrían ser indicativos para estudios de viabilidades de inversión en sistemas de riego para el cultivo de pimentón en los municipios estudiados.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, pimentón, riego suplementario, evapotranspiración, WinISAREG®, balance hídrico.

Abstract

To determine the water deficit in the soil it is required to know the water needs of the crops. This study aims to estimate the supplemental irrigation depths in bell pepper (*Capsicum annuum* L.), assuming three dates of sowing and five municipalities. The study was conducted in Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria and Uruguaiiana of the Central South region of Rio Grande do Sul-Brazil. Consistency analysis of the climatic variables was conducted for observation periods of 20 years, selecting 15 years for each locality. The soil data was obtained by observations and measurements made on the field through laboratory testing. The simulation model WinISAREG® was used. A completely randomized design with two factors was used for the statistical analysis (municipality and planting date), where the years were replications. The municipality of Uruguaiiana, was the highest requirement of irrigation depth with mean of 412 mm and Pelotas has the lowest irrigation depth requirement with 319.8 mm. The maximum evapotranspiration simulated for the five municipalities was 529.74 mm. The irrigation depths average for municipalities and planting dates was 365.7 mm. The results of this study may be indicative of feasibilities for investment in irrigation systems in bell pepper crop in the municipalities studied.

Key words: *Capsicum annuum*, bell pepper, supplemental irrigation, evapotranspiration, WinISAREG®, hydric balance.

Resumo

Para determinar o déficit de água no solo é preciso conhecer as necessidades hídricas dos cultivos. O objetivo deste estudo foi estimar a capacidade de irrigação suplementaria para o cultivo de pimentão (*Capsicum annuum* L.), assumindo três datas de semeadura e cinco municípios. O estudo foi conduzido para os Municípios de Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria e Uruguaiiana pertencentes à região centro sul de Rio Grande do Sul-Brasil. O analise de consistência das variáveis climáticas foi realizado para um período de observação de 20 anos, selecionando 15 anos para o estudo em cada uma das localidades. Os dados do solo foram obtidos por observações e determinações efetuadas no campo mediante ensaios de laboratório. O modelo de simulação WinISAREG® foi utilizado. Para o

análise estadístico foi empregado um desenho experimental completamente ao acaso com um arranjo fatorial. Com dois fatores (município e data de semeadura), onde os anos são as repetições. O Município de Uruguaiana teve a maior capacidade de irrigação requerida com uma média de 412 mm; concernente as Pelotas apresentou o menor requerimento hídrico de 319,8 mm. A evapotranspiração máxima estimada para os cinco municípios foi de 529,7 mm. A média da capacidade de irrigação para os municípios e as datas de semeadura foi 365,7mm. Os resultados poderiam ser indicativos para estudos de viabilidades de inversão em sistemas de irrigação para o cultivo de pimentão nos municípios estudados.

Palavras chave: *Capsicum annuum*, pimentão, irrigação suplementaria, evapotranspiração, WinISAREG, balance hídrico.

Introducción

El uso más eficiente del agua en la agricultura requiere una comprensión adecuada de las necesidades hídricas de los cultivos, es decir, la evapotranspiración del cultivo y necesidades de agua, obtenidos a partir de los anteriores por el balance de agua en el suelo (Pereira, 2007).

El recurso agua para la agricultura va disminuyendo a medida que la población sigue creciendo. Se considera que el manejo eficaz de este recurso representa el futuro y el uso eficiente del agua en el riego, ha sido la clave de la sostenibilidad y la rentabilidad de cualquier cultivo. El impacto que produce el alto consumo de agua en la región donde este recurso es limitado, alienta al desarrollo de nuevas técnicas que permitirán analizar la administración eficiente del agua.

Hasta hace poco tiempo la tecnología no formaba parte de los factores de producción, actualmente ha sido de tanta importancia económica y social que exige la utilización de algunas técnicas y prácticas culturales que incidieron en la rentabilidad de la producción, entre estas el uso eficiente del agua de riego (Padrón y Swarowsky,

Introduction

The most efficient use of water in the agriculture requires an adequate comprehension of the water needs of the crops, that is, the evapotranspiration of the crop and the needs of water obtained by the water balance in the soil (Pereira, 2007).

The water resource in the agriculture reduces as the population grows. It is considered that the efficient handle of this resource represents the future, and the efficient use of water in the irrigation has been the key for the sustainability and feasibility of any crop. The impact produces a high water consumption in the region where this resource is limited, encourages the development of new techniques that would allow analyzing the efficient administration of water.

Not long ago, the technology was not part of the production factors. Currently, technology has had great economic and social importance that demand the use of some techniques and cultural practices that had an effect in the feasibility of the production; such as the efficient use of irrigation water (Padrón and Swarowsky, 2016). In this matter,

2016). En este contexto, Alexandrov (2011), señaló que la identificación de la vulnerabilidad agrícola a la sequía y la incertidumbre climática requiere el uso de conjuntos de datos del tiempo a largo plazo y de los modelos de predicción.

El riego es una de las prácticas más complejas que debe efectuar el productor, por el número de factores implícitos en el manejo de recursos hídricos (clima, suelo, planta). El balance hídrico del suelo en equilibrio con el clima, es una forma de cuantificar la situación hídrica de un área determinada para un intervalo de tiempo dado, con fines agrícolas, de estudios hidráulicos; con alcance local, regional o nacional, también con fines de diseño y funcionamiento de un sistema de riego. Además, Pereira (2007) mencionó que las necesidades de agua para el riego se estimaron a través del balance hídrico del suelo cultivado. Por lo tanto, se considera que parte de las necesidades de agua se cumplen por las precipitaciones, las reservas de agua del suelo y el ascenso capilar y las salidas de agua corresponden a la evaporación (transpiración por las plantas y la evaporación del suelo), la percolación, además de la zona de la raíz y el posible escurrimiento superficial del suelo.

El empleo de modelos matemáticos que usaron datos de suelo, clima y planta, después de su debida calibración y validado para diferentes condiciones, han dado buenos resultados y se han considerado una herramienta útil para la gestión del agua de riego (Pereira *et al.*, 2003, López *et al.*, 2008).

El modelo *WinISAREG*® es un modelo de simulación para la progra-

Alexandrov (2011) mentioned that the identification of the agriculture vulnerability towards drought and the climatic uncertainty require the use of long term data of the time and the prediction models.

Irrigation is one of the most complex practices that the producer must perform by the number of implicit factors in the handle of water resources (weather, soil, plant). The water balance of the soil in equilibrium to the weather is a way of quantifying the water situation of a determined area for a determined time interval with agricultural purposes of hydraulic researches locally, regionally and nationally, also, with design and functioning purposes of an irrigation system. Additionally, Pereira (2007) mentioned that the water needs for the irrigation were estimated through the water balance of the cropped soil. Therefore, it is considered that part of the water needs are covered by the precipitations, and the water reservoirs of the soil and the capillary growth and water outputs correspond to the evaporation (transpiration by the plants and the evaporation of the soil), percolation, and the root area and the possible surface runoff of the soil.

The use of mathematic models that used data of the soil, weather and plant after their corresponding calibration and validation for different conditions have had excellent results and have been considered as useful tool for the management of irrigation water (Pereira *et al.*, 2003, López *et al.*, 2008).

WinISAREG® is a simulation model for programming the irrigation performed by the water balance of the soil in the field and simulates the

mación del riego que realiza el balance hídrico del suelo a nivel de campo y simula programas de riego alternativos como el descrito por Liu *et al.* (1998) y Pereira *et al.* (2003). El modelo también permite evaluar los impactos de los programas de riego en la producción agrícola. Popova y Kercheva (2005) utilizaron los modelos de CERES para evaluar los impactos de la sequía en el maíz y el trigo e identificaron el papel de las características del suelo en esos impactos. Popova y Pereira (2008) estudiaron varias alternativas de programación de riego en dos híbridos del cultivo de maíz, para predecir el impacto de las incertidumbres climáticas en las necesidades de riego con el modelo ISAREG, para un periodo de 36 años, este estudio destinado para mejorar el uso y ahorro del agua en la llanura de Tracia-Bulgaria.

Pese a todas las dificultades que los modelos implicaron, la modelación constituyó una herramienta imprescindible para la evaluación de la práctica de riego ya que permitió determinar las necesidades actuales y futuras de una zona en estudio, así como la posibilidad de generar hipótesis con distinta distribución de cultivos o distintos climas (Olalla *et al.*, 2005). También Popova *et al.* (2014), señalaron que los modelos a menudo se utilizaron para evaluar los impactos de estrés hídrico en los rendimientos de los cultivos. Por lo tanto, fueron de gran utilidad en estudios de vulnerabilidad y evaluación de riesgos de los cultivos analizados recientemente (Kang *et al.*, 2009).

El pimentón (*Capsicum annuum* L.) pertenece a la familia Solanaceae, es originario de América Tropical y se cultiva en muchos de los climas tropi-

alternative irrigation as described by Liu *et al.* (1998) and Pereira *et al.* (2003). The model also allows evaluating the impact of the irrigation programs in the agricultural production. Popova and Kercheva (2005) used the CERES models for evaluating the drought impacts in corn and wheat and identified the role of the soil characteristics in those impacts. Popova and Pereira (2008) studied different alternatives of water programs in two hybrids of corn crop for predicting the impact of the climatic uncertainties in the irrigation needs to the model ISAREG, for 36 years, destined to improve the use and save of water in Tracia-Bulgaria.

In spite of all difficulties that the models implied, modeling constituted an essential tool for evaluating the irrigation practices, since it allowed determining the current and future needs of an area under research, as well as the need of generating hypothesis with different crop distribution or different weathers (Olalla *et al.*, 2005). Popova *et al.* (2014) also mentioned that the models were often used for evaluating the impacts of water stress in the yield of the crops. Therefore, these were useful in vulnerability researches and water assesment of the crops recently analyzed (Kang *et al.*, 2009).

Pepper (*Capsicum annuum* L.) belongs to the Solanaceae family, originally from Tropical America and is cropped in many of the tropical and template weathers around the world. According to Marouelli and Silva (2012), in Brazil the cropped area is 13,000 hectares annually with approximate production of 290,000 tons of fruit. The

cales y templados de todo el mundo. Según Marouelli y Silva (2012), en Brasil el área cultivada anualmente es de 13.000 hectáreas, con producción aproximada de 290.000 toneladas de frutos. Los principales Estados productores de pimentón son: São Paulo, Minas Gerais, Bahía y Rio de Janeiro. El Estado de Rio Grande do Sul representó aproximadamente el 2% de la producción nacional de pimentón, el 14% de la producción de la región sur del país y concentró el 40% de los productores de la región sur (IBGE, 2009). La red de distribución de pimentón en los Municipios de Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria y Uruguaiana, fueron dependientes de la logística de distribución del Central de Abastecimiento de Rio Grande do Sul (CEASA, 2014) con sede en Porto Alegre, en este Municipio aproximadamente se concentró el 39% de la producción regional de dicho rubro. La producción en Municipios de Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria y Uruguaiana, son insuficientes para abastecer el mercado local. El potencial de consumo de esta hortaliza es alto, lo que justifica la realización de investigaciones científicas que den cuenta de las necesidades agronómicas de este cultivo, tales como fertilidad del suelo, mejoramiento genético, control fitosanitario y riego.

El clima de la región central de Rio Grande do Sul y de la frontera oeste y sur del Estado es favorable para la plantación del cultivo, aunque también presenta déficit hídrico acentuado en los meses de verano. El cultivo extensivo, en ambiente no protegido es poco estudiado en la región, lo que caracteriza la escasez de información que

main producing states of pepper are São Paulo, Minas Gerais, Bahía and Rio of Janeiro. The State of Rio Grande do Sul represented 2% of the national production of pepper, 14% of the production of the south region of the country and concentrated 40% of the producers of the south region (IBGE, 2009). The distribution red of pepper in the municipalities Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria and Uruguaiana, depended on the central distribution logistic of Rio Grande do Sul (CEASA, 2014) with an extension in Porto Alegre, in the parish concentrated 39% of the regional production. The production in the municipalities Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria and Uruguaiana were not enough to supply the local market. The consumption potential of this vegetable is high, which justifies the elaboration of scientific researchers to inform about the agronomic needs of this crop, such as soil fertility, genetic improvement, phytosanitary control and irrigation.

The weather of the central region of Rio Grande do Sul and the west and south frontiers of the state is favorable for the plantation of the crop, though it also represents a marked water deficit in summer. The extensive crop in a non protected environment has not been too studied in the region; such lack of information might be useful for the production of pepper. Irrigation is a tool that guarantees the production, the determination of the water consumption is a need to generate the data that would allow making decisions for adopting this practice in this vegetable. In this context, the aim of this research was to determine the supplementary

pueda ser útil para la producción de pimentón. El riego es una herramienta que garantiza la producción, la determinación del consumo hídrico pasa a ser una necesidad para generar datos que permitan la toma de decisiones en la adopción de esta práctica para esta hortaliza. En este contexto, el objetivo de este estudio fue determinar la lámina de riego suplementario para el cultivo de pimentón (*Capsicum annuum* L.), asumiendo tres fechas de siembra y cinco municipios de la región centro sur de Rio Grande do Sul-Brasil.

Materiales y métodos

El estudio fue conducido en cinco municipios del Estado de Rio Grande do Sul-Brasil, las cuales fueron: Bagé (31°19'53" S, 54°06'25" O, altitud: 212 msnm), Pelotas (3°46'19" S, 52°20'33" O, altitud: 17 msnm), Porto Alegre (30°01'59" S, 51°13'48" O, altitud: 3 msnm), Santa Maria (29°41'03" S, 53°48'25" O, altitud: 151 msnm) y Uruguaiana (29°45'17" S, 57°05'18" O, altitud: 66 msnm). La clasificación de los suelos predominantes en cada municipio según Soil Taxonomy (USDA, 1999) fueron: Bagé (Endoaqualf), Pelotas (Albaqualf), Porto Alegre (Albaqualf), Santa Maria (Paleudalf), Uruguaiana (Udorthent). El clima correspondiente en las regiones según la clasificación climática de Köppen (1928), fue subtropical húmedo (Cfa).

Los datos climáticos fueron obtenidos del Banco de Datos Meteorológicos para Educación e Investigación (BDMEP), del Instituto Nacional de Meteorología (INMET, 2014), órgano

irrigation lamina for the pepper cultivation (*Capsicum annuum* L.), assuming three cropping dates and five municipalities of the south region of Rio Grande do Sul-Brazil.

Materials and methods

The research was carried out in five municipalities of Rio Grande do Sul-Brazil which were: Bagé (31°19'53" S, 54°06'25" W, altitude: 212 masl), Pelotas (3°46'19" S, 52°20'33" W, altitude: 17 masl), Porto Alegre (30°01'59" S, 51°13'48" W, altitude: 3 masl), Santa Maria (29°41'03" S, 53°48'25" W, altitude: 151 masl) and Uruguaiana (29°45'17" S, 57°05'18" W, altitude: 66 masl). The classification of soils that prevailed in each municipality according to the Soil Taxonomy (USDA, 1999) was: Bagé (Endoaqualf), Pelotas (Albaqualf), Porto Alegre (Albaqualf), Santa Maria (Paleudalf), Uruguaiana (Udorthent). The corresponding weather in the regions according to the climatic classification Köppen (1928), was sub-tropical humid (Cfa).

The climatic data was obtained from the Bank of Meteorology Data for the Education and Research (BDMEP) of the National Institute of Meteorology (INMET, 2014), which is part of the Agriculture, Fishing and Supply Ministry Office, with a daily frequency for each location, in a period from 1992 to 2012, with 20 years of meteorological observation; the consistency analysis was performed to the data, selecting 15 years to perform the water balance. The climatic variables used to perform the analysis were: maximum temperature (Tmax, °C), minimum temperature (Tmin, °C), precipitation

adscrito al Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento, con frecuencia diaria para cada localidad, en un periodo comprendido entre los años de 1992 hasta 2012, consiguiendo 20 años de observación meteorológica; a estos datos se les efectuó un análisis de consistencia, seleccionando 15 años para efectuar el balance hídrico. Las variables climáticas utilizadas para efectuar el análisis fueron: temperatura máxima (T_{max} , °C), temperatura mínima (T_{min} , °C), precipitación (P, mm), velocidad del viento (Vel, $m.s^{-1}$); humedad relativa (HR, %), insolación ($h.día^{-1}$).

Las variables de suelo fueron capacidad de campo, densidad aparente, punto de marchitez permanente, profundidad efectiva y textura de cada perfil de suelo, los cuales fueron obtenidos por observaciones, determinaciones efectuadas en campo y mediante ensayos de laboratorio. La profundidad efectiva del sistema radical fue determinada por la abertura de trincheras, para el registro de su correspondiente medida. La textura y la densidad aparente fueron obtenidas en análisis de laboratorio. El periodo de las etapas fenológicas y el coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo de pimentón, fueron los indicados en el boletín de la FAO-56 (Allen *et al.*, 2006).

El balance hídrico fue realizado a partir de los datos de clima, suelo y planta, usando el modelo de simulación *WinISAREG*®, adoptando la lámina de riego de 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Se asumió tres fechas de siembra, con intervalo de un mes entre las fechas, las cuales fueron: 01 de octubre, 01 de noviembre y 01 de diciembre, donde inició la época de pri-

(P, mm), wind velocity (Vel, $m.s^{-1}$); relative humidity (RH), %, insolation ($h.day^{-1}$).

The soil variables were: field capacity, apparent density, permanent ripening point, effective depth and texture of each soil profile, which were obtained by observations, determinations performed in the field by laboratory essays. The effective depth of the radical system was determined by the aperture of ditches for the register of its corresponding measure. The texture and apparent density were obtained in laboratory analysis. The period of the phenologic phases and the crop coefficient (Kc) for the pepper crop were the ones indicated in the informative paper of FAO-56 (Allen *et al.*, 2006).

The water balance was done using the data of weather, soil and plant using the simulation model *WinISAREG*®, adopting the irrigation lamina of 100% of the crop evapotranspiration (ETc). Three dates of crop were assumed with intervals of a month in between the dates, which were: October 1st, November 1st and December 1st, where the spring-summer seasons started, with the aim of obtaining the maximum of the sun energy and temperature; thus, a higher vegetative development. EMBRAPA (2007) mentioned that the crop of pepper (*Capsicum* spp.) in Pelotas started with the obtaining of seedlings in August for carrying out the transplant from September and October.

For carrying out the statistical analysis, a completely randomized design was used with a split plot design, where (A) corresponded to the

mavera-verano, con el fin de obtener el máximo aprovechamiento de energía solar y temperatura, obteniendo así mayor desarrollo vegetativo. EMBRAPA (2007), mencionó que la siembra del cultivo de pimentón (*Capsicum* spp.) en la región de Pelotas, se inició con la obtención de las plántulas en agosto para efectuar el trasplante entre los meses de septiembre y octubre.

Para realizar el análisis estadístico se adoptó un diseño experimental completamente al azar, con un arreglo factorial, donde el factor (A) correspondió a los municipios y el factor (B) a las fechas de siembra y los 15 años fueron las repeticiones. Se formaron 15 tratamientos por la combinación de cinco niveles del factor (A) y tres niveles del factor (B). Se evaluó el cumplimiento de la normalidad y homogeneidad de los datos, posteriormente se efectuó análisis de varianza para verificar la existencia de diferencias entre los tratamientos e interacción entre los mismos. El procesamiento de los datos se efectuó con el software ASSISTAT®-Asistencia estadística, versión 7.7 (Silva and Azevedo, 2002).

Resultados y discusión

Las variables climáticas promedio para el periodo en estudio, se muestran en el cuadro 1. La mayor evapotranspiración (ETc) promedio mensual lo presentó el Municipio de Uruguaiana, seguido de Porto Alegre y la variación de la ETc, entre los municipios del mayor y el menor valor fue de 10% (2,5°C). La precipitación media mensual la presentó el Municipio de Uruguaiana seguido de Santa Maria con variación de 38% (60,8 mm). La

municipalities and factor (B) to the dates of sown and the 15 years were replications. Fifteen treatments were formed by combining five levels of factor (A) and three levels of factor (B). The fulfillment of the normality and homogeneity of the data was evaluated; later, a variance analysis was done for verifying the existence of differences among the treatments and interactions in between. The data processing was done using the statistical software ASSISTAT®-Assistance, 7.7 (Silva and Azevedo, 2002).

Results and discussion

The average climatic variables for the period under research are shown on table 1. The highest monthly average evapotranspiration (ETc) was observed in Uruguaiana parish, followed by Porto Alegre and the variation of the ETc, among the municipalities with the highest and lowest of 10% (2.5°C). The monthly mean precipitation was observed in Uruguaiana municipality, followed by Santa Maria with a variation of 38% (60.8 mm). The highest heat stress was observed in Uruguaiana municipality, followed by Porto Alegre with a variation of 17% (44.1 hours). The highest wind velocity and relative humidity were shown by municipality Pelotas followed by Santa Maria, with a variation of 33% (1.2 m.s⁻¹) and 14% (15%), respectively. The highest variations among the municipalities were the variables precipitation and wind velocity.

The maximum evapotranspiration and the irrigation lamina required are shown on table 2. The municipalities of Uruguaiana and Bagé presented the

Cuadro 1. Valores promedio de las variables climáticas, temperatura media, humedad relativa, insolación, velocidad de viento y precipitación, entre los meses de octubre/abril para un periodo de 15 años, en cinco municipios de Rio Grande do Sul-Brasil.

Table 1. Average values of the climatic variables, mean temperature, relative humidity, insolation, wind velocity and precipitation from October to April, in a period of 15 years in five municipalities of Rio Grande do Sul-Brasil.

Municipio	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Insolación (horas)	Velocidad del viento (m.s ⁻¹)	Precipitación media mensual (mm)
Bagé	20,95	66,50	211,82	2,75	100,85
Santa Maria	22,11	74,33	207,25	2,79	134,10
Pelotas	21,21	77,78	222,14	3,62	110,50
Porto Alegre	22,78	72,83	214,98	2,42	99,20
Uruguaiana	23,48	67,53	251,66	2,41	160,00

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología (INMET).

mayor insolación lo mostró el Municipio de Uruguaiana seguido de Porto Alegre con variación de 17% (44,1 horas). La mayor velocidad del viento y humedad relativa lo mostraron los Municipios de Pelotas seguido de Santa Maria con variación de 33% (1,2 m.s⁻¹) y 14% (15%), respectivamente. La mayor variación entre los municipios fueron la variable precipitación y velocidad del viento.

La evapotranspiración máxima y la lámina de riego requerida, se muestran en el cuadro 2. Los Municipios de Uruguaiana y Bagé presentaron las mayores demandas de evapotranspiración máxima (ET_m) por consecuencia la mayor lámina de riego, indicando posiblemente mayor potencial productivo y la variación entre el mayor y el menor valor fue de 20% (114 mm de ET_m). Por otra parte, el Municipio de Pelotas mostró la menor necesidad hídrica, probablemente por presentar variables meteorológicas que contribuyeron a esa menor tasa de evapotranspiración y con lluvias mejor distribuidas. El promedio general de todos los municipios de ET_m fue de 529,7 mm, concordando con Magalhães y Castro (1983), quienes observaron 524,2 mm en cultivo de pimentón en campo. También Marouelli y Silva (2012) y Padrón *et al.* (2014), indicaron la necesidad hídrica entre 450 y 650 mm, y comentaron que la necesidad hídrica dependió esencialmente de las condiciones climáticas, duración del ciclo del cultivo y de los sistemas de riego adoptados; aunado a estos autores Doorenbos y Kassam (1994) afirmaron que la necesidad hídrica del cultivo de pimentón estuvo en el orden de 600 a 900 mm. Sin embargo, San-

highest demands of maximum evapotranspiration (ET_m); consequently, the highest irrigation lamina, possibly indicating higher productive potential, and the variation between the highest and lowest was of 20% (114 mm of ET_m). On the other hand, municipality Pelotas showed the lowest water need, probably by presenting meteorological variables that contributed to that low evapotranspiration rate and better distributed rains. The general average of all the municipalities of ET_m was of 529.7 mm, agreeing to Magalhães and Castro (1983), who observed 524.2 mm in pepper crop in the field. Also, Marouelli and Silva (2012) and Padrón *et al.* (2014), indicated the water need from 450 and 650 mm and mentioned that the water need depended essentially from the climatic conditions, cycle duration and irrigation systems adopted; also Doorenbos and Kassam (1994) affirmed that the water need of the pepper crop was from 600 to 900 mm. However, Santos *et al.* (2009) found 414.4 mm of evapotranspiration. These results were similar to those found by Padrón *et al.* (2015), which in Santa Maria in the pepper crop in the field reported evapotranspiration of 560 mm and 500 mm, irrigation lamina applied of 401 mm and 281 mm, in the season 2013-2014 and 2014-2015, respectively.

The averages of irrigation laminas are presented in table 3. The statistical analysis showed interaction among the municipalities and the dates established. Uruguaiana municipality showed the highest water need with an average of 412 mm and Pelota municipality the lowest avera-

tos *et al.* (2009) encontraron 414,4 mm de evapotranspiración. Además estos resultados fueron similares a los encontrados por Padrón *et al.* (2015), la cual en la localidad de Santa Maria, en el cultivo de pimentón cultivado en campo, reportaron evapotranspiración de 560 mm y 500 mm, lámina de riego aplicada de 401 mm y 281 mm, en la temporada 2013-2014 y 2014-2015, respectivamente.

Los promedios de las láminas de riego, se muestran en el cuadro 3. El análisis estadístico mostro interacción entre los municipios y las fechas establecidas. El Municipio Uruguaiana presentó la mayor necesidad hídrica promedio con (412 mm) y el Municipio de Pelota el menor promedio con (319 mm). En las fechas de siembra analizadas y según los datos climáticos la menor necesidad hídrica fue el mes de diciembre en todos los municipios. Las necesidades hídricas variaron de 424,8 mm (Uruguaiana con siembra el 01 de noviembre) a 291,6 mm (Pelotas con siembra el 01 de diciembre) un 31% con 133 mm de diferencia, en la serie de datos estudiados. La lámina de riego promedio necesaria para todos los municipios y las fechas de siembra estudiadas fue de 365,7 mm. Kopp *et al.* (2015), estimó las necesidades hídricas en *Zea mays* para los Municipios de Uruguaiana, Bagé y Santa Maria, encontrando resultados similares y comentado que el menor requerimiento hídrico para las localidades fue realizar la siembra en el mes de diciembre. Por otra parte, Nogueira *et al.* (2015) estimó las necesidades hídricas en *Ipomoea batatas*, en las localidades de Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Uruguaiana y los

ge 319 mm. In the sown dates analyzed and according to the climatic data, the lowest water need was December in all the municipalities. The water needs varied from 424.8 mm (Uruguaiana with crops on November 1st) to 291.6 mm (Pelotas with crops on December 1st) 31% with 133 mm of difference in the series of the data studied. The average irrigation lamina necessary for all the municipalities and the sown dates studied were 365.7 mm. Kopp *et al.* (2015) estimated the water needs in *Zea mays* for the municipalities Uruguaiana, Bagé and Santa Maria, finding similar results, and said that the lowest water requirement for the locations was the crop of December. On the other hand, Nogueira *et al.* (2015) estimated the water needs in *Ipomoea batatas*, in the locations of Bagé, Pelotas, Porto Alegre, Santa Maria, Uruguaiana, and the months with higher water needs were October, September and December, with averages of 605, 495, 556, 565 and 626 mm, respectively.

The water balance was done based on the minimum and maximum laminas in the municipalities Pelotas and Uruguaiana, with the aim of observing the months with more deficits (figures 1 and 2). Uruguaiana municipality presented the months of December, January and February, and Pelotas municipality the months of December and January, indicating the water deficit.

The statistical analysis is shown on table 4, the analysis presented significant statistical differences ($P < 0.01$) in the interaction (AxB) and the evaluated variables. The variance analysis indicated interaction among

Cuadro 3. Láminas de riego promedio en el cultivo de pimentón en tres fechas de siembra y cinco municipios de Rio Grande do Sul. (Prueba de Tukey, $\alpha=1\%$ de probabilidad).

Table 3. Average irrigation laminas in the pepper crop in three sowing dates and five municipalities of Rio Grande do Sul (Tukey's test, $\alpha=1\%$ of accuracy).

Municipio (A)	Fecha de siembra (B)			Media (mm)
	01 Octubre	01 Noviembre	01 Diciembre	
Bagé	392,73 ^{aA}	397,15 ^{abA}	368,82 ^{abA}	386,23
Pelotas	340,75 ^{aA}	327,13 ^{bA}	291,60 ^{bA}	319,83
Porto Alegre	352,85 ^{aA}	371,87 ^{abA}	348,33 ^{abA}	357,69
Santa Maria	365,61 ^{aA}	359,84 ^{abA}	333,88 ^{abA}	353,11
Uruguaiana	419,79 ^{aA}	424,83 ^{aA}	391,38 ^{aA}	412,00
Media (mm)	374,35	376,16	346,80	365,77

Nota: valores con la misma letra, indican que las medias no presentan diferencias significativas, clasificación columnas letras minúsculas, filas letras mayúsculas. CV% = 22,20.

meses de mayor necesidades hídricas fueron octubre, septiembre y diciembre con promedios de 605, 495, 556, 565 y 626 mm, respectivamente.

Con base a las láminas mínimas y máximas se procedió a efectuar el balance hídrico para los Municipios de Pelotas y Uruguaiana con la finalidad de observar los meses de déficit (figuras 1 y 2). El Municipio de Uruguaiana presentó los meses de diciembre, enero, febrero y el Municipio de Pelotas los meses de diciembre y enero, fueron los que indicaron déficit hídrico.

El análisis estadístico, se muestra en el cuadro 4, los análisis presentaron diferencias estadística significativas ($P<0,01$), en la interacción ($A \times B$) y las variables evaluadas. El análisis de varianza indicó interacción entre los factores estudiados; no obstante, el análisis no presentó diferencias significativas para las diferentes fechas de siembra,

the studied factors; nevertheless, the analysis did not present significant differences for the different dates of sown in all the municipalities studied. In the first date of the crop (October 1st), the irrigation lamina did not present differences, probably because the water balance kept positive for all the municipalities. For the second and third date of the crop (November 1st and December 1st), the irrigation lamina for the municipalities Uruguaiana and Pelotas presented significant differences. However, the municipalities Bajé, Porto Alegre and Santa Maria, did not present significant differences in between, but were different to the municipalities Uruguaiana and Pelotas.

The results of this research might be indicative for feasibility studied of inversion in irrigation systems for the pepper crop and showed the variability

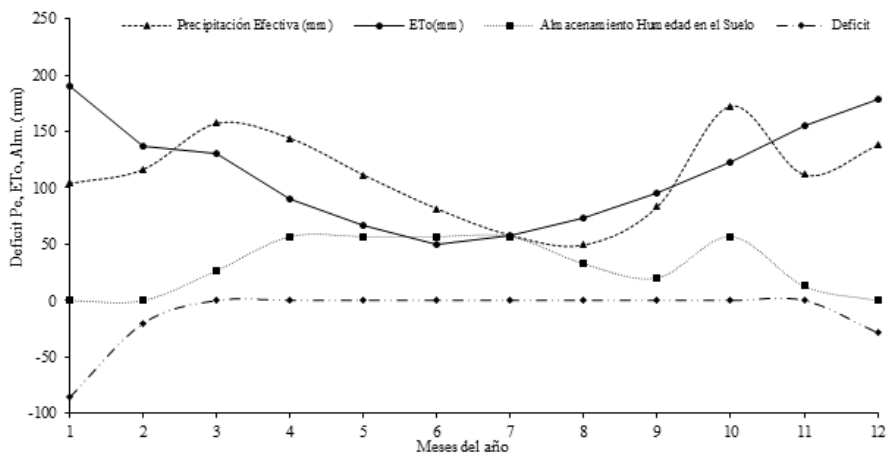


Figura 1. Balance hídrico en el cultivo de pimentón, para el municipio de Uruguaiiana (periodo de 15 años).

Figure 1. Water balance in the pepper crop in Uruguaiiana parish (period of 15 years).

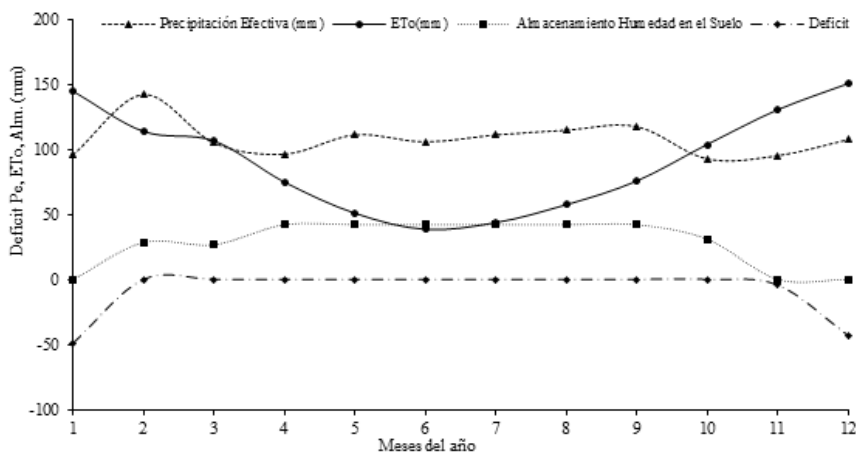


Figura 2. Balance hídrico en el cultivo de pimentón, para el municipio de Pelotas (periodo de 15 años).

Figure 2. Water balance in the pepper crop for the Pelotas parish (period of 15 years).

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANOVA), en diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial, siendo el factor A (municipio) y el factor B (fecha de siembra).

Table 4. Variance analysis (ANOVA) in a completely split plot randomized design, being factor A (municipality) and factor B (crop date).

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F
Municipio (A)	4	220164,5	55041,1	8,35**
Fecha (B)	2	40604,9	20302,5	3,08
Interacción (A×B)	8	8695,7	1086,9	0,17**
Residuo	210	1384275,9	3813,6	
Total	224	1653740,6		

**Significativo a 1% de probabilidad. *Significativo a 5% de probabilidad.

en todos los municipios estudiados. En la primera fecha de siembra (01 de octubre), la lámina de riego no presentó diferencias, probablemente porque el balance hídrico se mantuvo positivo para todos los municipios. Para la segunda y tercera fecha de siembra (01 de noviembre y 01 de diciembre), la lámina de riego para los Municipios de Uruguiana y Pelotas presentaron diferencias significativas. Sin embargo, los Municipios de Bajé, Porto Alegre y Santa Maria, no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, pero fueron diferentes a los Municipios de Uruguiana y Pelotas.

Los resultados de este estudio podrían ser indicativos para estudios de viabilidades de inversión en sistemas de riego para el cultivo de pimentón y demostraron la variabilidad de las condiciones climáticas y características de suelo de los municipios en estudio. El modelo *WinISAREG*[®] indicó ser una herramienta de simulación adecuada para la estimación del balance hídrico.

of the climatic conditions and soil characteristics of the municipalities under research. The model *WinISAREG*[®] showed to be an adequate simulation tool for estimating the water balance. The simulation models allowed evaluating and preventing the irrigations associated to the agriculture and prognoses of the productive results of the crops under different conditions of water availability. Popova (2014) mentioned that besides the modeled studies, there was the need of detecting possible trends in the precipitation and temperature that might be related to the vulnerability to the drought effects and the possible variability in the weather change.

Pántano (2014) also mentioned the diversity of factors that affected the water availability, and the variability of each of them determined the complexity of the soil-atmosphere system, among those, the precipitation constituted the most important contribution of water to the soil and

Los modelos de simulación permitieron la evaluación y la prevención de los riesgos asociados a la agricultura y el pronóstico de los resultados productivos de los cultivos bajo diversas condiciones de disponibilidad hídrica. Popova (2014), mencionó que además de los estudios de modelado, hubo la necesidad de detectar posibles tendencias en la precipitación y la temperatura, que podrían estar relacionados con la vulnerabilidad al efectos de la sequía y la posible variabilidad en los cambio de clima. También Pántano (2014), señaló la diversidad de factores que afectaron la disponibilidad hídrica y la variabilidad de cada uno de ellos determinaron la complejidad del sistema suelo-atmósfera, entre ellos, la precipitación constituyó el aporte más importante de agua al suelo y la adopción de técnicas agrícolas destinadas a mejorar el uso eficiente del agua, ha generado el aumento de la superficie sembrada e incrementó de la sustentabilidad del sistema (suelo-atmósfera) y la productividad de los cultivos, en este contexto, el estudio de la interacción entre el suelo y la atmósfera ayudará a comprender, en parte, este sistema y una de las formas son los estudios a través del análisis del balance hídrico del suelo. Por otra parte, Walter *et al.* (2012) mencionó que los modelos matemáticos se presentaron como simplificación de la realidad que debidamente adaptados y probado en diversos ambientes, permitiendo describir las interacciones planta-cultivos y ambiente.

Conclusión

Los resultados han demostrado la variabilidad de requerimientos

the adoption of agricultural techniques committed to improve the efficient use of water generated the increment of the sown surface and increased the sustainability of the system (soil-atmosphere) and productivity of the crops, in this context, the study of the interaction among the soil and the atmosphere will help to understand this system, and one way is analyzing the water balance of the soil. On the other hand, Walter *et al.* (2012) mentioned that the mathematical models presented as simplification of the reality that adapted and proved in different environment, allowed describing the plant-crop interactions and the environment.

Conclusion

The results have proved the variability of water requirements in the different municipalities and the need of supplementary irrigation application in the pepper crop. The simulation models help in the planning and prevention of scenario to generate irrigation strategies to guarantee the production and economic feasibility of the crops. Therefore, the results might indicate the need of further researchers to develop irrigation strategies.

End of english version

hídricos en los diferentes Municipios y la necesidad de aplicación de riego suplementario en el cultivo de pimentón. Los modelos de simulación auxilian en la planificación y prevención de escenarios para generar estrategias en rie-

go, garantizando la producción y la rentabilidad económica de los cultivos. Por lo tanto, los resultados podrían indicar la realización de estudios para desarrollar estrategias en riego.

Literatura citada

- Alexandrov, V. 2011. Methods for monitoring an destimation of drought vulnerability in Bulgaria. National Institute of Meteorology and Hydrology and Bulgarian Academy of Sciences, Sofia. 216 p.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma. 323 p.
- CEASA. 2014. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul S. A. Disponible en: <http://www.ceasars.com.br/>
- Doorenbos, J. e A.H. Kassam. 1994. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33.
- EMBRAPA. 2007. Pimenta (*Capsicum* spp.). Embrapa Hortaliças Sistemas de Produção 2. ISSN: 1678-880x. Versão Eletrônica. Disponible en: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>
- IBGE. 2009. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuario. ISSN: 0103-6157. Rio de Janeiro. 777 p.
- INMET. 2014. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponible en: <http://www.inmet.gov.br/portal/>
- Kang, Y., S. Khan and X. Ma. 2009. Climate change impact son crop yield, crop water productivity and food security a review. Progress in Natural Science 19(12):1665-1674.
- Kopp, L.M., M.X. Peiter, L.H.B. Ben, H.M.C.M. Nogueira, R.A.R. Padrón, A.D. Robaina e T.C. Buske. 2015. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 14(2): 235-246.
- Köppen, W. and R. Geiger. 1928. Climate der Erde. Gotha, Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 cm x 200 cm.
- Liu, Y., J.L. Teixeira, H.J. Zhang and L.S. Pereira. 1998. Model validation and crop coeücents for irrigation scheduling in the North China Plain. Agricultural Water Management 36(3):233-246.
- López, T., F. González, Y. Chaterlan, G. Cid, G. Dueñas y A. Casanova. 2008. Los modelos de simulación como herramienta eficaz para el estudio del manejo del agua y la fertilización en diferentes sistemas de cultivos agrícolas en el sur de la Habana. p. 1-15. In: Taller "Tecnologías de información y comunicación para la modernización de los sistemas de riego y valoración de riegos ancestrales". Santa Catarina, Brasil, CYTED.
- Magalhães, C.A. e P.T. Castro. 1983. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do pimentão (*Capsicum annuum*) a través do balanço hídrico. Ciência Agronômica 14(1-2):107-113.
- Marouelli, W.A. e W.L.C. Silva. 2012. Irrigação na cultura do pimentão. Brasília: Embrapa Hortaliça. Circular Técnica, 101. 1ª edição. 20 p.
- Nogueira, C.U., R.A.R. Padrón, H.M.C.M. Nogueira, R.R. Cerquera, e L.M. Kopp. 2015. Necessidades hídrica na cultura da batata-doce em diferentes localidades e épocas de plantio. Acta Iguazu 4(3):66-77.
- Olalla, F.M. de S., P.L. Fuster y A.C. Belmonte. 2005. Agua y agronomía. Mundi-Prensa, Madrid. ISBN: 84-8476-246-7. 606 p.
- Padrón, R.A.R. and A. Swarowsky. 2016. Irrigation management in bell pepper on open field and under shade. LAP Lambert Academic Publishing, ISBN: 978-3-659-86984-6. 92 p.
- Padrón, R.A.R., J.V.C. Guedes, A. Swarowsky, C.U. Nogueira, R.R. Cerquera and J.C. Díaz-Pérez. 2015. Supplemental irrigation levels in bell pepper under shade mesh and in

- open-field: crop coefficient, yield, fruit quality and water productivity. *African Journal of Agricultural Research* 10(44):4117-4125.
- Padrón, R.A.R., L.R. Ramírez, A. Swarowsky y J.R. Daboín. 2014. Efecto del riego deficitario y diferentes frecuencias en la producción del cultivo de pimentón. *Interciencia* 39(8):591-596.
- Pántano, V.C., L.B. Spescha, O.C. Penalba y G.M. Murphy. 2014. Influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en la situación hídrica del suelo, en la región oriental de secano de la Argentina. *Meteorologica* 39(2):21-36.
- Pereira, L.S. 2007. Necessidades de agua e programação da rega: Modelação, avanços e tendências. "Modernización de riegos y uso de tecnologías de información" (Taller CYTED-Riegos, La Paz, Bolivia). Disponible en: http://ceer.isa.utl.pt/cyted/2007/bolivia2007/Tema%201/1.1_LSPereira_LaPaz_Set07.pdf
- Pereira, L.S., P.R. Teodoro, P.N. Rodrigues and J.L. Teixeira. 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. p. 161-180. *In*: Rossi G., A.Cancelliere, L.S. Pereira, T. Oweis, M. Shatanawi, A. Zairi (Eds.). *Tools for drought mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht.
- Popova, Z. and L.S. Pereira. 2008. Irrigation scheduling for furrow irrigated maize under climate uncertainties in the Thraceplain, Bulgaria. *Biosystems Engineering* 99(4):587-597.
- Popova, Z. and M. Kercheva. 2005. CERES model application for increasing prepared nessto climate variability in agricultural planning-riskanalyses. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 30(1):117-124.
- Popova, Z., M. Ivanova, D. Martins, L.S. Pereira, K. Doneva, V. Alexandrov and M. Kercheva. 2014. Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems. *Natural Hazards* 74(2):865-886.
- Santos, E.S., Ê.F.F. Silva e A.O. Silva. 2009. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e de cultura (ET_c) do pimentão no semi-árido Pernambuco. *In*: IX Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão (JEPEX). 1477 p.
- Silva, F.D.A. e C.D. Azevedo. 2002. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais* 4(1):71-78.
- USDA Soil Taxonomy. (1999). *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edn. Agricultural Handbook No. 436. Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service.
- Walter, L.C., H.T. Rosa, N.A. Strecke e S.E.T. Ferraz. 2012. Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. *Engenharia Agrícola* 32(3):510-521.