

EXPECTATIVAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL EN JALISCO*

EXPECTATIONS OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THREE BEAN VARIETIES IN JALISCO

Diego Raymundo González Eguiarte^{1§}, José Ariel Ruiz Corral², Rogelio Lépez Ildefonso³, Alfredo González Ávila², Eduardo López Alcocer⁴, Gabriela Ramírez Ojeda², Patricia Zarazúa Villaseñor¹ y Noé Durán Puga¹

¹Departamento de Desarrollo Rural Sustentable. Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales, km 15.5. Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. ²Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8. Tepatitlán, Jalisco, México. C. P. 47600. ³Departamento de Producción Agrícola. Universidad de Guadalajara. ⁴Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Guadalajara. [§]Autor para correspondencia: diegonz@cucba.udg.mx.

RESUMEN

México está considerado como centro de origen del género *Phaseolus*, mientras que al Occidente de México se le reconoce como una zona importante de diversidad. De cinco de las especies cultivadas por el hombre (*P. vulgaris*; *P. acutifolius*; *P. coccineus* subsp. *Coccineus*; *P. polyanthus* y *P. lunatus*), aún se desconocen varios aspectos relacionados con sus necesidades climáticas básicas, lo que impide definir las áreas de mayor productividad y sustentabilidad, así como sus posibilidades de adaptación al cambio climático. El objetivo de la investigación fue determinar las temperaturas cardinales y las áreas de recomendación actuales y futuras en Jalisco para las variedades Azufrado Tapatío, Bayo Grande y Mulato. En ambiente controlado se hicieron variar las temperaturas diurnas de 7 a 40 °C y las nocturnas de 3 a 32 °C, con un fotoperiodo de 12 h. Como datos fenológicos se registraron: fecha de siembra, fecha de emergencia, fecha de inicio de floración y fecha de madurez. Mediante modelos de regresión se determinaron las temperaturas cardinales y el requerimiento térmico. Para determinar las áreas de recomendación actuales y bajo escenarios de cambio climático de los genotipos estudiados, se utilizó el procedimiento de análisis espacial con el sistema de

ABSTRACT

Mexico is considered as the center of origin of the *Phaseolus* genus, while the west of Mexico is recognized as an important area of diversity. For five of the cultivated species (*P. vulgaris*, *P. acutifolius*, *P. coccineus* subsp. *Coccineus*, *P. polyanthus* and *P. lunatus*), several aspects of basic climatic needs are still unknown, preventing to define areas of higher productivity and sustainability, as well as their adaptability to climate change. The aim of this paper was to determine the cardinal temperatures and the current and, future recommendations areas for Azufrado Tapatío, Bayo Grande y Mulato varieties. In a controlled environment, daytime temperatures were changed from 7 to 40 °C and, nighttime temperatures from 3 to 32 °C with a photoperiod of 12 h. For the phenological data were recorded: sowing date, emergence date, flowering-beginning date and, maturity date. Using regression models, cardinal temperatures and thermal requirement were determined. In order to determine the current recommendation areas and under climate change scenarios for the studied genotypes, the method of spatial analysis with the IDRISI Andes geographic information system was used, feeding the processes with

* Recibido: diciembre de 2010
Aceptado: julio de 2011

información geográfica IDRISI Andes, alimentando los procesos con el sistema de información ambiental (SIA) y el sistema de información de cambio climático (SICC) del INIFAP para Jalisco, este último basado en un ensamble de modelos de circulación general considerando el escenario de emisiones A2. Como resultado final fue posible establecer las áreas que actualmente poseen condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo, así como las áreas que tendrán condiciones óptimas en las décadas 2021-2030 y 2041-2050. Las tres variedades estudiadas muestran diferente capacidad de adaptación en el escenario de clima actual y en escenarios de cambio climático. Estas posibilidades de adaptación pudieron ser expresadas en términos de áreas de recomendación a nivel municipio.

Palabras clave: áreas de recomendación, cambio climático, frijol, requerimiento térmico, temperaturas umbrales.

INTRODUCCIÓN

El frijol ha sido por mucho tiempo un alimento básico en la dieta del mexicano y actualmente se cultiva un gran número de variedades en correspondencia con la gran diversidad de ambientes agroecológicos, bajo los cuales se produce frijol en nuestro país. No obstante, ser uno de los cultivos más importantes, aún se desconocen varios aspectos relacionados con sus necesidades climáticas básicas, especialmente a nivel de genotipo. Esto limita la determinación confiable de sus potenciales áreas de producción, lo que es un objetivo primario en términos agrícolas y de sustentabilidad (Medina *et al.*, 2003).

Con respecto al clima, las áreas de producción de cultivos están dadas fundamentalmente por tres elementos: temperatura, agua y luz (radiación solar). De estos elementos básicos, la temperatura es considerada como la más determinante para la adaptación y distribución de los genotipos (Monteith, 1977; Ruiz *et al.*, 2002).

La adaptación y desarrollo de las plantas están condicionados por ciertos límites o controles térmicos como las temperaturas umbrales o ceros fisiológicos. Por debajo del umbral mínimo y por arriba del umbral máximo, la actividad celular y por tanto el desarrollo del organismo se consideran nulos (Summerfield *et al.*, 1989). Así, se puede afirmar que conociendo los valores de estos umbrales térmicos para una especie vegetal, se pueden

the environmental information system (EIS) and, the climate change information system (SICC) of the INIFAP for Jalisco, the latter based on an ensemble of general circulation models considering the A2 emissions scenario. It was possible to establish the areas that currently have optimal agro-climatic conditions for cultivation as well as the areas that will have optimum conditions in 2021-2030 and, 2041-2050 decades. The three varieties studied show different resilience for the current climate scenario and, climate change scenarios. These adaptation options were expressed in terms of recommendation areas at municipality-level.

Key words: beans, climate change, recommendation areas, temperature thresholds, thermal requirements,

INTRODUCTION

Beans have been for long a time a staple in the Mexican diet and, currently a large number of varieties are cultivated in correspondence with the great diversity of agro-ecological environments under which beans are produced in our country. Despite being one of the most important crops, several aspects of its basic climatic needs are still unknown, especially at genotype level. This limits the reliable determination of potential production areas, which is a primary goal in agricultural and sustainability terms (Medina *et al.*, 2003).

Regarding to climate, the crop production areas are given mainly by three factors: temperature, water and light (solar radiation). Out of these basic elements, the temperature is considered as the most crucial for adaptation and distribution of genotypes (Monteith, 1977; Ruiz *et al.*, 2002).

The adaptation and development of plants are influenced by some thermal limits or controls such as temperature threshold or physiological zero. Below the minimum threshold and above the maximum threshold, cellular activity and therefore the organism development are considered null (Summerfield *et al.*, 1989). Thus, knowing the values of thermal thresholds for plant species, its adaptation or recommendation environments can be determined. Another important thermal control, which in this case determines the development levels, it's the optimum temperature. When a plant lives under a regime of optimal temperature, the highest rates of development are obtained (Slafer and Savin, 1991).

determinar sus ambientes de adaptación o recomendación. Otro control térmico importante, que en este caso determina más bien los niveles de desarrollo, es la temperatura óptima. Cuando una planta habita bajo un régimen de temperatura óptima se obtienen las mayores tasas de desarrollo (Slafer y Savin, 1991).

En conjunto, los umbrales térmicos y la temperatura óptima de una especie son conocidos también como sus temperaturas cardinales (Durán *et al.*, 2011). Conociendo las temperaturas cardinales y mediante la caracterización fenológica de un genotipo, es posible determinar de manera precisa su requerimiento térmico (RT) o unidades calor (UC) necesarias para completar su ciclo de madurez (Ruiz *et al.*, 2002), y por tanto determinar si dicho genotipo puede prosperar en una estación de crecimiento (EC) con una capacidad térmica (CT) determinada, entendiendo ésta como la cantidad de unidades calor o grados-día de desarrollo que se acumulan en la EC. Esto es, deducir si la EC garantiza el cumplimiento del ciclo de desarrollo del genotipo. La determinación de las áreas de recomendación de genotipos o variedades bajo esta base de conocimiento, permite minimizar el riesgo climático de producción de cultivos (FAO, 1997).

El cambio climático está generando alteraciones en las condiciones agroclimáticas de las áreas agrícolas del país (Ruiz *et al.*, 2010), las cuales están imponiendo la necesidad de evaluar los impactos de estos cambios sobre el potencial de producción de cultivos en México. Jalisco es un estado que no escapa a esta situación y recientemente se han reportado sus niveles de cambio pluviotérmico durante las últimas cinco décadas (Ruiz y Regalado, 2011), y los escenarios agroclimáticos que privarán durante los próximos cincuenta años (Zarazúa, 2011).

En resumen, estos autores reportan incrementos de temperatura, evapotranspiración y variaciones ligeras de precipitación predominantemente hacia la baja. Estas combinaciones redundan en condiciones agroclimáticas menos favorables para los cultivos, por lo que el siguiente reto es evaluar el impacto que tienen y tendrán estos cambios climáticos sobre la producción agrícola. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar las temperaturas cardinales y las áreas de recomendación de tres variedades de frijol en las áreas agrícolas de temporal del estado de Jalisco, bajo el escenario climático actual y dos escenarios de cambio climático.

Overall, the thermal thresholds and, optimum temperature of a species are also known as its cardinal temperatures (Durán *et al.*, 2011). Knowing the cardinal temperatures and through the phenological genotype characterization, it's possible to accurately determine its thermal requirements (TR) or heat units (HU) necessary to complete its maturation cycle (Ruiz *et al.*, 2002), and therefore to determine if the genotype can thrive in a growing season (EC) with a determined thermal capacity (TC), understood as the amount of heat units or development degree-days accumulated during GS. That is, in order to deduce if the GS ensures the compliance of the genotype development cycle. The determination of the recommendation areas of genotypes or varieties in this knowledge base, allows to minimizing the climate risk of the crop's production (FAO, 1997).

The climate change is causing changes in the agro-climatic conditions of the agricultural-areas of the country (Ruiz *et al.*, 2010), generating the need to assess the impacts of these changes on the crop's production potential for Mexico. The Jalisco State does not escape this situation and its pluviothermic changes levels during the last five decades have been recently reported (Ruiz and Regalado, 2011), as well as the deprive agro-climatic scenarios over the next fifty years (Zarazúa, 2011).

Summarizing, these authors reported increases in temperature, evapotranspiration and slight precipitation variations predominantly downward. These combinations result in less favorable agro-climatic conditions for the crops, so, the next challenge is to evaluate the impact that these climate changes have/will have on agricultural production. Therefore, the aim of this paper was to determine the cardinal temperatures and, recommendation areas for three bean varieties in rainfed agricultural-areas of Jalisco State, under the current climate scenario and, two scenarios of climate change.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

The study was conducted for Azufrado Tapatio, Bayo Grande and Mulato varieties. Some characteristics of these materials are shown in Table 1.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

El estudio se realizó para las variedades Azufrado Tapatío, Bayo Grande y Mulato. Algunas características de estos materiales se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características generales de las variedades de estudio.

Table 1. General characteristics of the studied varieties.

Variedad	Características
Azufrado Tapatío	Amplia adaptación y buen rendimiento. Es de hábito indeterminado postrado de guía corta, tipo IIIa y ciclo biológico intermedio (92 días). Resistente a roya, bacteriosis de halo y resistencia intermedia-alta a antracnosis. Grano con tamaño medio y color crema azufrado, del tipo comercial bayo con amplia demanda en el mercado. La siembra de Azufrado Tapatío podría incrementar la producción y el consumo de frijoles bayos en el ámbito nacional.
Mulato (NAB 69)	De alto rendimiento y valor agronómico, hábito indeterminado erecto con guía corta, tipo IIa y ciclo biológico intermedio (91 días). La planta erecta y de vainas altas, facilita el manejo del cultivo. Es resistente a roya, bacteriosis de halo y resistencia intermedia-alta a antracnosis. Grano negro tipo Jamapa y aunque es de bajo consumo local, se procesa y empaca en grandes volúmenes en la ciudad de Guadalajara para el mercado nacional. Los agricultores de Jalisco lo podrían producir bajo contrato para las empresas emparadoras e industrializadoras.
Bayo Grande (UGBG-1)	De alto valor agronómico y hábito determinado erecto, de ciclo vegetativo intermedio (92 días de siembra a cosecha), resistente a enfermedades como bacteriosis de halo, antracnosis y roya. Es de grano grande color crema, del tipo comercial conocido como bayo grande. Este frijol se ha escaseado en el mercado nacional, por lo que esta línea podría rescatar el consumo de frijoles grandes de color crema conocidos comúnmente como bayos.

Experimentación en ambiente controlado

Consistió en el desarrollo de ensayos de observación fenológica en ambiente controlado, en el interior de una cámara de crecimiento que regula las condiciones de temperatura, luz y humedad relativa. La unidad experimental constó de una maceta que albergó 2-3 plantas de cada variedad. Se establecieron dos repeticiones. En total se llevaron a cabo siete experimentos. Los tratamientos de temperatura y fotoperiodo estudiados se describen en el Cuadro 2. Durante el desarrollo de los experimentos se registraron como datos fenológicos los siguientes: a) fecha de siembra; b) fecha de emergencia; c) fecha de inicio de floración y d) fecha de madurez.

Determinación de temperaturas cardinales

Se calcularon temperaturas medias para cada etapa fenológica, obteniendo la media aritmética de la temperatura diurna y nocturna de cada tratamiento térmico, esto es: $T_m =$

Experiments in environment under control

Integrated by the development of the phenological observation trials in the controlled environment inside a growth chamber that regulates the conditions of temperature, light and, humidity. The experimental unit consisted of a pot with 2-3 plants of each variety. There were two repetitions. For a total of seven experiments

performed. The studied temperature and photoperiod treatments are described in Table 2. During the experiments course, phenological data were recorded: a) planting date; b) emergence date; c) flowering-beginning date; and d) maturity date.

Cuadro 2. Tratamientos de temperatura utilizados.

Table 2. Temperature treatments used.

Tratamiento térmico (°C)*	Fotoperiodo (h)	Fecha de siembra
34/26	12	1/9/2006
27/21	12	22/09/2006
7/3	12	15/09/2006
26/16	12	29/06/2007
40/32	12	22/05/2007
23/7	12	10/1/2008
32/16	12	9/11/2007
19/17	12	4/2/2008

*= temperatura diurna/temperatura nocturna.

$(T_d + T_n)/2$. Los datos referentes a los días (d) de duración de la etapa siembra-emergencia, etapa emergencia-inicio de floración y etapa inicio de floración-madurez, se transformaron a tasas de desarrollo mediante el cálculo de su recíproco, esto es $1/d$.

Se graficaron los valores de tasa de desarrollo y sus temperaturas medias correspondientes. El análisis gráfico reveló la tendencia de los datos, siendo ésta en las tres variedades, de tipo lineal para la etapa siembra-emergencia y de tipo curvilíneo para la etapa emergencia-inicio de floración. Con base en una tendencia lineal se procedió a realizar un análisis de regresión lineal simple, tomando como variable independiente a la temperatura media y variable dependiente a la tasa de desarrollo.

Con los parámetros de la regresión (Monteith, 1977), se determinaron tanto la temperatura base (T_b) como el requerimiento térmico (RT) de la etapa siembra-emergencia, de la forma en que se describe a continuación: $T_b = -a/b$; donde: a y b son la constante y el coeficiente de regresión del análisis de regresión. $RT = 1/b$; donde: RT es el requerimiento térmico. En el caso de una relación lineal entre tasa de desarrollo y temperatura, la temperatura óptima se aproximó al valor de temperatura que produjo la mayor tasa de desarrollo.

Cuando la relación entre tasa de desarrollo y temperatura fue curvilínea, entonces fue posible determinar las tres temperaturas cardinales. Para ello se utilizó el método de regresión cuadrática con el ajuste propuesto por Foong (Robertson, 1983). Con este método la temperatura base se calculó con la expresión:

$$T_b = \frac{-\beta_1 + (\beta_1^2 - 4\beta_0\beta_2)^{\frac{1}{2}}}{2\beta_2}$$
; donde: β_0 , β_1 y β_2 son los parámetros de la regresión cuadrática. La temperatura óptima se obtuvo como: $T_o = -\beta_1/2\beta_2$. Por último, la temperatura umbral máxima se obtuvo con la siguiente expresión: $T_u = \ln(2C^{T_o} - C^{T_b})/\ln C$; donde: $C = 1.15$ (Foong, citado por Robertson, 1983).

Requerimiento térmico para el ciclo vegetativo

Se cuantificó el requerimiento térmico del ciclo vegetativo de los tres genotipos de frijol, utilizando para ello los resultados de la cuantificación de temperaturas cardinales y datos fenológicos monitoreados en el presente estudio. Para el caso de la etapa inicio de floración-madurez se

Determination of cardinal temperatures

Average temperatures were calculated for each phenological stage, getting the average of daytime and nighttime temperature of each thermal treatment; i. e.: $T_m = (T_d + T_n)/2$. Data of days (d) of sowing-emergence stage duration, emergence-beginning of flowering stage, and beginning of flowering-maturity stage, were transformed into growth rates by calculating its reciprocal that is $1/d$.

The values of development rate and their corresponding average temperatures were plotted. Graphical analysis revealed the data trend being in all three varieties of linear-type for the seed-emergence stage and curvilinear type for emergence-beginning of flowering stage. Based on a linear trend, a simple linear regression analysis was performed, using mean temperatures as independent variable and, the development rate as the dependent one.

With the regression parameters (Monteith, 1977), base temperatures (T_b) and thermal requirement (TR) of planting-emergence stage were determined, as described below: $T_b = -a/b$; where: a and b are the constant and regression coefficient of the regression analysis. $RT = 1/b$; where: RT is the thermal requirement. In the case of a linear relationship between development rate and temperature, the optimal temperature was approached to the temperature value that had the highest development rate.

When the relationship between the development rate and the temperature was curvilinear, it was possible to determine the three cardinal temperatures. Using the quadratic regression method with the adjustment proposed by Foong (Robertson, 1983). With this method, the base temperature was calculated using the following expression:

$$T_b = \frac{-\beta_1 + (\beta_1^2 - 4\beta_0\beta_2)^{\frac{1}{2}}}{2\beta_2}$$
; where: β_0 , β_1 and β_2 are the quadratic regression parameters. The optimum temperature was obtained as: $T_o = -\beta_1/2\beta_2$. Finally, the maximum threshold temperature was obtained using the following expression: $T_u = \ln(2C^{T_o} - C^{T_b})/\ln C$; where $C = 1.15$ (Foong, quoted by Robertson, 1983).

Thermal requirement of the growth cycle

The thermal requirement of the growing season of the three bean genotypes was quantified, using the results of the cardinal temperatures quantification and, the phenological

utilizaron las temperaturas cardinales, obtenidas para la etapa emergencia-inicio de floración, las cuales se aplicaron a datos de duración de la etapa inicio de floración-madurez, que fueron medidos también en ambiente controlado. De esta forma se obtuvieron los requerimientos térmicos en términos de unidades calor. Las unidades calor se calcularon con el método residual, esto es $UC = T_m - T_b$; donde: UC=unidades calor; T_m = temperatura media; T_b = temperatura base.

Cartografía de áreas de recomendación de genotipos de frijol

Se utilizó el sistema de información geográfica IDRISI Andes y los sistemas de información ambiental (Ruiz *et al.*, 2003) y de cambio climático (SICC) del estado de Jalisco (basado en 10 modelos de circulación general y el escenario de emisiones A2) (Ruiz y Regalado, 2011), para identificar las áreas de recomendación de siembra en temporal, de los tres genotipos estudiados bajo las climatologías 1961-2003, 2021-2030 y 2041-2050. Para ello se utilizaron como variables de diagnóstico las siguientes: uso del suelo agrícola de temporal, áreas con aptitud agroclimática para el cultivo de frijol, duración de la estación de crecimiento (DEC), unidades calor acumuladas durante la estación de crecimiento (UCA) de acuerdo con las temperaturas cardinales de los genotipos.

La variable uso del suelo agrícola de temporal se tomó del SIA; la variable DEC se obtuvo mediante la aplicación del modelo para estimar la DEC propuesto por Ruiz *et al.* (2011) y en el cual $DEC = 59.233 \ln(IHA) + 148.78$ ($r^2 = 0.9066$); donde: IHA= índice de humedad anual calculado mediante el cociente precipitación anual (PA)/evapotranspiración potencial anual (ETPA). Las UCA durante la estación de crecimiento se calcularon con base en el método residual, utilizando el valor de temperatura media, junio-octubre como representativo de la temperatura media de la estación de crecimiento. Las áreas con aptitud agroclimática para el cultivo de frijol, se determinaron bajo un esquema de diagnóstico de potencial agroecológico de cultivos con enfoque cualitativo (Cuadro 3).

Las áreas de recomendación se obtuvieron cuando el requerimiento térmico del ciclo vegetativo de los genotipos, se restó de las unidades calor acumuladas durante la estación de crecimiento en las áreas aptas para frijol. Las áreas que resultaron con una diferencia positiva, se asumieron como áreas de recomendación para el genotipo en cuestión.

data monitored in this study. In the case of the flowering beginning-maturity stage, the cardinal temperatures were used, obtained for the emergence-flowering beginning stage, which were applied to flowering beginning-maturity data, that were also measured in a controlled ambient. In this way, the thermal requirements were obtained in terms of heat units. The heat units were calculated using the residual method, this is $UC = T_m - T_b$; where: UC= heat units, T_m = average temperature, T_b = base temperature.

Mapping of recommendation areas of bean genotypes

IDRISI Andes geographic information system was used and, the environmental information systems (Ruiz *et al.*, 2003) and climate change (CCIS) of the Jalisco State (based on 10 general circulation models and A2 emission scenario) (Ruiz and Regalado, 2011), to identify the recommendation areas for rainfed planting, for the three genotypes studied under climatologies 1961-2003, 2021-2030 and 2041-2050. Using as diagnostic variables: rainfed agricultural-land use, areas with agro-climatic suitability for cultivating beans, length of growing season (LGS), heat units accumulated during the growing season (HUA) according to the cardinal temperatures of the genotypes.

The variable use for rainfed agricultural-land was taken from the EIS, the LGS variable was obtained by applying the model to estimate the LGS proposed by Ruiz *et al.* (2011) in which $LGS = 59.233 \ln(IHA) + 148.78$ ($r^2 = 0.9066$); where: IHA= annual moisture index calculated by the ratio of annual precipitation (PA)/annual potential evapotranspiration (ETPA). The HUA during the growing season were calculated based on the residual method, using the value of mean temperature from June to October as representative of the average temperature of the growing season. The areas with agro-climatic suitability for the cultivation of beans were determined under a diagnosis scheme of the crops' agro-ecological potential with a qualitative approach (Table 3).

The recommendation areas were obtained when the thermal requirement of the growing cycle of the genotypes was subtracted from the heat units accumulated during the growing season in areas suitable for beans. The areas that had a positive difference were assumed as recommendation areas for the genotype in question.

Cuadro 3. Variables y criterios para determinar áreas potenciales de frijol en condiciones de temporal, ciclo primavera-verano.

Table 3. Variables and criteria for identifying potential areas of beans under rainfed conditions, Spring-Summer cycle.

Variable	Condición ambiental		
	Marginal	Subóptima	Óptima
Duración de la estación de crecimiento (días)	<80	80 a 95	>95
Temperatura media(°C)	<15	15 a 17 y 24 a 27	17 a 24
Pendiente del suelo (%)	>12	4 a 12	<4
Uso del suelo	Agrícola	Agrícola	Agrícola

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapas siembra-emergencia

Para la etapa siembra-emergencia, el único tratamiento térmico con el que no se presentó germinación de la semilla fue el de 7/3 °C, evidenciando que dichas temperaturas se encuentran por debajo de la temperatura base de los genotipos. En los siete tratamientos restantes sí se registró germinación en las tres variedades de frijol. En ellos se observa una aparente similitud de respuesta, de parte de las variedades en cuanto a la duración de la etapa siembra-emergencia, con una tendencia de mayor precocidad del genotipo Mulato. Como era de esperarse, la tasa de desarrollo fue mayor a medida que el tratamiento de temperatura fue mayor, señalando una relación lineal.

En la Figura 1 se describe la relación entre la temperatura y la tasa de desarrollo observada, en los tres genotipos estudiados durante la etapa siembra-emergencia. Ahí se puede observar, una clara tendencia lineal entre temperatura y tasa de desarrollo. También se aprecia que no existió ningún tratamiento de alta temperatura que inhibiera la germinación, por lo que en este estudio se asumió como temperatura óptima para la etapa siembra-emergencia, la temperatura promedio (entre temperatura diurna y nocturna) que produjo la mayor tasa de desarrollo; esto es 36 °C. En contraste, Baradas (1994) señala un intervalo térmico óptimo para la germinación de 16 a 29 °C.

RESULTS AND DISCUSSION

Sowing-emergence stage

For the sowing-emergence stage, the only heat treatment which did not show seed germination was the 7/3 °C, showing that these temperatures are below the genotypes’ basic temperature. The remaining seven treatments recorded the germination for the three beans’ varieties. They show an apparent response similarly of the varieties’, as to the duration of the sowing-emergence stage, with a trend of greater precocity of Mulato genotype. As expected, the growth rate was higher as the temperature treatment was higher, indicating a linear relationship.

The Figure 1 describes the relationship between the temperature and the development rate observed in the three genotypes studied during the sowing-emergence stage. A clear linear trend between temperature and rate of development is shown. It is also shown that there was no high-temperature treatment that inhibited the germination, so, in this paper were taken as optimum temperature for seed-emergence phase, the average temperature (between day and nighttime temperature) that produced the highest development rate, 36 °C. In contrast, Baradas (1994), indicates an optimal thermal range for germination of 16 to 29 °C.

Based on this relationship, when applying the simple linear regression it was determined that, the base temperature of sowing-emergence stage for the studied genotypes is described in Table 4. The Table 4 shows the values’ similarity of both, the regression and the base temperature and thermal requirement in all three genotypes, so it can be concluded that, the initial development of the seedlings of these varieties is influenced in the same way by the temperature variation. The obtained values of Tb that are shown in Table 4 differ from the values reported by Benacchio (1982) as a minimum for beans germination.

Emergence-flowering beginning stage

The thermal treatments in which the beans did not germinated, did not generated data for the emergence-flowering beginning stage. With the four thermal treatments that achieved flowering, a curvilinear response of the bean

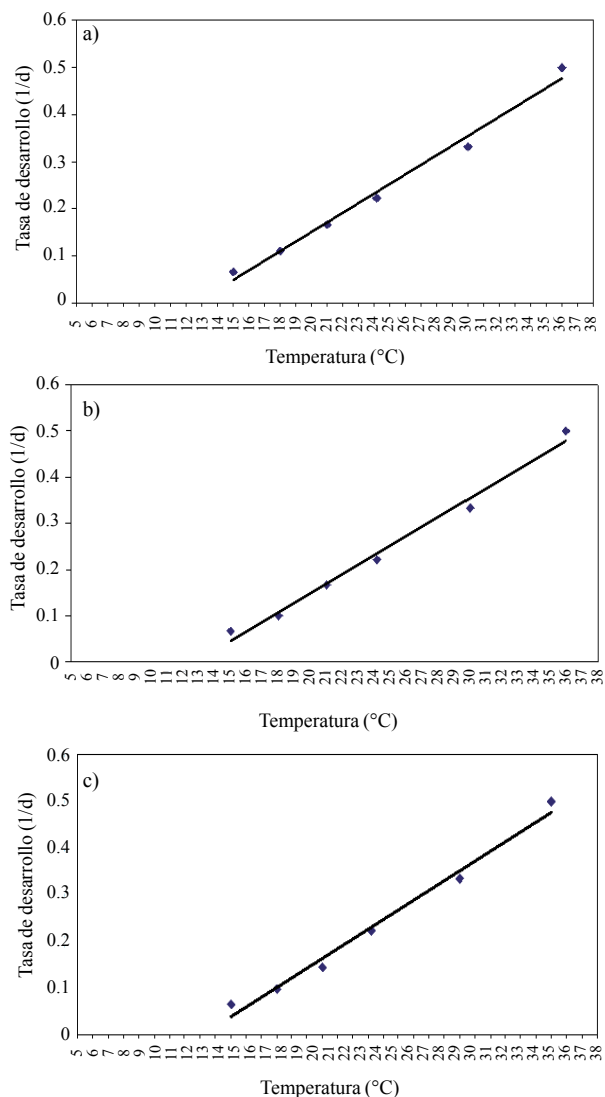


Figura 1. Relación entre temperatura y tasa de desarrollo para tres variedades de frijol en la etapa siembra-emergencia: a) Mulato; b) Bayo Grande; y c) Azufrado Tapatio.

Figure 1. Relationship between temperature and development rate for three bean varieties in the seed-emergence stage: a) Mulato; b) Bayo Grande; and c) Azufrado Tapatio.

Con base en esta relación, al aplicar el método de regresión lineal simple, se determinó que la temperatura base de la etapa siembra-emergencia, para los genotipos estudiados fue la que se describe en el Cuadro 4. En este cuadro es visible la similitud de valores tanto de la regresión como de la temperatura base y requerimiento térmico en los tres genotipos, por lo que se puede concluir que el desarrollo inicial de la plántula de estas variedades, es influido de una misma manera por la variación de temperatura. Los valores de T_b obtenidos y mostrados en el Cuadro 4, difieren del valor reportado por Benacchio (1982) como mínimo para la germinación de frijol.

development rate as a function of temperature was identified (Figure 2). This curvilinear response made possible to identify the minimum and maximum temperature values at which there is development and, the value temperature at which the growth rate is maximum; i. e., the optimum development temperature.

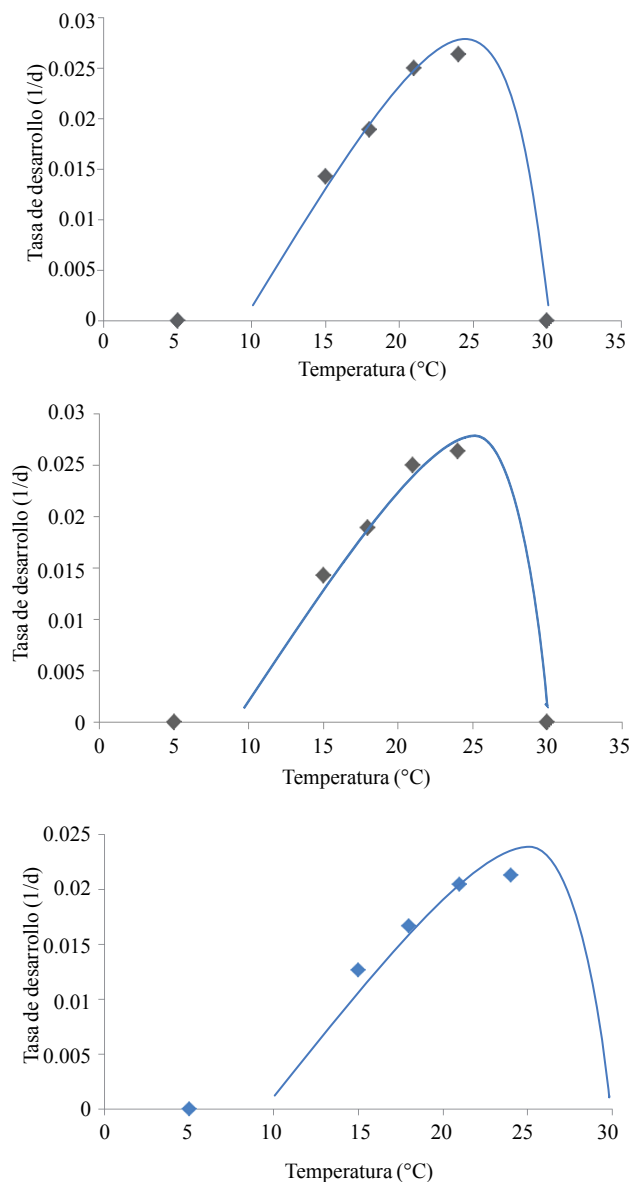


Figura 2. Relación entre temperatura y tasa de desarrollo para tres variedades de frijol en la etapa emergencia-inicio de floración: a) Mulato; b) Bayo Grande; y c) Azufrado Tapatio.

Figure 2. Relationship between temperature and development rate for three beans varieties in the emergence-beginning of flowering stage: a) Mulato; b) Bayo Grande; and c) Azufrado Tapatio.

Cuadro 4. Parámetros de la regresión (a y b), temperatura base (Tb) y requerimiento térmico (RT) para la etapa siembra-emergencia en tres genotipos de frijol.

Table 4. Parameters of regression (a and b), base temperature (Tb) and thermal requirement (TR) for sowing-emergence stage in three bean genotypes.

Genotipo	A	b	Tb	RT
Mulato	-0.2565642	0.02037805	12.59	49 UC
Azufrado Tapatío	-0.2710385	0.02076285	13.05	48 UC
Bayo Grande	-0.2566047	0.02037913	12.59	49 UC

Etapla emergencia-inicio de floración

Los tratamientos térmicos en que el frijol no germinó, obviamente no produjeron tampoco datos para la etapa emergencia-inicio de floración. Con los cuatro tratamientos térmicos que sí se lograron hasta la floración, se identificó una respuesta curvilínea de la tasa de desarrollo del frijol en función de la temperatura (Figura 2). Esta respuesta curvilínea permitió identificar tanto el valor mínimo como el máximo de temperatura a los cuales existe desarrollo, y el valor de temperatura a la cual la tasa de desarrollo es máxima, esto es la temperatura óptima para desarrollo.

En el Cuadro 5 se describen los valores obtenidos para temperatura base, temperatura umbral máxima y temperatura óptima de desarrollo en cada una de las tres variedades evaluadas, durante la etapa emergencia-inicio de floración. Como puede verse, existe similitud en cuanto a las temperaturas cardinales de Mulato y Bayo Grande, no así para Azufrado Tapatío, que al parecer sólo se asemeja a las anteriores en cuanto a la temperatura base. Con respecto a la temperatura óptima y a la temperatura umbral máxima, sus valores son de 2 °C menos que los otros genotipos, mostrando que probablemente se adapta más en ambientes templados y semicálidos que cálidos tropicales. Los valores de temperatura base y temperatura umbral máxima de los tres genotipos estudiados fueron 10 °C y 25-30 °C, respectivamente, propios para esta especie.

Cuadro 5. Temperaturas cardinales para la etapa emergencia-inicio de floración en tres variedades de frijol.

Table 5. Cardinal temperatures for emergence-flowering beginning stage in three beans varieties.

Genotipo	Temperatura base (°C)	Temperatura óptima (°C)	Temperatura umbral máxima (°C)
Mulato	9.8 ≈ 10	27.2 ≈ 27	31.8 ≈ 32
Bayo Grande	8.7 ≈ 9	26.9 ≈ 27	31.6 ≈ 32
Azufrado Tapatío	9.4 ≈ 9	25.2 ≈ 25	29.8 ≈ 30

The Table 5 describes the values obtained for base temperature, maximum threshold temperature and, optimum development temperature in each of the three tested varieties during the emergence-beginning of the flowering stage. There is similarity in cardinal temperatures of Mulato and Bayo Grande, but not for Azufrado Tapatío, apparently its similarity with the other varieties is only in terms of base temperature. With respect to the optimum temperature and maximum threshold temperature, its values are 2 °C lower than the other ones, showing that, probably it's more suitable at temperate and semi-warm environments than in warm-tropical. The values of base temperature and maximum threshold temperature of the three studied genotypes were 10 °C and 25-30 °C, respectively, which are typical for this species.

Thermal requirement for the growth cycle

The Table 6 describes the thermal requirements in terms of heat units for three phenological stages and, the entire development cycle of the three studied genotypes. Mulato is the earliest genotype, Azufrado Tapatío the later and Bayo Grande is located in between.

Genotypes behavior in different climate scenarios

The from Figures 3 to 5 show the recommendation areas obtained for each of the studied genotypes and, for three climate scenarios: 1961-2003 (baseline climate), 2021-2030 and 2041-2050. Comparing the three maps (a, b and c) within each figure, is observed that the surface of recommendation areas from the three varieties is substantially modified, but data show that in a future scenario as far as 2041 -50, the potential areas will not be significantly lower; on the contrary, in two genotypes (Bayo Grande and Azufrado Tapatío), the largest areas with optimal potential correspond to 2041-2050 scenario.

This finding represents that this species has varieties which would face the climate change phenomenon. On the other hand, in the comparison between Figures (3 to 5) it is clear that, the three varieties, depending on their surfaces with optimal potential, adapt differentially to different climate scenarios; Mulato shows the best behavior in the three

Requerimiento térmico para el ciclo vegetativo

En el Cuadro 6 se describen los requerimientos térmicos, en términos de unidades calor para tres etapas fenológicas y el ciclo completo de desarrollo de los tres genotipos estudiados. Como puede notarse, Mulato es el genotipo más precoz, Azufrado tapatío el más tardío y Bayo Grande se ubica intermedio entre ambos.

climates with 619 550, 539 546 and 596 529 ha with optimum conditions. A similar situation occurs when comparing the suboptimal potential.

Together, these results show that, for this species and probably for others, the genetic variation and genotype*environment interactions are an important resource in the generation of technological strategies to face the climate change phenomenon.

Cuadro 6. Requerimientos térmicos expresados en términos de unidades calor acumuladas.
Table 6. Thermal requirements expressed in terms of accumulated heat units.

Etap	Mulato	Bayo Grande	Azufrado Tapatío
Siembra-emergencia	49 (base 12.6 °C)	48 (base 13 °C)	49 (base 12.6 °C)
Emergencia-inicio floración	472 (base 10 °C)	467 (base 9 °C)	629 (base 9 °C)
Inicio floración-madurez	448 (base 10 °C)	594 (base 9 °C)	691 (base 9 °C)
Ciclo vegetativo total	992 (base 12.6 y 10 °C)	1152 (base 13 y 9 °C)	1410 (base 12.6 y 9 °C)

Comportamiento de los genotipos en diferentes escenarios climáticos

Las Figuras 3 a 5 muestran las áreas de recomendación obtenidas para cada uno de los genotipos estudiados y para tres escenarios climáticos: 1961-2003 (climatología de referencia), 2021-2030 y 2041-2050. Comparando los tres mapas (a, b y c) dentro de cada una de las Figuras, se observa que las superficies de las áreas de recomendación de las tres variedades se modifican sustancialmente, pero los datos no evidencian que en un escenario futuro tan lejano como el 2041-50, las áreas con potencial disminuyan significativamente; por lo contrario, en dos de los genotipos (Bayo Grande y Azufrado Tapatío), las mayores superficies con potencial óptimo corresponden al escenario 2041-2050.

Este hallazgo representa que para esta especie existen actualmente variedades con las que se enfrentaría el fenómeno de cambio climático. Por otra parte, al hacer la comparación entre Figuras (3 a 5) es claro que las tres variedades, en función de sus superficies con potencial óptimo, se adaptan de manera diferencial a los diferentes escenarios de clima; Mulato muestra el mejor comportamiento en las tres climatologías con 619 550, 539 546 y 596 529 ha con condiciones óptimas. Situación similar acontece al comparar los potenciales subóptimos.

Estos resultados en conjunto reflejan que para esta especie, y muy probablemente para otras, la variabilidad genética y la interacción genotipo-ambiente son un

Regarding to the meaning of these results to the current technological development and, according to the maps (a), the results show that Mulato is the genotype with the largest area of recommendation, concentrated at the junction of Altos Sur, Centro and Ciénega regions, covering 20 municipalities, including Tepatitlán, Arandas, Tototlán and Acatic. A total of 619 550 ha were determined (1961-2003 climatology), with optimal growing conditions for Mulato genotype. In the case of Bayo Grande genotype, stand out municipal areas as Tepatitlán, Arandas, Degollado and Tototlán; 545 030 ha were identified with secure and optimal conditions for this genotype.

The Azufrado Tapatío genotype had the smaller area (209 975 ha) as adequate and safe for cultivation, mainly distributed in the municipalities of Zapopan, Tlajomulco, Zapotlán del Rey and Zapotlanejo. Since the rainfed area with high potential for beans in Jalisco iares 691 293 ha (Ruiz *et al.*, 2011), the results obtained in this area for each variety are reasonable.

CONCLUSIONS

In the seedling stage, the base temperature and thermal requirement was similar for the three studied varieties, which means that, the initial development is influenced equally by temperature variation.

recurso importante en la generación de estrategias tecnológicas para sortear el fenómeno del cambio climático.

For the emergence-flowering beginning stage, the cardinal temperatures were similar for Mulato and Bayo Grande, but not for Azufrado Tapatío, which is only similar

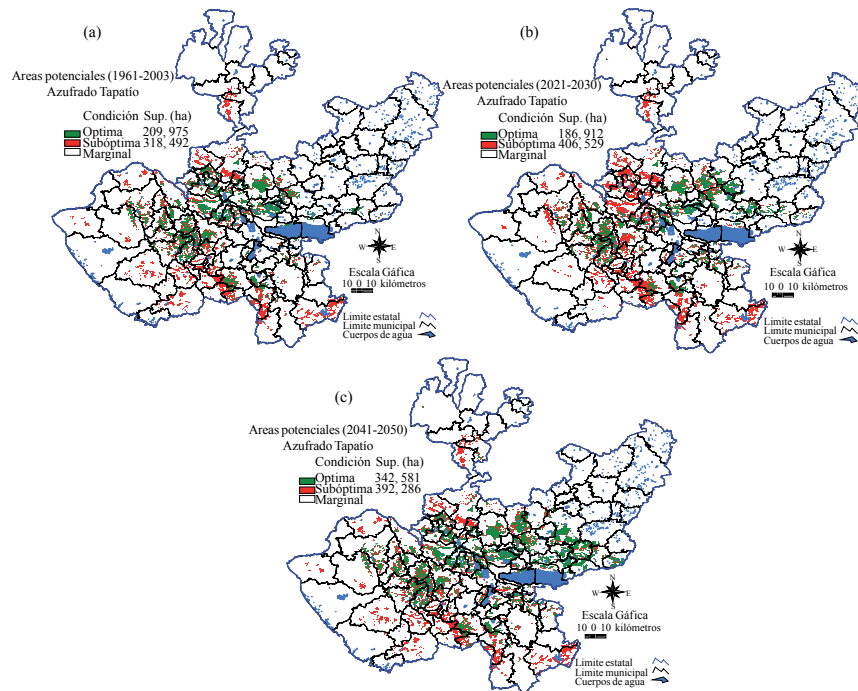


Figura 3. Áreas de recomendación para el genotipo de frijol Azufrado Tapatío.
Figure 3. Recommendation areas for the Azufrado Tapatío bean genotype.

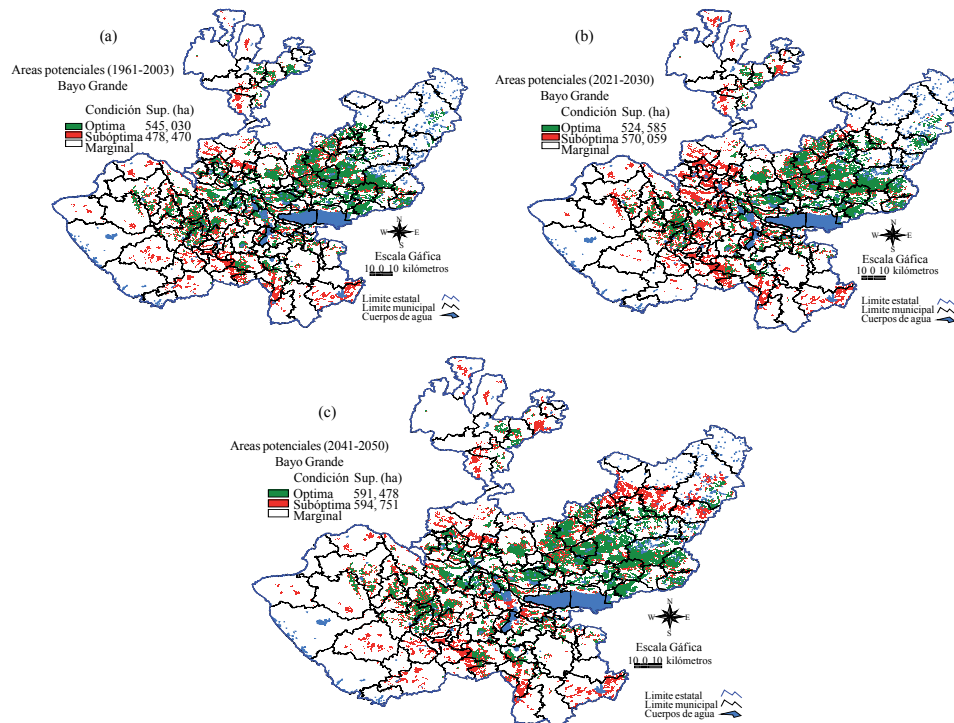


Figura 4. Áreas de recomendación para el genotipo de frijol Bayo Grande.
Figure 4. Recommendation areas for the Bayo Grande bean genotype.

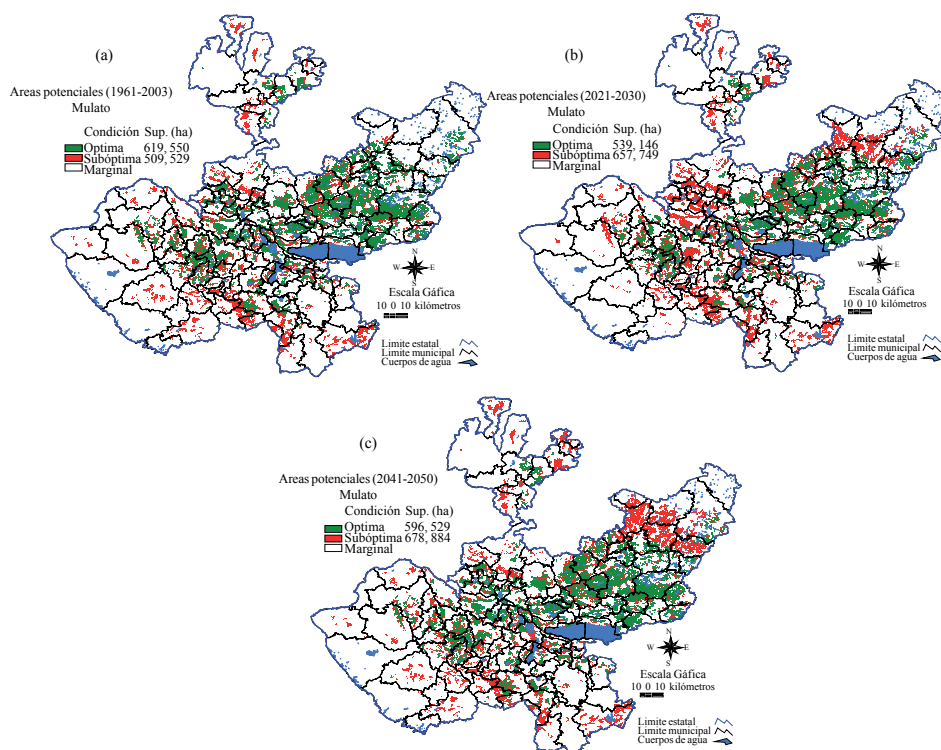


Figura 5. Áreas de recomendación para el genotipo de frijol Mulato.
Figure 5. Recommendation areas for Mulato bean genotype.

Con respecto al significado de estos resultados al desarrollo tecnológico actual, y de acuerdo con los mapas (a), los resultados establecen que el genotipo con mayor superficie de recomendación es Mulato, concentrada en la confluencia de las regiones Altos Sur, Centro y Ciénega, abarcando 20 municipios, entre ellos Tepatitlán, Arandas, Tototlán y Acatic. En total se determinaron 619 550 ha (climatología 1961-2003), con condiciones agroclimáticas óptimas para el genotipo Mulato. Para el caso del genotipo Bayo Grande, sobresalen las áreas de municipios como Tepatitlán, Arandas, Degollado y Tototlán; se determinaron 545 030 ha con condiciones óptimas y seguras para este genotipo.

Al genotipo Azufrado Tapatío correspondió la menor superficie (209 975 ha) como adecuada y segura para su cultivo, distribuidas principalmente en los municipios de Zapopan, Tlajomulco, Zapotlán del Rey y Zapotlanejo. Dado que la superficie de temporal con alto potencial para frijol en Jalisco es de 691 293 ha (Ruiz *et al.*, 2011), se puede asumir que los resultados obtenidos en este aspecto para cada variedad son razonables.

in terms of base temperature. The latter variety, due to its optimum temperature and maximum threshold, it could show better adaptation in temperate semi-warm environments than in warm-tropical.

As for the specific thermal requirements, Mulato was the earliest variety, Azufrado Tapatío the later and Bayo Grande was halfway between the two of them.

Regarding to the recommendation areas, these were significantly different for the three varieties under study, with the largest surfaces for Mulato variety. Future climate scenarios do not necessarily represent decreases in surface areas of recommendation, which means that, for this species there are currently varieties that could face the climate change phenomenon.

End of the English version



CONCLUSIONES

En el estado de plántula, la temperatura base y el requerimiento térmico fue similar para las tres variedades estudiadas, lo que significa que el desarrollo inicial es influido de la misma manera por la variación de temperatura.

Para la etapa emergencia-inicio de floración, las temperaturas cardinales fueron similares para Mulato y Bayo Grande; no así para Azufrado Tapatío, que solo se asemeja a las anteriores en cuanto a temperatura base. Esta última variedad, por su temperatura óptima y umbral máxima, podría mostrar mejor adaptación en ambientes templados semicálidos que en cálidos tropicales.

En cuanto a los requerimientos térmicos determinados, Mulato resultó la más precoz; Azufrado Tapatío la más tardía y Bayo Grande intermedia entre ambas.

Con relación a las áreas de recomendación, éstas fueron considerablemente diferentes para las tres variedades en estudio, correspondiendo las mayores superficies a la variedad Mulato. Los escenarios climatológicos futuros, no necesariamente representarían disminuciones en las superficies de las áreas de recomendación, lo que significa, que para esta especie existen actualmente variedades con las que se podría enfrentar el fenómeno de cambio climático.

LITERATURA CITADA

- Baradas, M. W. 1994. Crop requirements of tropical crops. In: Handbook of agricultural meteorology. Griffiths, J. F. Editor. Oxford Univ. Press. New York. 189-202 pp.
- Benacchio, S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigación Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Durán, P. N.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R.; Núñez, H. G.; Padilla, R. F. J. y Contreras, R. S. H. 2011. Temperaturas cardinales de desarrollo en la etapa siembra-emergencia de 11 pastos forrajeros. Rev. Mex. Cien. Pec. 2(3):347-357.
- López, S. J. L.; Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. A. y Lépiz, I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. Rev. Fitotec. Mex. 28(3):221-230.
- Medina, G. G.; Rumayor, R. A.; Cabañas, C. B.; Luna, F. M.; Ruiz, C. J. A.; Gallegos, V. C.; Madero, J.; Gutiérrez, S. T. R.; Rubio, D. S. y Bravo, L. A. G. 2003. Potencial productivo de especies agrícolas en el estado de Zacatecas. INIFAP-CIRNOC-CEZ. Calera de V. R., Zacatecas. Libro técnico. Núm. 2. 157 p.
- Monteith, J. L. 1977. Climate. In: ecophysiology of tropical crops. Alvim, T. and Kozlowski, T. T. (eds.). Academic Press. New York. 1-25 pp.
- Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. Zonificación agroecológica. Guía general. FAO. Boletín de Suelos 73. Roma. 77 p.
- Robertson, G. W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. Technical Note Num. 180. WMO Num. 620. Geneva, Switzerland. 99 p.
- Ruiz, C. J. A.; Flores, L. H. E.; Ramírez, D. J. L. y González, E. D. R. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. Agrociencia. 36(5):569-577.
- Ruiz, C. J. A.; González, A. I. J.; Regalado, R. J. R.; Anguiano, C. J.; Vizcaíno, V. I. y González, E. D. R. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el Estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC. Conexión Gráfica. Libro técnico. Núm. 2. 172 p.
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G.; Manríquez, O. J. D. y Ramírez, D. J. L. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático. Informe final proyecto INIFAP-INE. Guadalajara, Jalisco, México. 108 p.

- Ruiz, C. J. A. y Regalado, R. J. R. 2011. Cambio climático y su impacto sobre la producción de alimentos de origen agrícola. Enciclopedia de Época: Jalisco en el mundo contemporáneo. 21 p.
- Ruiz, C. J. A.; Ramírez, O. G.; Medina, G. G.; Ramírez, D. J. L.; Flores, L. H. E.; Soltero, D. L.; González, A. A.; Manríquez, O. J. D.; Pérez, D. J. F.; Durán, P. N.; Álvarez, C. M.; Serrano, V.; García, P. J. C.; González, E. D. R. y Contreras, R. S. H. 2011. Potencial productivo agrícola actual y bajo escenarios de cambio climático en el estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México. Libro Técnico.
- Slafer, G. A. and Savin, R. 1991. Developmental base temperature in different phonological phases of wheat. *J. Exp. Bot.* 41(241):1077-1082.
- Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. and Lawn, R. J. 1989. Photothermal modulation of flowering in grain legumes crops. *Proc. Of the Inter. Congress of Plant Physiology and Biochemistry*. New Delhi, India.
- Zarazúa, V. P. 2011. Evaluación del cambio climático y sus impactos sobre los cultivos de trigo, maíz y agave de la Región Ciénega de Chapala (análisis retrospectivo y análisis prospectivo). Tesis Doctoral. Universidad de Guadalajara-CUCBA. Zapopan, Jalisco, México. 188 p.