

REQUERIMIENTO DE RIEGO Y PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN GRAMÍNEAS FORRAJERAS MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN EN TABASCO, MÉXICO

IRRIGATION REQUIREMENTS AND YIELD PREDICTION IN FORAGE GRASSES USING A SIMULATION MODEL IN TABASCO, MÉXICO

Osías Ruíz-Álvarez¹, Ramón Arteaga-Ramírez^{2*}, M. Alberto Vázquez-Peña², Rutilo López-López³, R. Ernesto Ontiveros-Capurata²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle del Guadiana. 34000. Durango, Durango. (ruiz.osias@inifap.gob.mx). ²Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Chapingo, Estado de México. (arteagar@correo.chapingo.mx). ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Km. 1, Carretera Huimanguillo-Cárdenas. Huimanguillo, Tabasco, México. (lopez.rutilo@inifap.gob.mx).

RESUMEN

La ganadería bovina es una de las actividades agropecuarias más importantes de la economía en Tabasco, México, se desarrolla en 1.5×10^6 ha, y se sostiene principalmente de pastizales que se cultivan en poco más del 50 % del territorio del estado. Actualmente esta actividad está afectada por múltiples factores, particularmente la sequía que se presenta entre marzo y mayo y genera escasez de materia seca. El objetivo de este estudio fue estimar, mediante simulaciones con el modelo CROPWAT, los requerimientos de riego y la reducción del rendimiento de las gramíneas forrajeras cuando se cultivan en condiciones de temporal, riego y tres escenarios de precipitación (20, 50 y 80 % de probabilidad de excedencia). Se usaron datos diarios de precipitación y evaporación de 18 estaciones meteorológicas, información fenológica (coeficiente k_c , duración de fases fenológicas y factor de respuesta del rendimiento) y referencias edafológicas del estado de Tabasco. El análisis de los resultados indica que la evapotranspiración del cultivo es mayor en el municipio de Villahermosa y en todas las localidades de abril a agosto. Todas las regiones presentan los valores menores de precipitación efectiva entre marzo y abril, los mayores requerimientos hídricos de marzo a mayo y con lluvia al 80 %. En condiciones de temporal los promedios estatales de reducción de rendimientos fueron 5.05 (normal) y 14 % (seco), y con riego deficitario fueron 2.27 (normal) y 3.21 % (seco). Para el escenario húmedo, con riego deficitario y bajo temporal los rendimientos se mantuvieron. En el

ABSTRACT

Cattle production is one of the most important agricultural/livestock activities in Tabasco's economy, in México; it is carried out in 1.5×10^6 ha, and is sustained primarily with pastures that are cultivated in slightly more than 50 % of the state's territory. Currently this activity is affected by multiple factors, particularly the drought that takes place between March and May, generating dry matter scarcity. The objective of this study was to estimate, through simulations with the CROPWAT model, the irrigation requirements and yield reduction of forage grasses when cultivated in rainfed conditions, with irrigation and in three precipitation scenarios (20, 50 and 80 % probability of excess). Daily data for precipitation and evaporation from 18 meteorological stations were used, as well as phenologic information (coefficient k_c , duration of phenologic phases and yield response factor), and soil references from the state of Tabasco. Analysis of the results indicates that evapotranspiration from the crop is greater in the municipality of Villahermosa and in all the locations from April to August. All the regions present the lowest values for effective precipitation between March and April, the greatest water requirements from March to May, and with rain at 80 %. Under rainfed conditions, the state averages for yield reduction were 5.05 (normal) and 14 % (unirrigated), and with deficit irrigation they were 2.27 (normal) and 3.21 % (unirrigated). Yields were maintained in the humid scenario, with deficit irrigation and under rainfed conditions. In the state of Tabasco, supplementary irrigation is important to avoid yield decreases in dry and normal scenarios.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2011. Aprobado: septiembre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 745-760. 2011.

Keywords: evapotranspiration, effective precipitation, irrigation requirement, scenario.

estado de Tabasco, el riego suplementario es importante para no tener disminuciones en el rendimiento en los escenarios seco y normal.

Palabras clave: evapotranspiración, precipitación efectiva, requerimiento de riego, escenario.

INTRODUCCIÓN

La ganadería en Tabasco, México, tiene importancia socioeconómica, participan poco más de 20 000 productores, hay 1 657 167 bovinos, su valor económico es 8 796 795.75 miles de pesos, participa con el 54 % del ingreso del sector pecuario y junto con la infraestructura complementaria ocupa 1.5×10^6 ha (De Dios, 2001; Palma *et al.*, 2007). Los bovinos se sostienen principalmente con pastizales naturales y cultivados; estos últimos ocupan 52.1 % del territorio estatal. Actualmente, esta actividad es poco rentable por el índice bajo de agostadero debido a los pastos de baja calidad nutricional y un manejo deficiente de los potreros que impiden que las especies forrajeras expresen su potencial máximo. Las zonas de cultivo son de temporal y el problema se agudiza con las sequías de marzo a mayo en esta región (Velázquez, 1994; Palma *et al.*, 2007). Los períodos secos se caracterizan por temperaturas altas, radiación solar intensa, menores precipitaciones (Velázquez, 1994), escasez de pasturas hasta 34 % respecto a la de la época de precipitaciones altas e índices menores de la producción ganadera (Meléndez *et al.*, 2006).

Ante estos problemas es necesario adoptar técnicas que permitan un uso eficiente de los recursos, entre ellas el riego (Cavero *et al.*, 2000; George *et al.*, 2001), que según Engelbrecht *et al.* (2006) también debe implementarse en zonas húmedas con períodos prolongados de sequía en una época del año. Liu *et al.* (2007) y Wriedt *et al.* (2009) señalan que si esta práctica adolece de una adecuada planeación surgen problemas como lixiviación de nutrientes y pesticidas, así como salinización y sobreexplotación de acuíferos que modifican el régimen natural del flujo de agua. Por eso se debe realizar estudios agrícolas cuyos resultados permitan aumentar la productividad, optimizar los recursos y reducir el riesgo de pérdidas de cosechas (Giorgis *et al.*, 2006). Desafortunadamente, este proceso requiere experimentación, recursos económicos y mano de obra; y los resultados no se

INTRODUCTION

Livestock production in Tabasco, México, has a socio-economic importance, since over 20 000 producers participate, there are 1 657 167 of cattle, their economic value is 8 796 795.75 thousands of pesos, it represents 54 % of the income in the livestock sector, and together with the complementary infrastructure, occupies 1.5×10^6 ha (De Dios, 2001; Palma *et al.*, 2007). Cattle are sustained primarily with natural and cultivated grasses; the latter occupy 52.1 % of the state territory. Currently, this activity is not very profitable because of the low grazing index due to grasses of low nutritional quality and a deficient management of pastures that keep fodder species from expressing their maximum potential. Cultivation zones are under rainfed conditions and the problem is worsened with the drought from March to May in this region (Velázquez, 1994; Palma *et al.*, 2007). Dry periods are characterized by high temperatures, intense sun radiation, lower precipitation (Velázquez, 1994), grass scarcity of up to 34 % as compared to the season of high precipitation, and lower indexes in cattle production (Meléndez *et al.*, 2006).

In face of these problems, it is necessary to adopt techniques that allow the efficient use of resources, among them irrigation (Cavero *et al.*, 2000; George *et al.*, 2001), which according to Engelbrecht *et al.* (2006) should also be implemented in humid zones with lengthy drought periods during a certain time of the year. Liu *et al.* (2007) and Wriedt *et al.* (2009) point out that if this practice lacks adequate planning, problems such as lixiviation of nutrients and pesticides arise, as well as salinization and over-exploitation of water tables, modifying the natural regimen of water flow. Therefore, agricultural studies should be performed whose results allow increasing productivity, optimizing resources and reducing the risk of crop losses (Giorgis *et al.*, 2006). Unfortunately, this process requires experimentation, financial resources and labor; and results cannot be exported to other regions (Liu *et al.*, 2007). However, computer models allow evaluating agricultural systems in various scenarios, especially with irrigation. With these models, irrigation needs and water productivity can be evaluated, and the yield for regions with different climate conditions and specific soil situations that have not been studied, can be

pueden exportar a otras regiones (Liu *et al.*, 2007). Pero los modelos computacionales permiten evaluar sistemas agrícolas en diversos escenarios, especialmente con irrigación. Con estos modelos se evalúa las necesidades de riego y la productividad del agua, y se pronostica el rendimiento para regiones con condiciones meteorológicas distintas y situaciones de suelo específicas que no se han estudiado (Dechmi *et al.*, 2003; Molua y Lambi, 2006; Liu *et al.*, 2007).

En el diagnóstico de un distrito de riego para el noreste de España Dechmi *et al.* (2003) emplearon el modelo CROPWAT para simular prácticas comunes en la planeación del riego y conocer el efecto que éstas producen en el rendimiento. Con el mismo modelo, Diop (2006) analizó las afectaciones que el maíz (*Zea mays* L.), maní (*Arachis hypogaea* L.) y mijo (*Panicum miliaceum* L.) sufrirían ante diversos escenarios de cambio climático y señala que el cultivo más sensible de presentar reducciones en el rendimiento es el mijo. Molua y Lambi (2006) usaron CROPWAT para definir estrategias en la selección de cultivos en tres distritos de riego de Camerún, estudiaron la eficiencia y productividad del agua para los cultivos con énfasis en los efectos del cambio climático en el rendimiento; y concluyen que un aumento de las temperaturas modificará la estación de crecimiento por lo que se requieren nuevas variedades tolerantes al calor, que no maduren muy rápido y con una más alta temperatura óptima de fotosíntesis. Mediante el CROPWAT Giorgis *et al.* (2006) estimaron las necesidades de agua de maíz y sorgo (*Sorghum bicolor* L.), simularon su crecimiento y desarrollo con datos climáticos promedio de 10 años para los distritos de riego de Adama y Mieso en Etiopía, y muestran que el agua aplicada a los cultivos es menor que la requerida. Para estimar las necesidades hídricas de arroz (*Oriza sativa*), maíz, sorgo y soja (*Glycine max* L.) en condiciones de temporal en Chianan, Taiwán, Sheng-Feng *et al.* (2006) usaron CROPWAT y concluyen que la demanda hídrica regional es 537 mm año⁻¹, 126 mm es el requerimiento máximo mensual y 28.4 % de la precipitación se pierde por percolación profunda. Mediante CROPWAT Doria y Madramootoo (2009) estimaron las necesidades de riego en el sur de Quebec para 20, 50 y 80 % de probabilidad de excedencia, e indican que para un año seco (80 %) la lámina de riego aumenta entre 40 y 100 % para papa (*Solanum tuberosum* L.), soja y maíz respecto de un año normal (50 %); y para un año húmedo (20 %)

forecasted (Dechmi *et al.*, 2003; Molua and Lambi, 2006; Liu *et al.*, 2007).

In the diagnosis of an irrigation district in northeastern Spain, Dechmi *et al.* (2003) used the CROPWAT model to simulate common practices in irrigation planning and to understand the effect that these produce in yield. With the same model, Diop (2006) analyzed the affectations that corn (*Zea mays* L.), peanut (*Arachis hypogaea* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.) would suffer when facing diverse climate change scenarios, and he points out that the most sensitive crop in yield reduction is millet. Molua and Lambi (2006) used CROPWAT to define strategies in the selection of crops in three irrigation districts in Cameroon, and they studied the efficiency and water productivity for the crops with an emphasis in the effects of climate change on yield; they conclude that an increase in temperatures will modify the growth season, and therefore, new varieties that are tolerant to heat are needed, which do not mature too quickly and with a higher optimal temperature for photosynthesis. Through CROPWAT, Giorgis *et al.* (2006) estimated the water needs in corn and sorghum (*Sorghum bicolor* L.), they simulated their growth and development with average climate data for 10 years, for the irrigation districts of Adama and Mieso in Ethiopia, and they show that water applied to crops is less than is required. To estimate the water needs of rice (*Oriza sativa*), corn, sorghum and soybean (*Glycine max* L.) under rainfed conditions in Chianan, Taiwan, Sheng-Feng *et al.* (2006) used CROPWAT and concluded that the regional water demand is 537 mm year⁻¹, 126 mm is the maximum monthly requirement, and 28.4 % of the precipitation is lost through deep percolation. With CROPWAT, Doria and Madramootoo (2009) estimated the irrigation needs in the south of Quebec for 20, 50 and 80 % of excess probability, and they indicate that for a dry year (80 %), the irrigation sheet increases between 40 and 100 % for potato (*Solanum tuberosum* L.), soybean and corn, as compared to a normal year (50 %); and for a humid year (20 %), it decreases between 0.5 and 16 %. Cavero *et al.* (2000), through simulations with CROPWAT, calculated evapotranspiration in the reference crop (ET_o) and the crop's actual evapotranspiration (ET_c) to evaluate the behavior of grain corn subjected to water stress.

The objective of this study was to estimate through simulations the irrigation requirements and

disminuye entre 0.5 y 16 %. Cavero *et al.* (2000) mediante simulaciones con CROPWAT obtuvieron la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0) y la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) para evaluar el comportamiento de maíz de grano sometido a estrés hídrico.

El objetivo del presente estudio fue estimar mediante simulaciones los requerimientos de riego y la reducción del rendimiento de todas las gramíneas forrajeras cultivadas en condiciones de secano, riego deficitario, y los escenarios de precipitación normal (50 %), seca (80 %) y húmeda (20 %) mediante el modelo CROPWAT en Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Tabasco (17° 19' 00" y 18° 39' 00" N, y 90° 57' 00" y 94° 08' 00" O), limita al norte con el Golfo de México, al sur con el estado de Chiapas, al oeste con el estado de Veracruz, al noreste con el estado de Campeche y al sureste con la República de Guatemala (Velázquez, 1994; Palma *et al.*, 2007).

Información climática

Se usó la información reportada en el Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC, V3) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2008). En la Figura 1 se muestra, para Tabasco, la precipitación y la evaporación mensual (A), así como la variación en la lámina total anual de la precipitación en el

yield reduction of all the forage grasses cultivated in rainfed conditions, with deficit irrigation, and in scenarios of normal (50 %), dry (80 %) and humid (20 %) precipitation, using the CROPWAT model in Tabasco, México.

MATERIALS AND METHODS

Study area

Tabasco (17° 19' 00" and 18° 39' 00" N, and 90° 57' 00" and 94° 08' 00" W) is bounded north by the Gulf of México, south by the state of Chiapas, west by the state of Veracruz, northeast by the state of Campeche and southeast by the Republic of Guatemala (Velázquez, 1994; Palma *et al.*, 2007).

Climate information

Information reported by the Rapid Climate Information Extractor (ERIC, V3) at the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2008), was used. Figure 1 shows the monthly precipitation and evaporation (A) for Tabasco, as well as the variation in the total annual precipitation sheet for the 1949 to 1999 period (B). The variables are daily data for precipitation (mm) and total evaporation from the type A pan (mm), in 18 stations located in Tabasco's 17 municipalities (Figure 2).

CROPWAT model

The CROPWAT model calculates crops' water needs by using climate, soil and phenologic information, and is based on

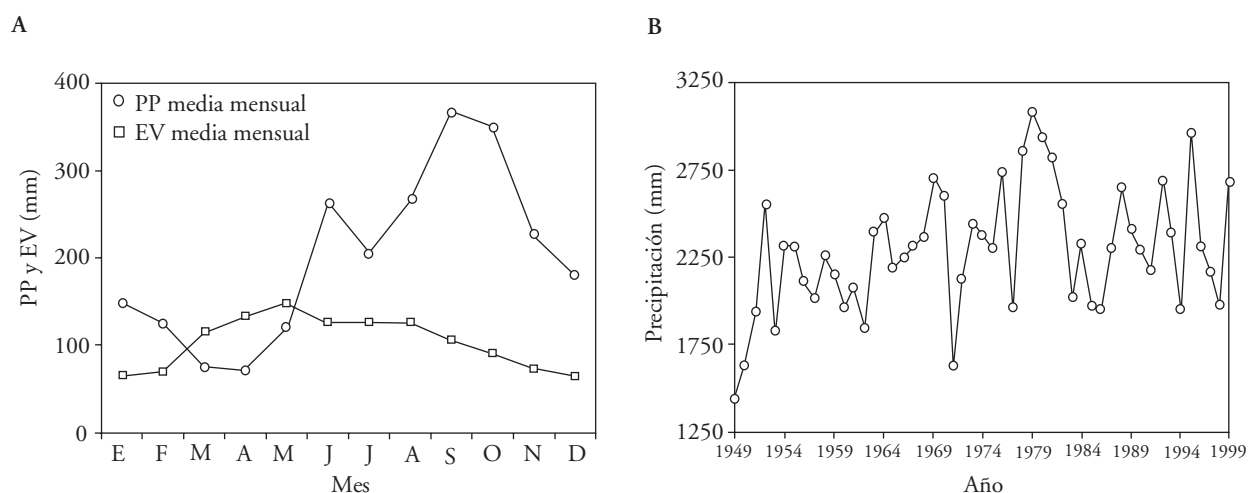


Figura 1. Precipitación (mm) y evaporación (mm) mensual (A), y precipitación total anual en el período 1949-1999 (B), en Tabasco.

Figure 1. Monthly precipitation (mm) and evaporation (mm) (A), and total annual precipitation during the 1949-1999 period (B), in Tabasco.

período 1949 a 1999 (B). Las variables son datos diarios de precipitación (mm) y evaporación total del tanque tipo A (mm), en 18 estaciones ubicadas en los 17 municipios de Tabasco (Figura 2).

Modelo CROPWAT

El modelo CROPWAT calcula las necesidades de agua de los cultivos usando información climática, edáfica y fenológica y está basado en las metodologías descritas en los boletines 24, 33 y 56 de la serie FAO Riego y Drenaje (George *et al.*, 2001; Molua y Lambi, 2006; Doria y Madramootoo, 2009). Este modelo estima las reducciones en el rendimiento del cultivo cuando se explota en condiciones diferentes a las óptimas. Todas las versiones operan bajo el concepto de evapotranspiración de referencia calculado mediante el método de Penman-Monteith modificado por la FAO (versión ocho) y ofrece la posibilidad de ingresar el valor de

methodologies described in bulletins 24, 33 and 56 of FAO's Irrigation and Drainage series (George *et al.*, 2001; Molua and Lambi, 2006; Doria and Madramootoo, 2009). This model estimates reductions in the crop yield when it is farmed in conditions that are different from the optimal. All the versions operate under the concept of reference evapotranspiration calculated with the Penman-Monteith method, modified by FAO (version eight), and offer the possibility of entering the value of this variable obtained with any other method approved by the same institution, when there is a lack of climate information to operate the principal method from bulletin 56 (Giorgis *et al.*, 2006; Cavero *et al.*, 2000; Doria and Madramootoo, 2009).

Soil data

Soil information from the state of Tabasco required by the CROPWAT model to plan irrigation was taken from the soil

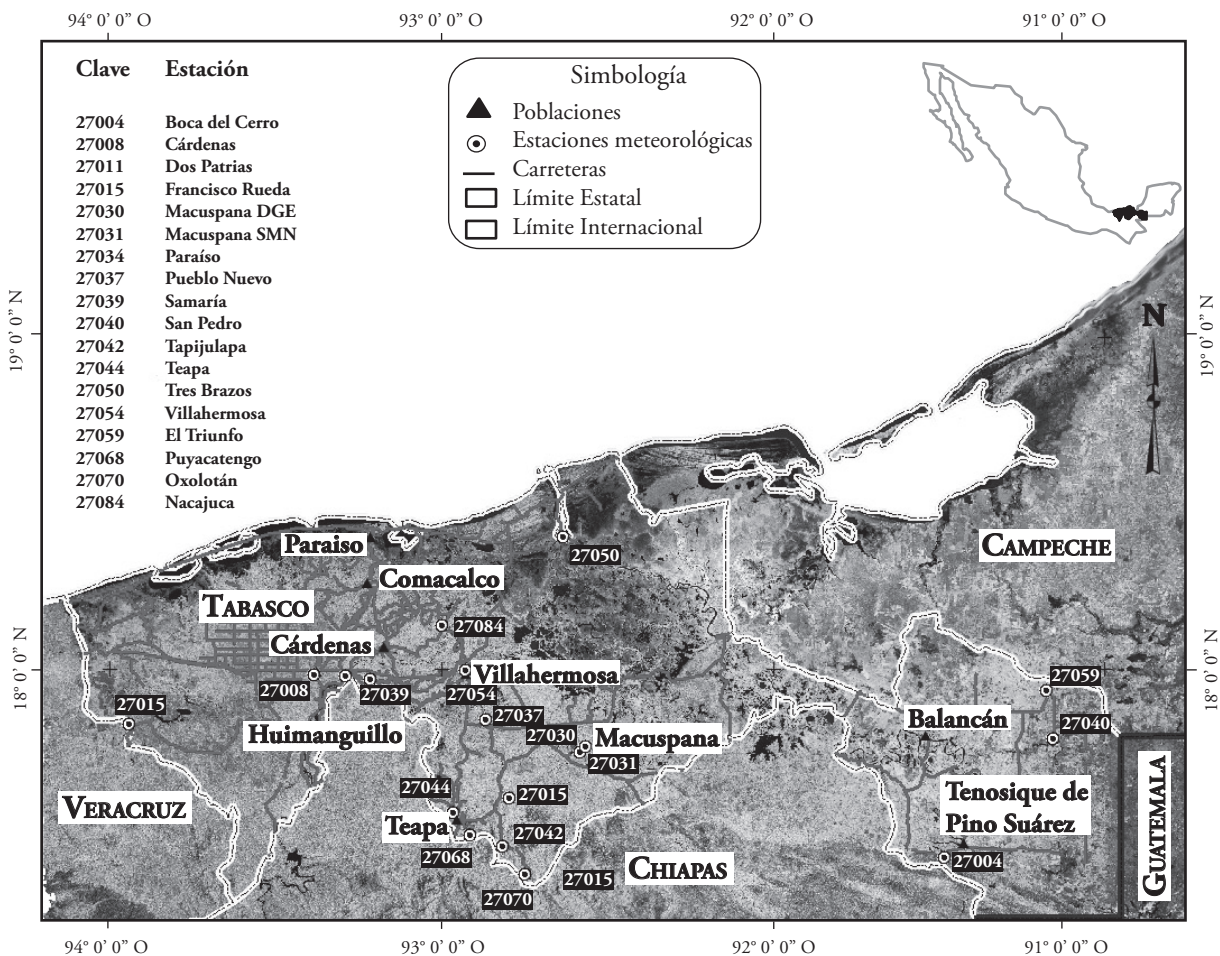


Figura 2. Distribución de 18 estaciones meteorológicas en Tabasco.
Figure 2. Distribution of the 18 meteorologic stations in Tabasco.

esta variable obtenido con cualquier otro método aprobado por la misma dependencia, cuando se carece de información climática para operar con el método principal del boletín 56 (Giorgis *et al.*, 2006; Caverio *et al.*, 2000; Doria y Madramootoo, 2009).

Datos de suelo

La información edafológica del estado de Tabasco requerida por el modelo CROPWAT para planificar el riego fue tomada de la base de datos de suelos con la que cuenta este programa. De acuerdo con los estudios realizados en Tabasco por López *et al.* (2007) y Palma *et al.* (2007), se eligió textura arcillosa como representativa. La humedad inicialmente disponible considerada al momento de la siembra fue de 100 mm m⁻¹. Se consideró una profundidad máxima de enraizamiento del pasto de 100 cm, según Doorenbos y Pruitt (1977).

Cálculo de ET_0

La evapotranspiración es un proceso simultáneo a través del cual un área de cultivo pierde agua por evaporación del suelo y transpiración del follaje, mientras que ET_0 es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua (Allen *et al.*, 2006). El cálculo de esta variable se realizó con el método del tanque tipo A al multiplicar el promedio mensual de evaporación (E_{pan}) por el coeficiente de tanque K_p (0.80), recomendado para regiones tropicales donde prevalece alta humedad relativa y baja velocidad del viento (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 2006):

$$ET_0 = K_p * E_{pan}$$

Precipitación efectiva (P_{ef})

Es la parte de la lluvia anual o estacional total que es útil directa o indirectamente para la producción del cultivo en el lugar donde se registra (Dastane, 1977; Molua y Lambi, 2006; George, *et al.*, 2001). Se calculó con el modelo CROPWAT con el criterio del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. (USDA) y este método se rige por las siguientes condiciones de precipitación (P):

$$\text{si } P \leq 250 \text{ mm, } P_{ef} = \left(\frac{125 - (0.2 * P)P}{125} \right)$$

o si $P > 250$ mm, $P_{ef} = (0.1 * P) + 125$, donde P_{ef} es la precipitación efectiva (mm).

database available with the program. Based on studies carried out in Tabasco by López *et al.* (2007) and Palma *et al.* (2007), clay texture was selected as representative. Humidity initially available considered at the moment of sowing was 100 mm m⁻¹. A maximum depth of grass rooting of 100 cm was considered, based on Doorenbos and Pruitt (1977).

ET_0 calculation

Evapotranspiration is a simultaneous process through which a cultivation area loses water through evaporation in the soil and transpiration in the foliage, while ET_0 is the rate of evapotranspiration of a reference surface that occurs without water restrictions (Allen *et al.*, 2006). Calculation of this variable was carried out with the type A pan method, by multiplying the monthly average evaporation (E_{pan}) by the pan coefficient K_p (0.80), recommended for tropical regions where there is a prevalence of high relative humidity and low wind velocity (Doorenbos and Pruitt, 1977; Allen *et al.*, 2006):

$$ET_0 = K_p * E_{pan}$$

Effective precipitation (P_{ef})

It is the part of the total annual or rainfed rainfall that is directly or indirectly useful for crop production in the place where it is registered (Dastane, 1977; Molua and Lambi, 2006; George *et al.*, 2001). It was calculated with the CROPWAT model with the criterion of the USDA's Soils Conservation Service, and this method is ruled by the following conditions in precipitation (P):

$$\text{if } P \leq 250 \text{ mm, } P_{ef} = \left(\frac{125 - (0.2 * P)P}{125} \right)$$

or if $P > 250$ mm, $P_{ef} = (0.1 * P) + 125$, where P_{ef} is the effective precipitation (mm).

Crop coefficients (K_c)

In Table 1, the general values of the crop coefficient (K_c) and phenological data of forage grasses are shown. This information was taken from the CROPWAT database, since there were no experimental data from the region, and they were kept constant in the simulations carried out in all the stations.

Evapotranspiration of forage grasses

The calculation was carried out with CROPWAT with the sole crop coefficient (K_c) method, where the combined effects of

Coeficientes de cultivo (K_c)

En el Cuadro 1 están los valores generales del coeficiente de cultivo (K_c) y datos fenológicos de las gramíneas forrajeras (pastos). Esta información se tomó de la base de datos del CROPWAT ya que en la región no hay datos experimentales y se mantuvieron constantes en las simulaciones realizadas en todas las estaciones.

Evapotranspiración de las gramíneas forrajeras

El cálculo se realizó con CROPWAT mediante el método del coeficiente único de cultivo (K_c), donde se integran los efectos combinados de la transpiración y evaporación del suelo y con la relación:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

donde ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (mm).

Predicción de rendimiento

Diversos factores influyen en el rendimiento de los cultivos, especialmente el agua y cuando ésta no se suministra en cantidades requeridas se afecta el crecimiento y rendimiento. La magnitud de la afectación varía según la especie y la etapa de crecimiento (Ismail y Depeweg, 2005), pero todos los cultivos presentan mayor sensibilidad al déficit hídrico durante la emergencia, floración y formación de granos (Zaikin y Butcher, 2008). No obstante, el efecto de la falta de agua en la producción puede predecirse con una función lineal de producción, si se considera la relación entre el rendimiento y el consumo de agua relativos establecidos por Doorenbos y Kassam (1979) y adoptados por Molua y Lambi (2006) y Giorgis *et al.* (2006). El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - K_y * \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

donde, Y_a es el rendimiento real (kg ha^{-1}), Y_m es el rendimiento potencial máximo (kg ha^{-1}), ET_a es la evapotranspiración del

soil transpiration and evaporation were integrated, and with the following relation:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

where ET_c represents the crop's actual evapotranspiration (mm).

Yield prediction

Diverse factors influence the crops' yield, particularly water and when it is not supplied in the amounts required, there is an effect on growth and yield. The magnitude of the affectation varies depending on the species and growth stage (Ismail and Depeweg, 2005), but all the crops present greater sensitivity to water deficit during emergence, flowering and grain formation (Zaikin and Butcher, 2008). However, the effect of a lack of water on production can be foreseen with a linear production function, if the relationship between the yield and the relative water consumption established by Doorenbos and Kassam (1979) and adopted by Molua and Lambi (2006) and Giorgis *et al.* (2006), is considered. The calculation is performed with the following equation:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - K_y * \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

where Y_a is the actual yield (kg ha^{-1}), Y_m is the maximum potential yield (kg ha^{-1}), ET_a is the crop's evapotranspiration (mm), ET_m is the maximum potential evapotranspiration (mm), and K_y is the yield response factor (adim).

Sowing date for forage grasses in Tabasco

According to Meléndez *et al.* (2006) the first season for sowing is from January to February, favored by the high luminosity and high temperatures between March and May; although precipitation is scarce, the soil has humidity retained from the season of north winds. Another season is at the beginning of the rainy season (June to July), but it is highly recommended to avoid sowing after July 20th or at the beginning

Cuadro 1. Valores fisiológicos generales para gramíneas (pastos), de la base de datos del CROPWAT.
Table 1. General physiological values for grass forages (pastures), from the CROPWAT database.

Fase	Inicial	Desarrollo	Mediados de temporada	Final de temporada	Total
Coeficiente del cultivo (K_c)	0.85		0.95	0.85	
Duración de la fase (días)	140	60	120	45	365
Factor de respuesta del rendimiento (K_y)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

cultivo (mm), ET_m es la evapotranspiración potencial máxima (mm), y K_y es el factor de respuesta del rendimiento (adim).

Fecha de siembra de las gramíneas forrajeras en Tabasco

De acuerdo con Meléndez *et al.* (2006) la primer época de siembra va de enero a febrero y es favorecida por la alta luminosidad y las elevadas temperaturas entre marzo y mayo; aunque la precipitación es escasa, el suelo cuenta con humedad retenida de la época de nortes. Otra época es al inicio de la temporada de lluvias (junio a julio), pero es muy recomendable no sembrar después del 20 de julio ni a principios de agosto, porque se presenta la sequía intraestival. En este estudio, y por las ventajas mencionadas, las simulaciones se realizaron desde la primera época de siembra.

Escenarios climáticos

Las simulaciones se realizaron mediante dos condiciones: secano y riego deficitario (ET_c fijada por etapa) y para cada condición se manejó lluvia a 20, 50 y 80 % de probabilidad de excedencia, para conocer el comportamiento del cultivo ante los impactos del cambio climático (Dastane, 1977; Molua y Lambi, 2006; Doria y Madramootoo, 2009). Así, el primer nivel de probabilidad (20 %) denota un escenario húmedo, el segundo (50 %) un año normal y el tercero (80 %) un año seco que podría presentarse en cuatro de cada cinco años (Doorenbos y Pruitt, 1977; Smith, 1992). La precipitación probabilística se determinó con la distribución normal (Infante y Zárate, 2001), porque se usaron totales mensuales y la región de estudio es una zona húmeda.

Riego deficitario

Es una opción de riego que CROPWAT ofrece para evaluar el suministro limitado de agua y desarrollar un esquema alternativo para optimizar la producción de los cultivos (Smith, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evapotranspiración de referencia (ET_0)

En Tabasco, la evapotranspiración de referencia está ligada a factores locales y su fluctuación anual presentó un aumento rápido de enero a mayo en el que alcanzó su máximo y después un descenso gradual. El mínimo para todos los municipios fue en diciembre, excepto Macuspana donde fue en enero. El valor anual estatal de esta variable varió entre 833 (Dos Patrias) y 1219 mm (Villahermosa). Para la

of August, because there is a midsummer drought. In this study, and because of the advantages mentioned, simulations were carried out starting with the first sowing season.

Climate scenarios

Simulations were performed with two conditions: rainfed and deficit irrigation (ET_c fixed per stage) and for each condition, rain was managed at 20, 50 and 80 % of excess probability, to understand the crop's behavior when exposed to the impacts of climate change (Dastane, 1977; Molua and Lambi, 2006; Doria and Madramootoo, 2009). Thus, the first level of probability (20 %) denotes a humid scenario, the second one (50 %) a normal year, and the third (80 %) a dry year that could occur in four out of every five years (Doorenbos and Pruitt, 1977; Smith, 1992). The probabilistic precipitation was determined with a normal distribution (Infante and Zárate, 2001), because monthly totals were used and the study region is a humid zone.

Deficit irrigation

It is an irrigation option that CROPWAT offers to evaluate the limited supply of water and to develop an alternative scheme to optimize crops' production (Smith, 1992).

RESULTS AND DISCUSSION

Reference evapotranspiration (ET_0)

In Tabasco, reference evapotranspiration is linked to local factors and its annual fluctuation presented a rapid increase from January to May, when it reached its maximum, and after that a gradual decrease. The minimum was in December for all municipalities, with the exception of Macuspana, where it was in January. The annual state value of this variable varied between 833 (Dos Patrias) and 1219 mm (Villahermosa). For most of the municipalities, when the magnitude of this variable began its decrease in June, there was a slight and sudden increase in July due to the thermic elevations caused by the midsummer drought at that time (Velázquez, 1994). The highest reference evapotranspiration values occurred from March to September, when the state monthly average was exceeded.

Forage grasses evapotranspiration

During the year, the highest evapotranspiration values for grasses occurred in Villahermosa, followed

mayoría de los municipios, cuando la magnitud de esta variable inició su descenso en junio se presentó un aumento ligero y repentino en julio debido a las elevaciones térmicas causadas por la sequía intraestival de esa época (Velázquez, 1994). Los valores mayores de la evapotranspiración de referencia ocurrieron de marzo a septiembre cuando se superó el promedio mensual estatal.

Evapotranspiración de las gramíneas forrajeras

Durante el año los valores mayores de la evapotranspiración de las gramíneas ocurrieron en Villahermosa, seguidos de Nacajuca y San Pedro, y los menores en Teapa, Tapijulapa y Dos Patrias. Todos los municipios mostraron la misma tendencia y la variación de la evapotranspiración de las gramíneas entre los municipios se debe a la configuración climática, ya que es el principal impulsor del movimiento del agua en la planta (Doria y Madramootoo, 2009). En todo Tabasco la evapotranspiración anual de las gramíneas varió entre 765 (Dos Patrias) y 1121 mm (Villahermosa) y su promedio fue 908 mm. En la Figura 3 se muestra el comportamiento anual de la evapotranspiración de las gramíneas en Villahermosa, Teapa y El Triunfo.

Precipitación efectiva (P_{ef})

La precipitación efectiva varió en función de la cantidad de precipitación total registrada (Dastane, 1977) y para los tres escenarios las regiones que presentaron mayor cantidad durante el año fueron Puyacatengo, Oxolotán, Tapijulapa, y Teapa; mientras que los valores más bajos se registraron en El Triunfo, Tres Brazos, San Pedro y Paraíso. En general, para cualquier escenario, todas las localidades siguieron la misma tendencia respecto al tiempo, sin embargo, para los escenarios normal y seco, la menor dispersión entre los valores de P_{ef} se presentó en septiembre, y en agosto para el húmedo. Para los tres escenarios, todas las localidades presentaron las menores cantidades de P_{ef} entre marzo y abril, y después el valor aumentó hasta su valor máximo que para todas las regiones fue en septiembre, a excepción de Nacajuca que lo presentó en octubre. Para los tres escenarios los mayores contrastes se dieron entre Puyacatengo y El Triunfo durante noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; Tapijulapa y Tres Brazos en abril;

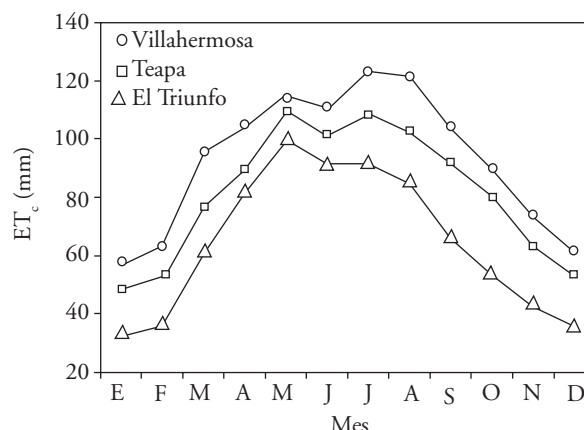


Figura 3. Comportamiento anual de la evapotranspiración de las gramíneas forrajeras en Villahermosa, Teapa y El Triunfo.

Figure 3. Annual behavior of forage grasses evapotranspiration in Villahermosa, Teapa and El Triunfo.

by Nacajuca and San Pedro, and the lowest were in Teapa, Tapijulapa and Dos Patrias. All the municipalities showed the same trend and the variation in grasses evapotranspiration between the municipalities was due to the climate configuration, since it is the primary driving force for water in the plant (Doria and Madramootoo, 2009). In all of Tabasco, the annual evapotranspiration of grasses varied between 765 (Dos Patrias) and 1121 mm (Villahermosa), and the average was 908 mm. The annual behavior of evapotranspiration in grasses in Villahermosa, Teapa and El Triunfo is shown in Figure 3.

Effective precipitation (P_{ef})

Effective precipitation varied in function of the total amount of precipitation registered (Dastane, 1977) and for the three scenarios, the regions that presented the highest amount during the year were Puyacatengo, Oxolotán, Tapijulapa and Teapa, while the lowest values were registered at El Triunfo, Tres Brazos, San Pedro and Paraíso. In general, for any scenario, all the locations followed the same trend with regards to time; however, for the normal and dry scenarios, the lowest dispersion among P_{ef} values was present in September, and in August for the humid scenario. All locations presented the lowest amounts of P_{ef} between March and April for the three scenarios, and then the value increased to its

Paraíso y Oxolotán en mayo y junio; Puyacatengo y San Pedro en octubre; y Puyacatengo con Paraíso en julio, agosto y septiembre. En la Figura 4 se ilustra el comportamiento anual de la precipitación efectiva para el escenario normal en Puyacatengo, Macuspana SMN y Paraíso.

Requerimiento de riego

Para el escenario normal el riego se requirió en 13 localidades de marzo a mayo; sin embargo, San Pedro lo requiere desde febrero, Villahermosa y Paraíso además lo requieren en julio; El Triunfo desde enero y Nacajuca de marzo hasta julio. En cambio Dos Patrias, Tapijulapa, Teapa, Puyacatengo y Oxolotán no presentaron requerimientos de riego. A excepción de Paraíso que presentó su mayor necesidad en mayo, todas las demás regiones la presentaron en abril. La principal diferencia entre escenarios fue la reducción del número de regiones con necesidades de irrigación, ya que para el húmedo es en 10; sin embargo, en esta situación los requerimientos se presentaron de marzo a mayo, a excepción de El Triunfo, Samaria, Pueblo Nuevo y Francisco Rueda que lo presentaron en marzo y abril. Con el escenario seco todas las estaciones requieren riego y se agrupan en cuatro regiones diferentes: la primera requiere riego de noviembre a agosto en Nacajuca, El Triunfo y San Pedro; la segunda, de enero a agosto en Cárdenas, Paraíso, Samaria, Tres Brazos y Villahermosa; la tercera, de marzo a mayo en Dos Patrias, Macuspana DGE, Macuspana SMN, Tapijulapa, Teapa, Puyacatengo y Oxolotán; y la cuarta de enero a mayo en Boca del Cerro, Francisco Rueda y Pueblo Nuevo. Además, Pueblo Nuevo, Macuspana SMN y Macuspana DGE requieren riego en julio además de la época ya mencionada. En la Figura 5 se muestra la variación de los requerimientos de riego para el escenario seco (80 %).

Como era de esperarse, en todas las localidades el escenario seco presentó mayor requerimiento de riego que el escenario normal, y se encontró que aún en situación húmeda es necesario aplicar riego suplementario para mantener a los pastos en buen estado. Sin embargo, los requerimientos para esta última situación son menores comparados con las otras condiciones, y cabe señalar que para el escenario húmedo el promedio estatal de necesidad de riego es $25.91 \text{ mm año}^{-1}$, mientras que para el escenario normal y seco

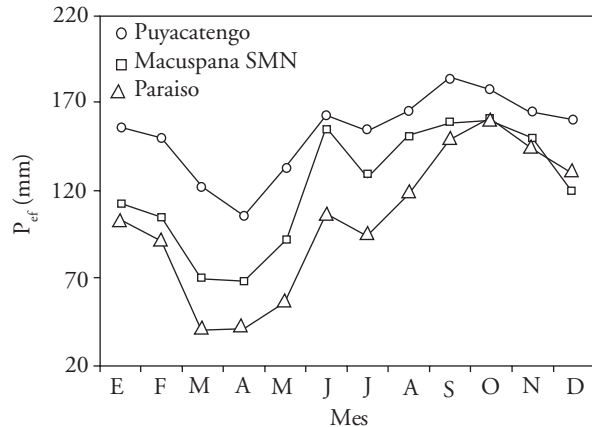


Figura 4. Precipitación efectiva (mm) anual en Puyacatengo, Macuspana SMN y Paraíso.

Figure 4. Annual effective precipitation (mm) in Puyacatengo, Macuspana SMN and Paraíso.

maximum value, which was in September for all the regions except Nacajuca where it was in October. For the three scenarios, the greatest contrasts were seen between Puyacatengo and El Triunfo during November, December, January, February and March; Tapijulapa and Tres Brazos in April; Paraíso and Oxolotán in May and June; Puyacatengo and San Pedro in October; and Puyacatengo and Paraíso in July, August and September. The annual behavior of the effective precipitation is illustrated in Figure 4, for the normal scenario in Puyacatengo, Macuspana SMN and Paraíso.

Irrigation requirements

For the normal scenario, irrigation was required in 13 locations from March to May; however, San Pedro required it since February; Villahermosa and Paraíso also require it in July; El Triunfo since January; and Nacajuca from March to July. In contrast, Dos Patrias, Tapijulapa, Teapa, Puyacatengo and Oxolotán did not present irrigation requirements. With the exception of Paraíso which presented its highest need in May, all the other regions required it in April. The main difference between scenarios was the reduction of the number of regions with irrigation needs, since for the humid scenario it was in 10; however, in this situation the requirements were present from March to May, except in El Triunfo, Samaria, Pueblo Nuevo and Francisco Rueda, where they were present in March and April. With the dry

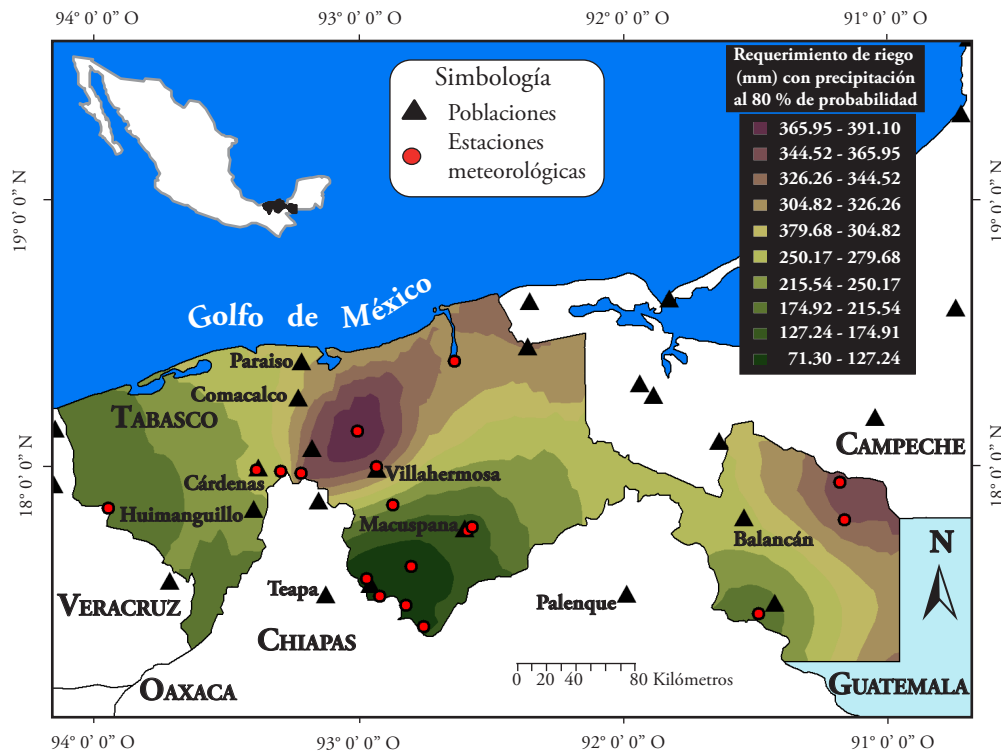


Figura 5. Variación espacial del requerimiento de riego para el escenario seco (precipitación al 80 %).
Figure 5. Spatial variation of irrigation requirements for the dry scenario (precipitation at 80 %).

los promedios son 101.78 y 209.84 mm año⁻¹. Con lluvia al 80 %, los requerimientos varían de 11 (Tapijulapa) a 391 (Nacajuca) mm año⁻¹. En la Figura 6 se observa la variación en la demanda de riego al considerar los tres escenarios de precipitación para Villahermosa.

Reducción del rendimiento

Temporal (secano)

Para el escenario normal (50 %), las reducciones ocurrieron en 10 municipios, siete de los cuales superaron el promedio estatal de reducción estimado para esta condición (5.05 %), con un rango de 2.4 a 6.2 %. Para el escenario seco (80 %), el promedio de reducción en rendimiento del pasto para todo el estado aumentó a 14 %, valor superado en siete municipios que presentaron los porcentajes más altos de reducción de rendimientos (1.7 a 24.1 %); y en Tapijulapa, Puyacatengo y Oxolotán el rendimiento no se redujo.

scenario, all the stations require irrigation and they are grouped in four different regions: the first requires irrigation from November to August, in Nacajuca, El

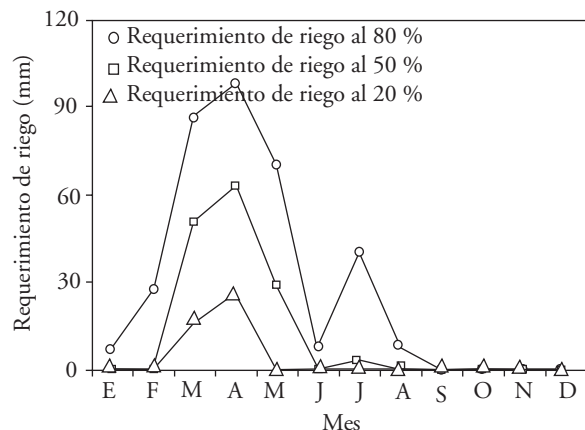


Figura 6. Requerimiento de riego para la región de Villahermosa estimado para los tres escenarios de precipitación.

Figure 6. Irrigation requirement for the Villahermosa region, estimated for the three precipitation scenarios.

Con el escenario húmedo (20 %) no hubo reducción en el rendimiento en Tabasco.

Riego deficitario (ET_c fijada por etapa)

En el escenario normal hubo reducciones en 10 municipios, desde 1.9 (El Triunfo) a 2.5 % (Pueblo Nuevo) y un promedio estatal de 2.27 %, a pesar de que en ocho de las 10 localidades se aplicaron láminas netas de riego que variaron de 55.3 (Samaria) a 65.6 mm (San Pedro) al año. Para el escenario seco las reducciones ocurrieron en 15 localidades y el promedio estatal de disminución del rendimiento fue 3.21 %, con un rango de 1.7 a 5.2 %; en 13 de las 15 estaciones con reducción en el rendimiento se suministraron láminas netas de riego anuales que variaron de 64 (Macuspana DGE) a 301 mm (Nacajuca) para mantener la reducción del rendimiento en niveles aceptables. Además, en Teapa, Puyacatengo, Oxolotán, Tapijulapa, y Dos Patrias no se aplicó riego suplementario ante una circunstancia extrema que, según Doorenbos y Pruitt (1977), Smith (1992) y Doria y Madramootoo (2009), se presenta en cuatro de cada cinco años. Entre los escenarios normal y seco hubo variaciones importantes en las láminas netas aplicadas, como en Macuspana DGE donde para el escenario normal no fue necesario suministrar riego y con el seco se aplicó una lámina neta de 64 mm; en la estación Nacajuca en el escenario seco se aplicó una lámina neta de 301 mm, mientras que en el normal la lámina neta aplicada fue de 62 mm. Con riego deficitario el escenario húmedo no presentó reducción del rendimiento.

Las diferencias más contrastantes en las reducciones del rendimiento fueron para el escenario seco en condiciones de secano y riego deficitario, donde los promedios estatales de reducción fueron 14 y 3.21 %. La variación en el estado de estas reducciones se presenta en la Figura 7A (secano) y 7B (riego deficitario), mientras que la variación de las reducciones para el escenario normal en condiciones de secano y riego deficitario se muestra en las Figuras 8A y 8B.

CONCLUSIONES

Para los escenarios normal y húmedo los requerimientos de riego en la mayoría de las estaciones se presentan de marzo a mayo; en cambio, en el escenario seco hay cuatro grupos donde cada uno tiene sus períodos de requerimiento definidos. En la mayor

Triunfo and San Pedro; the second, from January to August, in Cárdenas, Paraíso, Samaria, Tres Brazos and Villahermosa; the third, from March to May, in Dos Patrias, Macuspana DGE, Macuspana SMN, Tapijulapa, Teapa, Puyacatengo and Oxolotán; and the fourth from January to May in Boca del Cerro, Francisco Rueda and Pueblo Nuevo. Also, Pueblo Nuevo, Macuspana SMN and Macuspana DGE required irrigation in July in addition to the period already mentioned. The variation of irrigation requirements for the dry scenario (80 %) is shown in Figure 5.

As was to be expected, in all the locations the dry scenario presented higher irrigation requirements than the normal scenario, and it was found that even in the humid situation it is necessary to apply supplementary irrigation to maintain the grasses in a good state. However, requirements for this last situation are lower when compared to the other conditions, and it is worth mentioning that for the humid scenario the state average irrigation requirement is 25.91 mm year⁻¹, while for the normal and dry scenarios they are 101.78 and 209.84 mm year⁻¹. With rain at 80 %, requirements vary from 11 (Tapijulapa) to 391 (Nacajuca) mm year⁻¹. In Figure 6, the variation in irrigation demands can be observed, taking into account the three precipitation scenarios for Villahermosa.

Yield reduction

Rainfed (unirrigated land)

For the normal scenario (50 %), reductions occurred in 10 municipalities, seven of which exceeded the state average reduction estimated for this condition (5.05 %), with a range of 2.4 to 6.2 %. For the dry scenario (80 %), the average yield reduction for grasses in the whole state increased to 14 %, a value exceeded in seven municipalities that presented the highest percentages in yield reduction (1.7 to 24.1 %); and in Tapijulapa, Puyacatengo and Oxolotán the yield did not decrease. With the humid scenario (20 %), there was no yield reduction in Tabasco.

Deficit irrigation (ET_c fixed per stage)

In the normal scenario, there were reductions in 10 municipalities, from 1.9 (El Triunfo) to 2.5 %

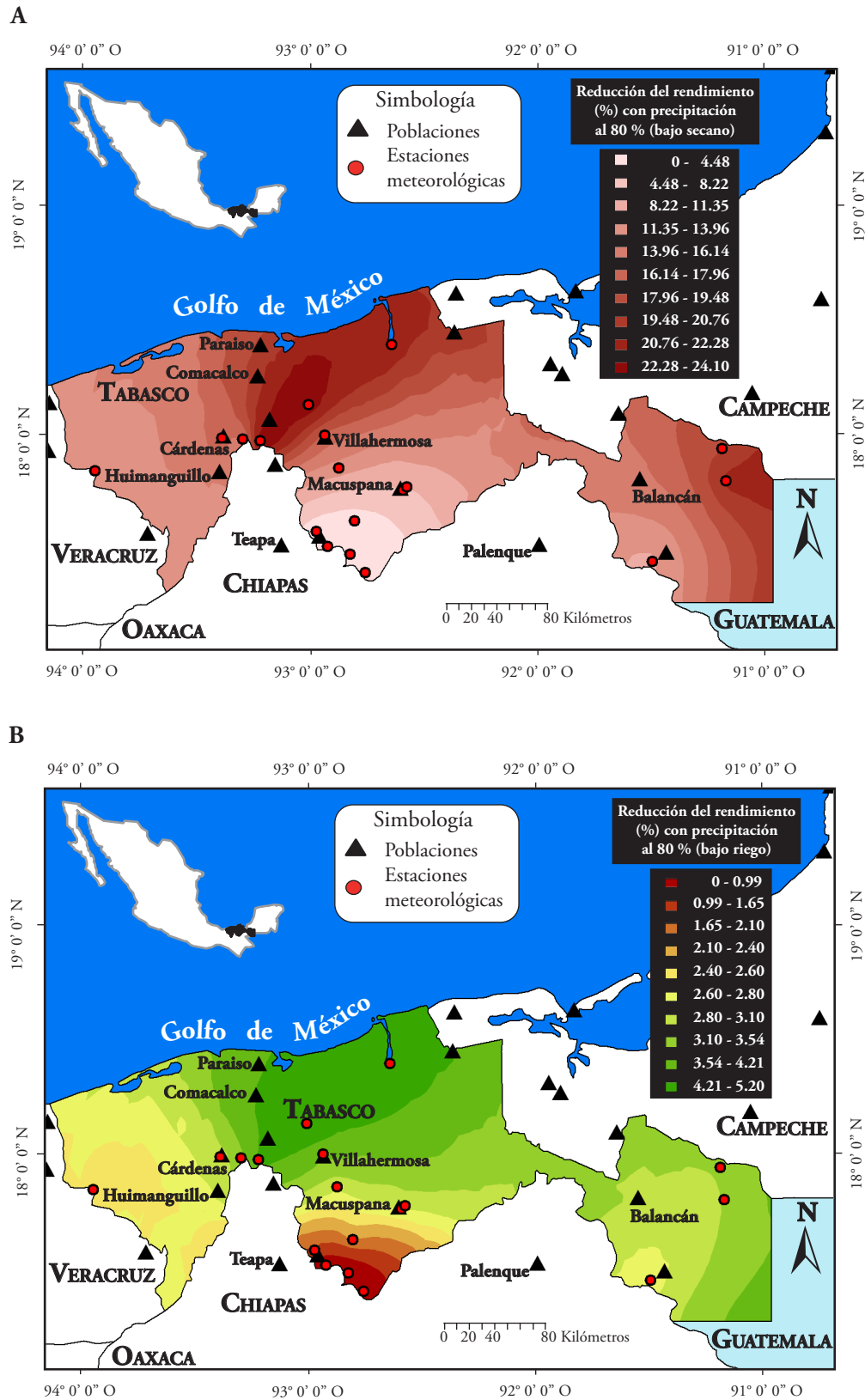


Figura 7. Reducción del rendimiento para el escenario seco en condición de secano (A) y riego deficitario (B).
Figure 7. Yield reduction for the dry scenario in rainfed conditions (A) and with deficit irrigation (B).

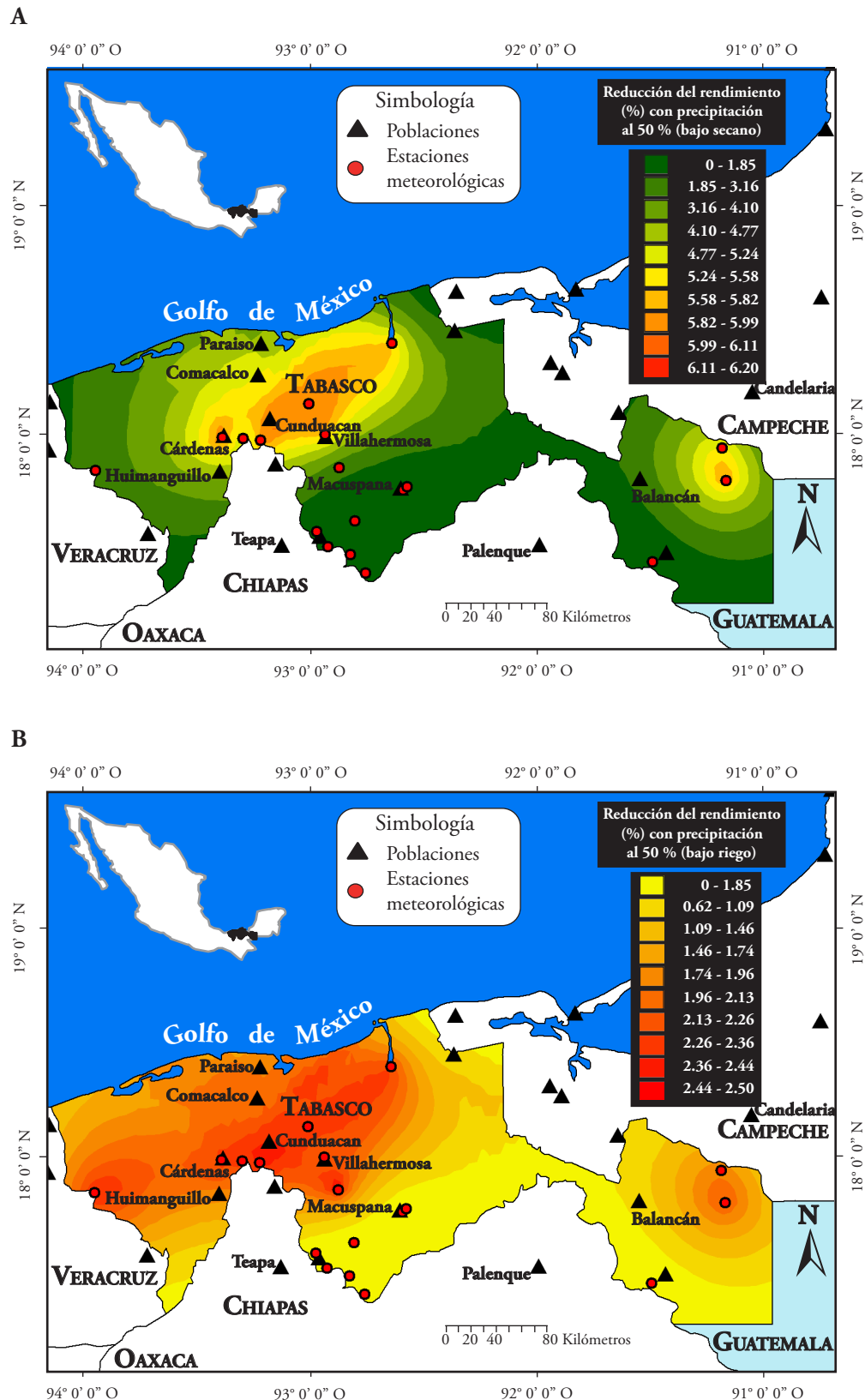


Figura 8. Reducción del rendimiento para el escenario normal en condición de secano (A) y riego deficitario (B).
Figure 8. Yield reduction for the normal scenario in rainfed conditions (A) and with deficit irrigation (B).

parte del estado de Tabasco el mayor requerimiento de riego mensual ocurre en abril, excepto en Paraíso donde es mayo.

Para condiciones de temporal en el escenario húmedo el rendimiento no se redujo, mientras que en el normal y seco hubo reducciones en 10 y 15 estaciones. En condiciones de riego deficitario para el escenario húmedo no hubo reducciones del rendimiento, para el escenario seco las reducciones ocurrieron en 15 estaciones y para el normal en 10. Estas reducciones son menores que para la condición de temporal.

El riego suplementario es importante en el estado de Tabasco para no tener disminuciones en el rendimiento en los escenarios seco y normal.

LITERATURA CITADA

- Allen G, R., L. Santos P., D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO. Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 298 p.
- Cavero, J., I. Farre, P. Debaeke, and J. Faci. 2000. Simulation of maize yield under water stress with the EPICphase and CROPWAT Models. *Agron. J.* 92:679-690.
- Dastane, N., G. 1977. Precipitación Efectiva en la Agricultura de Regadío. FAO. Riego y Drenaje 25. Roma, Italia. 68 p.
- De Dios, V. 2001. Ecofisiología de los Bovinos en Sistemas de Producción del Trópico Húmedo. Colección José N. Rovirosa: Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, México. 376 p.
- Dechmi, F., E. Playán, M. Tejero, and A. Bercero. 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain II. Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agric. Water Manage.* 61:93-109.
- Diop, M., 2006. Analysis of crop water use in Senegal with the CROPWAT model. CEEPA discussion paper no. 34, CEEPA, University of Pretoria, 18 p.
- Doorenbos, J., y A. Kassam. 1979. Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje 33. Roma, Italia. 212 p.
- Doorenbos, J., y W. Pruitt. 1977. Las Necesidades de Agua de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje 24. Roma, Italia. 194 p.
- Doria R, O., and C. A. Madramootoo. 2009. Estimation of irrigation requirements for some crops in southern Quebec using CROPWAT. *Irrigation and Drainage*. Published online in Wiley InterScience: www.interscience.wiley.com; DOI: 10.1002/ird.497.
- Engelbrecht, B. M. J., J. Dalling, T. Pearson, R. Wolf, D. Gálvez, T. Koehler, M. Tyree, and T. Kursar. 2006. Short dry spells in the wet season increase mortality of tropical pioneer seedlings. *Oecologia* 148:258-269.
- George B., S. Shende, and N. Raghuwanshi. 2001. Development and testing of an irrigation scheduling model. *Agric. Water Manage.* 46:121-136.
- Giorgis K., A. Tadege, and D. Tibebe. 2006. Estimating crop water use and simulating yield reduction for maize sorghum

(Pueblo Nuevo), and a state average of 2.27 %, although in eight of the 10 localities, net irrigation sheets were applied that varied from 55.3 (Samaria) to 65.6 mm (San Pedro) per year. For the dry scenario, there were reductions in 15 locations and the state average for yield decrease was 3.21 % with a range of 1.7 to 5.2 %; in 13 of the 15 stations with yield reduction, net annual irrigation sheets were supplied that varied from 64 (Macuspana DGE) to 301 mm (Nacajuca), in order to maintain the yield reduction at acceptable levels. In addition, in Teapa, Puyacatengo, Oxolotán, Tapijulapa and Dos Patrias, supplementary irrigation was not applied when faced with an extreme circumstance which, according to Doorenbos and Pruitt (1977), Smith (1992), and Doria and Madramootoo (2009), are present in four out of every five years. Between the normal and dry scenarios there were important variations in the net sheets applied, such as in Macuspana DGE where it was not necessary to supply irrigation for the normal scenario, and where a net sheet of 64 mm was applied with the dry scenario; at the Nacajuca station, a net sheet of 301 mm was applied in the dry scenario, while in the normal scenario, the net sheet applied was 62 mm. With deficit irrigation, the humid scenario did not present yield reduction.

The most contrasting differences in yield reductions were for the dry scenario in dry season conditions and deficit irrigation, where state averages for reduction were 14 and 3.21 %. The variation in the state of these reductions is presented in Figure 7A (dry season) and 7B (deficit irrigation), while the variation in reductions for the normal scenario in dry season and deficit irrigation conditions is shown in Figures 8A and 8B.

CONCLUSIONS

For the normal and humid scenarios, irrigation requirements in most of the stations were present from March to May; instead, in the dry scenario there are four groups, each one with its own defined requirement periods. In most of the state of Tabasco, the greatest requirement for monthly irrigation occurs in April, except in Paraíso where it is in May.

For rainfed conditions, yield did not decrease in the humid scenario, while in the normal and dry scenarios there were reductions in 10 and 15 stations. In conditions of deficit irrigation there were no yield reductions for the humid scenario, whereas for the

- in Adama Mieso districts using the CROPWAT model. CEEPA discussion paper no. 31, CEEPA, University of Pretoria. 14 p.
- Infante G., S., y G. P. Zárate de L. 2001. Métodos Estadísticos. Trillas. Segunda edición. México, D.F. 643 p.
- Ismail, S., and H. Depeweg. 2005. Water productivity and crop production simulation under surge flow irrigation in short furrows in Egypt. *Irrigation and Drainage* 54:103-113.
- Liu J., J. Williams, A. Zehnder, and H. Yang. 2007. GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. *Agric. Systems* 94:478-493.
- López G., A. del R., B. Palma G., M. A. Hernández R., M. E. Ojeda M., A. Ángeles P., J. A. Ruiz N., y M. J. García M. 2007. Caracterización físicoquímica de los suelos predominantes en el estado de Tabasco. *Conciencia Tecnológica* 34:45-46.
- Meléndez N., F. J. A. González M., y J. Pérez P. 2006. Manejo Tecnológico del Pasto Estrella Africana en el Trópico. Instituto Para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco (ISPROTAB). Segunda edición. Villahermosa, Tabasco, México. 79 p.
- Molua, E., and C. Lambi. 2006. Assessing the impact of climate on crop water use and crop water productivity: The CROPWAT analysis of three districts in Cameroon. CEEPA discussion paper no. 33, CEEPA, University of Pretoria. 44 p.
- Palma L., D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C., y J. A. Rincón R. 2007. Suelos de Tabasco: Su Uso y Manejo Sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Primera edición. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- Sheng-Feng K., Shen-Shin H., and L. Chen-Wuing. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. *Agric. Water Manage.* 82:433-451.
- dry scenario reductions occurred in 15 stations, and for the normal in 10. These reductions are lower than for the rainfed condition.
- Supplementary irrigation is important in the state of Tabasco to prevent yield decreases in the dry and normal scenarios.

—End of the English version—



- Smith, M. 1992. CROPWAT. A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO. Irrigation and Drainage Paper 46. Roma, Italia. 122 p.
- Velázquez V., G. 1994. Los Recursos Hidráulicos del Estado de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Primera edición. Villahermosa, Tabasco, México. 242 p.
- Wriedt, G., M. Van d. V., A. Aloe, and F. Bouraoui. 2009. Estimating irrigation water requirements in Europe. *J. Hidrol.* 373:527-544.
- Zaikin, A., and W. Butcher. 2008. Economic evaluation of farmers' alternatives during irrigation water deficit; *In*: Qi J., and K. T. Evered (eds). *Environmental Problems of Central Asia and their Economic, Social and Security Impacts*. Tashkent, Uzbekistan. Springer Science. pp: 251-266.